

SYRTIPE

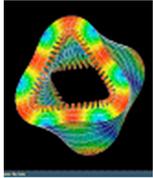
SYstèmes de Refroidissement Thermique Intelligent Pour l'Electronique

CITAMPE PR09-3.1.3-2

*Contrôle et Intensification des Transferts de chaleur et de masse par
Auto-adaptation de la Morphologie des Parois d'Echange*



Refroidissement
diphase par pompage
capillaire (vue infra
rouge)



Déformation
dynamique d'un solide
piézoélectrique

Déclenchement de la nucléation dans les systèmes échangeurs de chaleur: phénomènes conjugués d'ébullition et de cavitation.

Laetitia Léal*, Pascal Lavieille*, Lounès Tadrist**, Frédéric Topin**, Marc Miscevic*,

Concept d'échangeur de chaleur à déformations dynamiques de parois de minicanaux par actionnement piezoélectrique

Prashant Kumar**, Laetitia Léal*, Mounir Amokrane***, Frédéric Topin**, Pascal Lavieille*, François Pigache***, Bertrand Nogarède***, Lounès Tadrist**, Marc Miscevic*

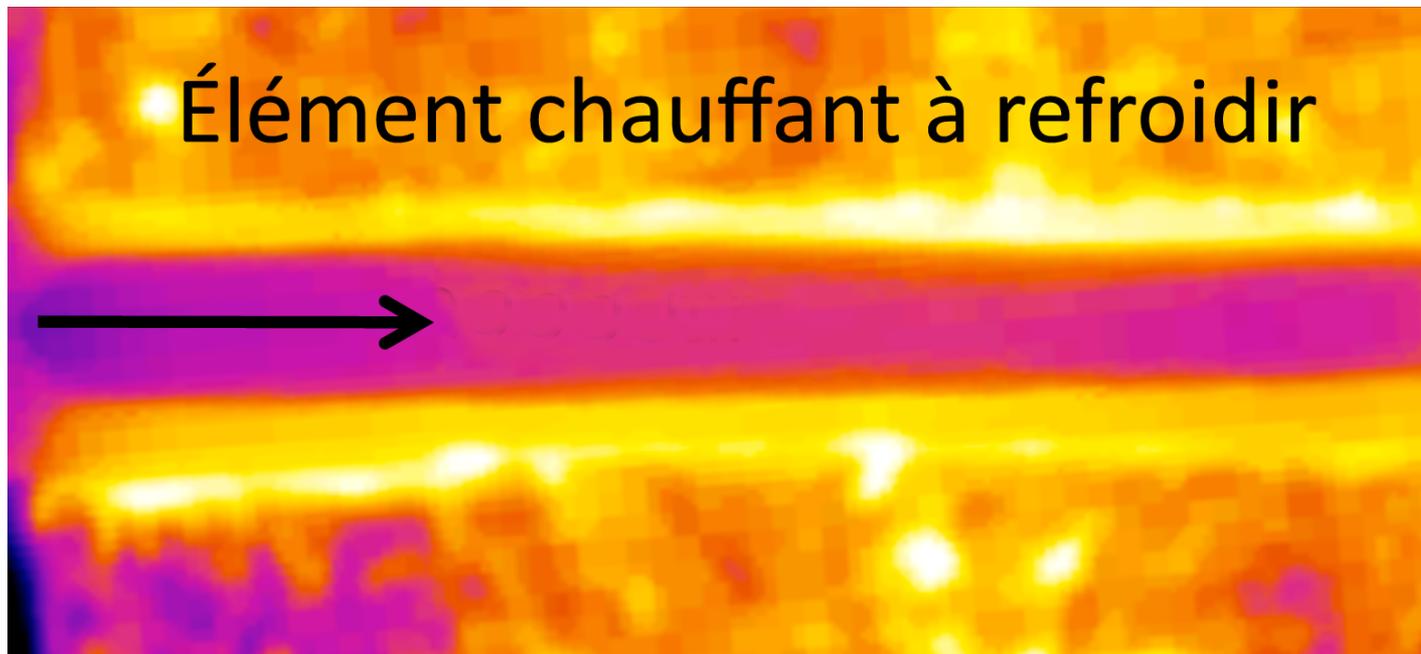
* Université de Toulouse ; UPS, INPT, CNRS ; LAPLACE (Laboratoire Plasma et Conversion d'Energie) ; 118 route de Narbonne, F-31062 Toulouse cedex 9, France.

** Aix-Marseille Université-CNRS Laboratoire IUSTI, UMR 7343, 5 Rue Enrico Fermi, Marseille, 13453, France.

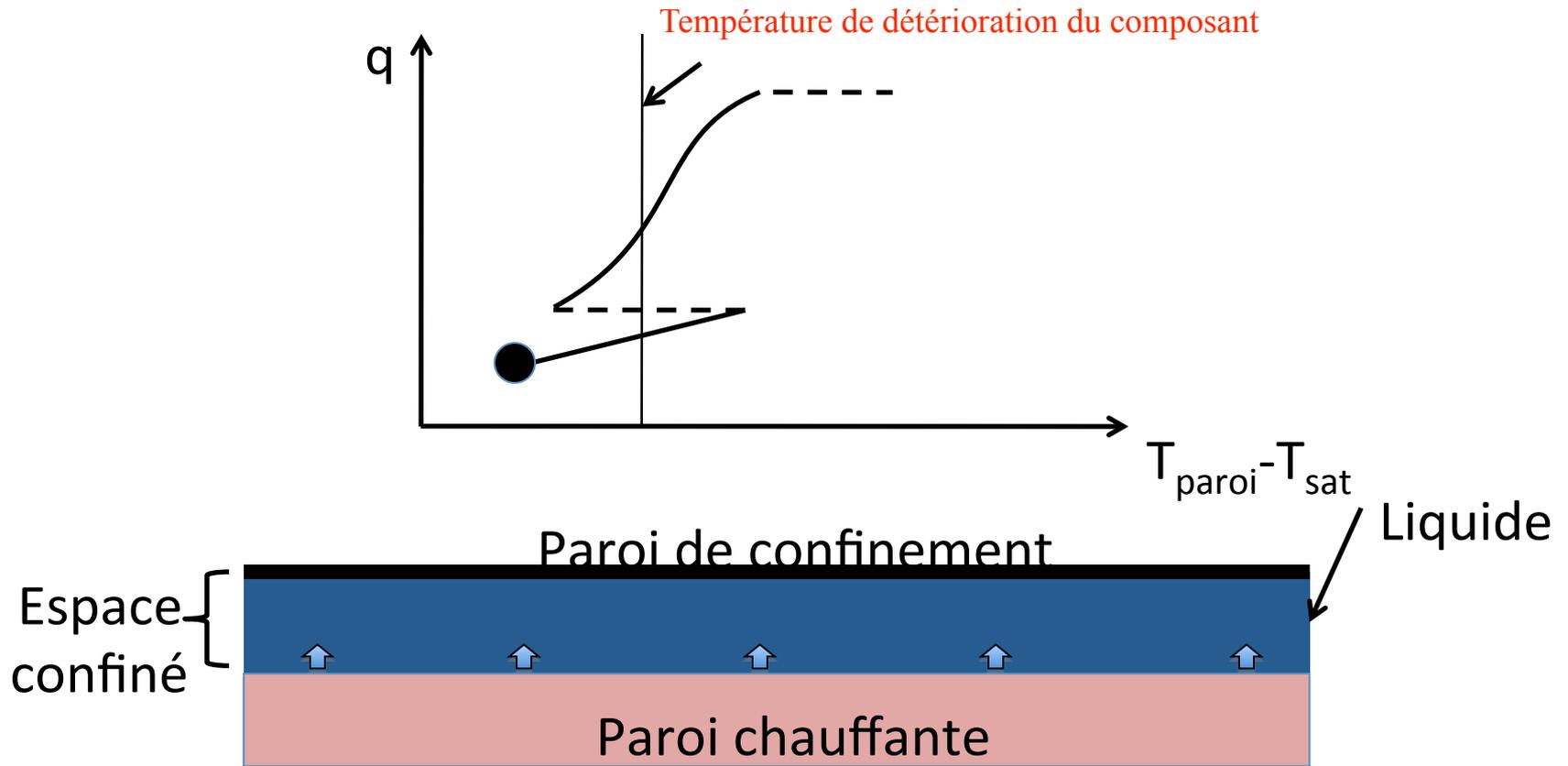
*** Université de Toulouse ; UPS, INPT, CNRS; LAPLACE (Laboratoire Plasma et Conversion d'Energie) ; 2, rue Charles Camichel BP 7122, F-31071 Toulouse Cedex 7, France

- Créer des systèmes de refroidissement auto-adaptatifs en rupture technologique.
- 3 voies explorées simultanément :
 - Réduction de taille (μ -canaux)
 - Morphing électroactif des parois \rightarrow contrôle des instabilités et intensification des transferts
 - Changement de phase liquide-vapeur
 - Aspects Multifonctionnels
 - Autonomes d'un point de vue énergétique

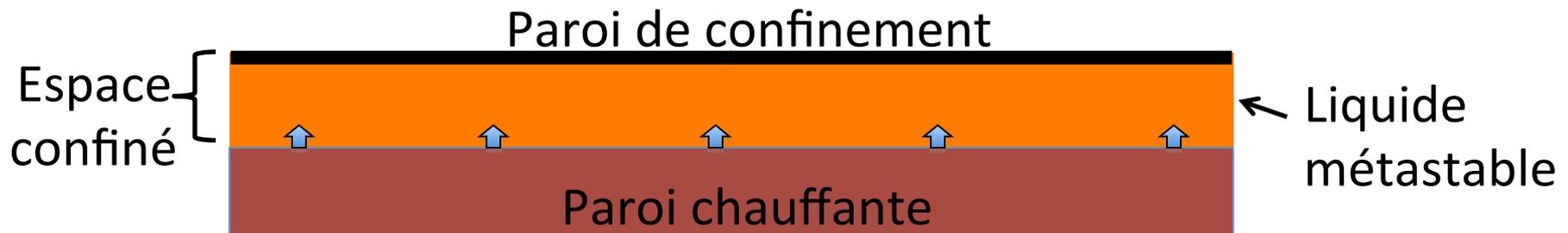
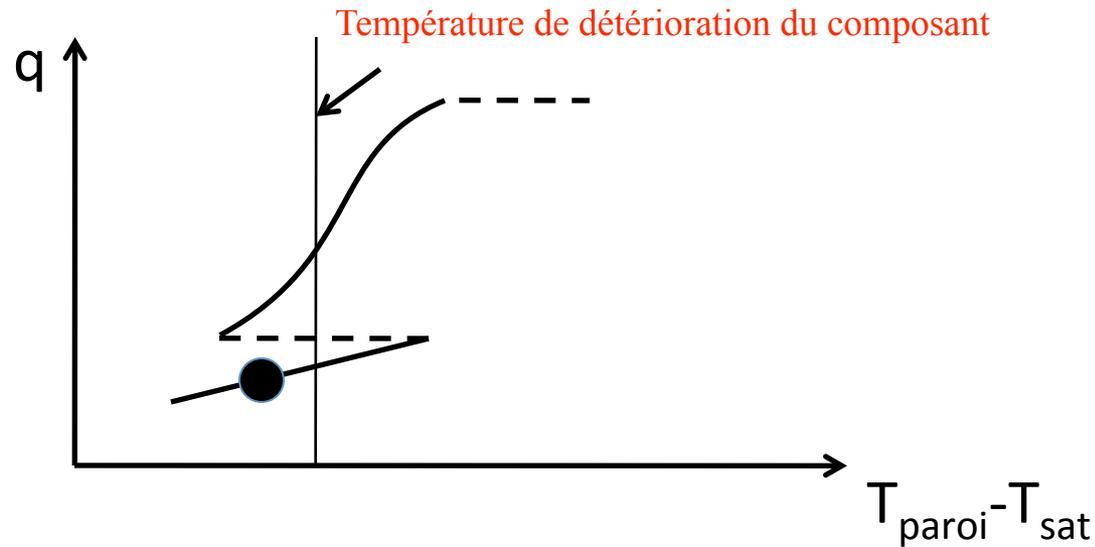
- Déclenchement de la nucléation dans les systèmes échangeurs de chaleur: phénomènes conjugués d'ébullition et de cavitation.



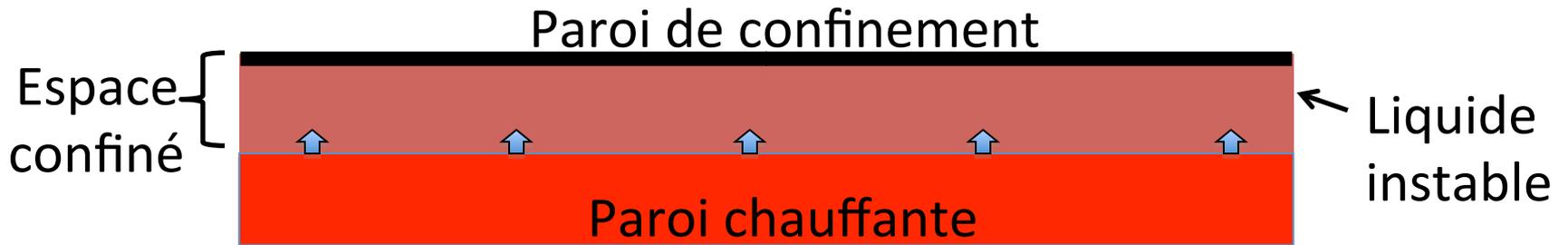
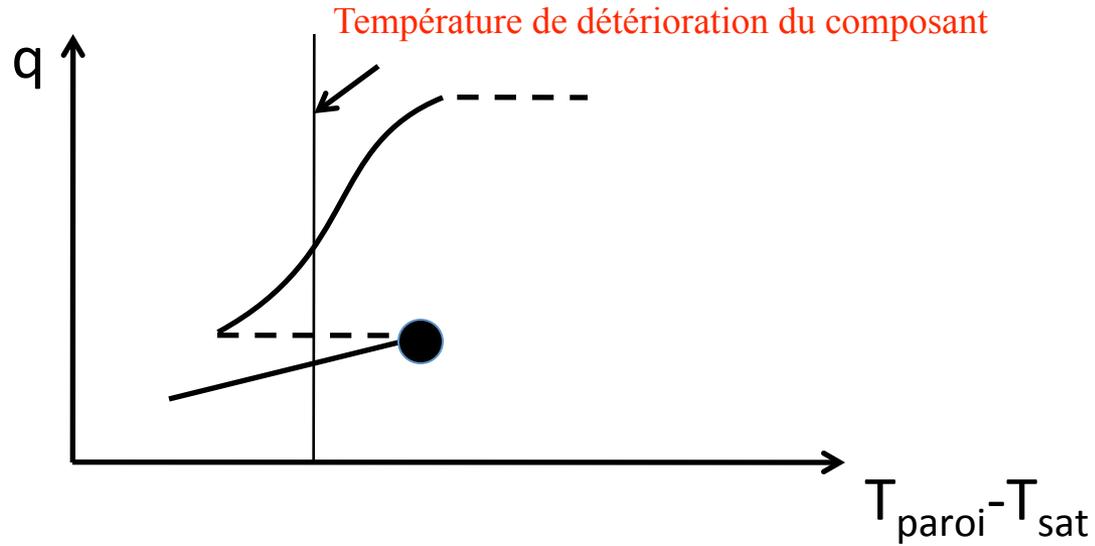
Introduction



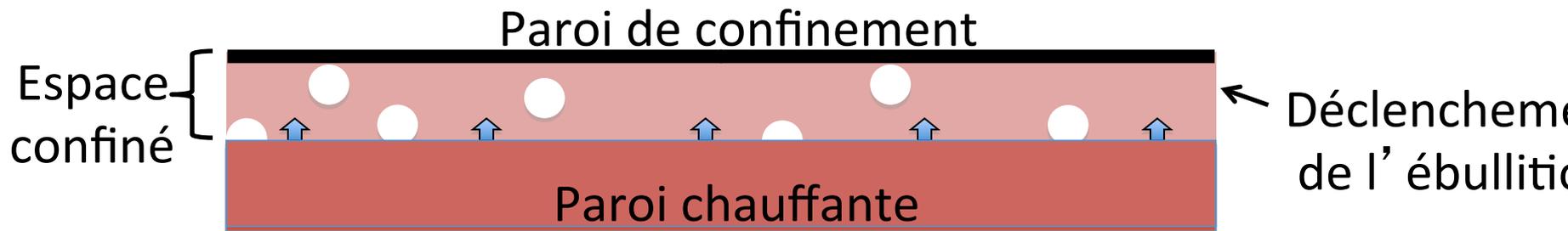
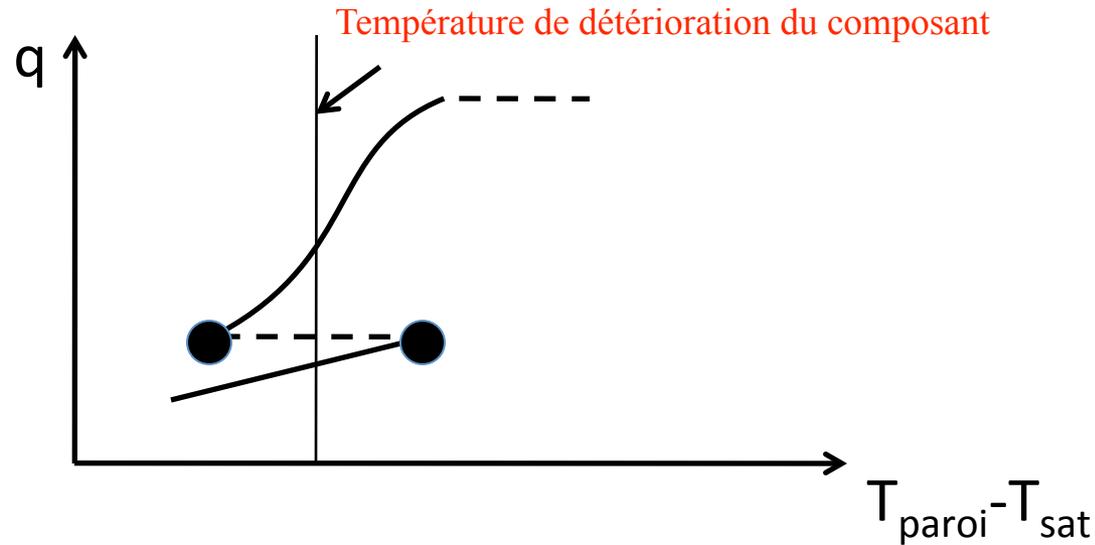
Introduction



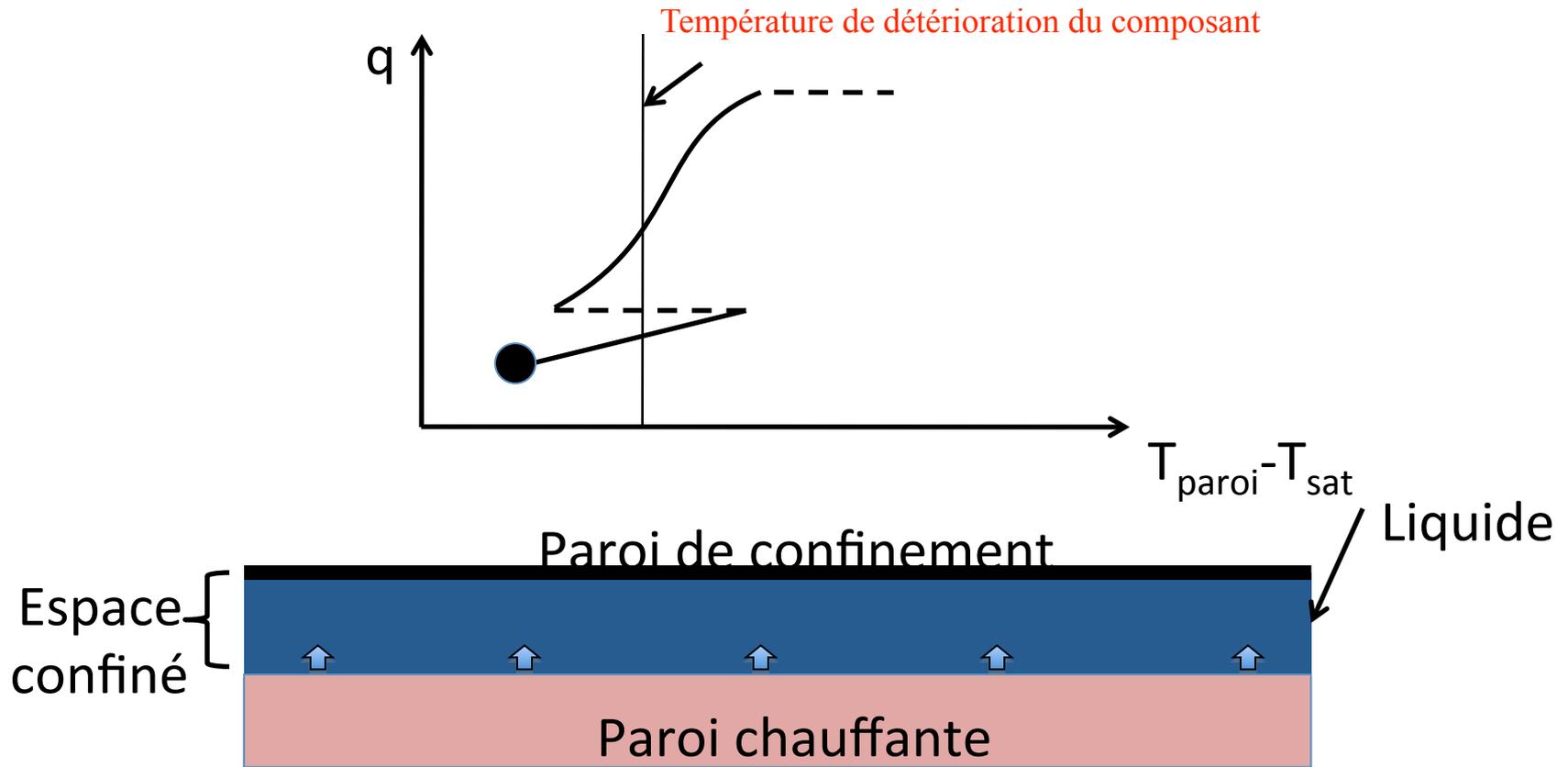
Introduction

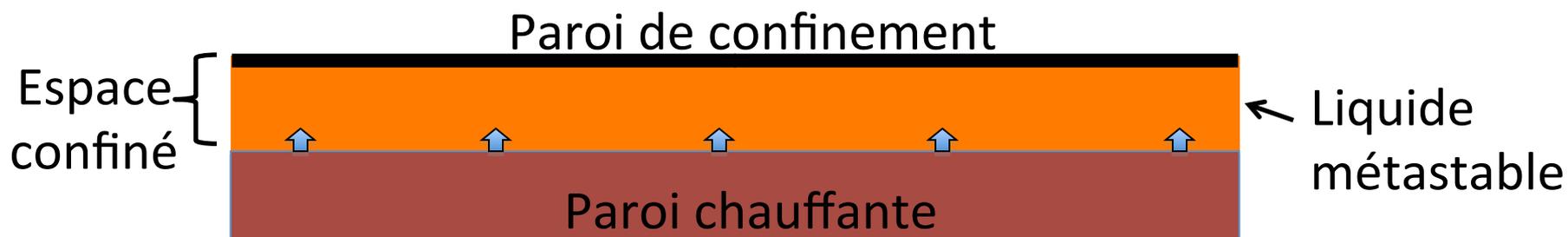
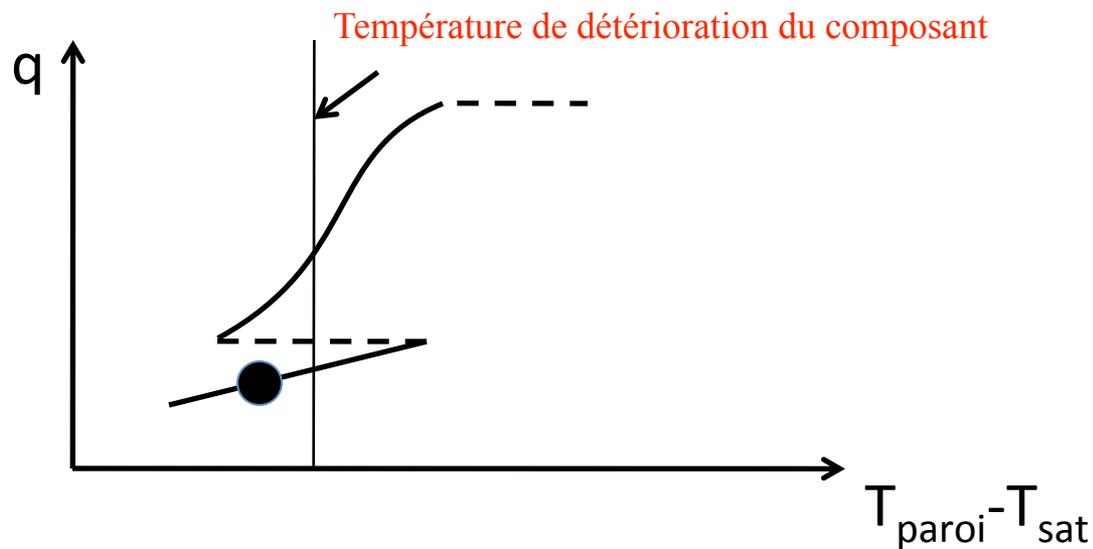


Introduction

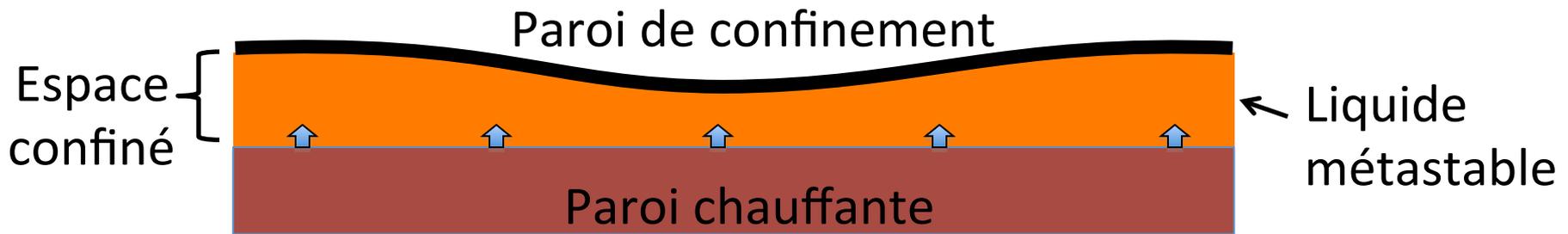
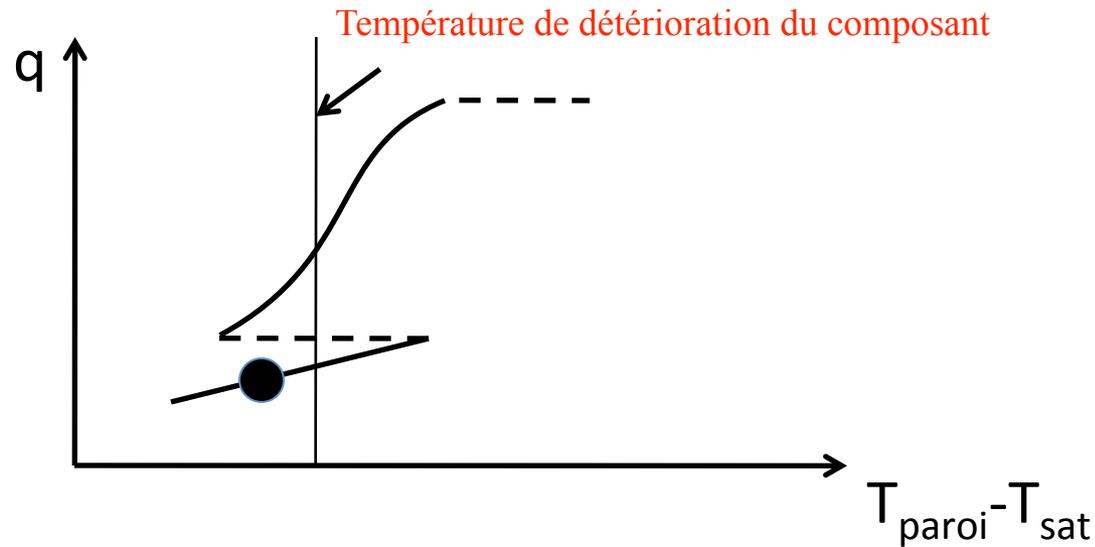


Introduction

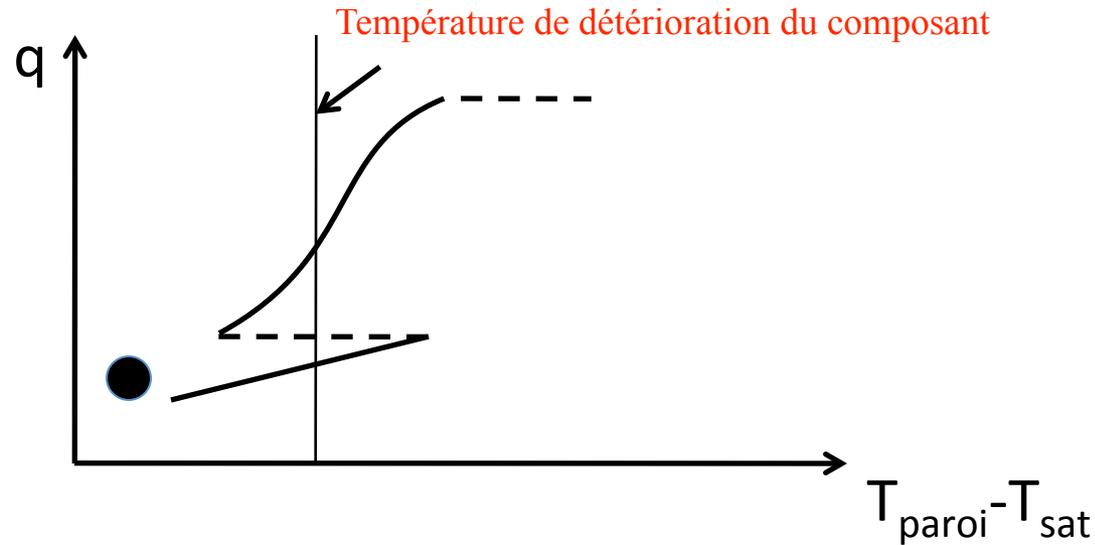




Introduction



Introduction



Dynamic wall morphing



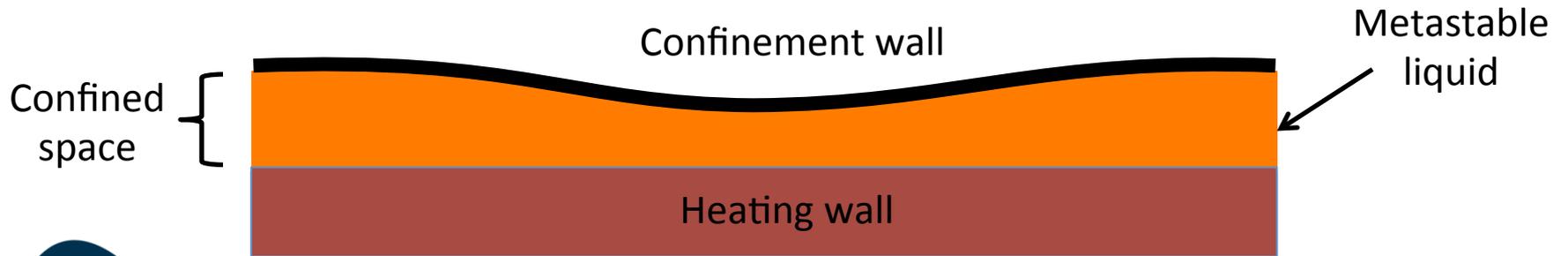
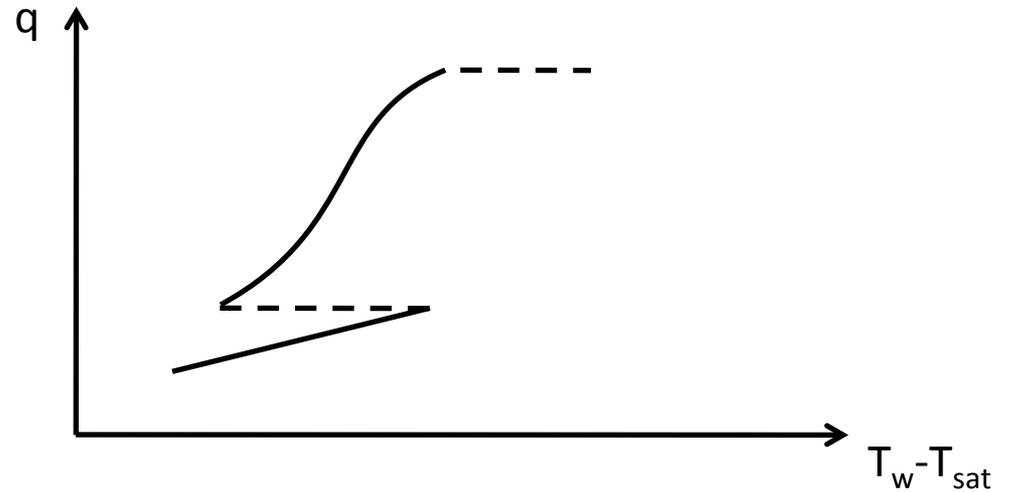
Temporarily decreasing the pressure of the liquid



Increase the liquid metastability by changing saturation condition



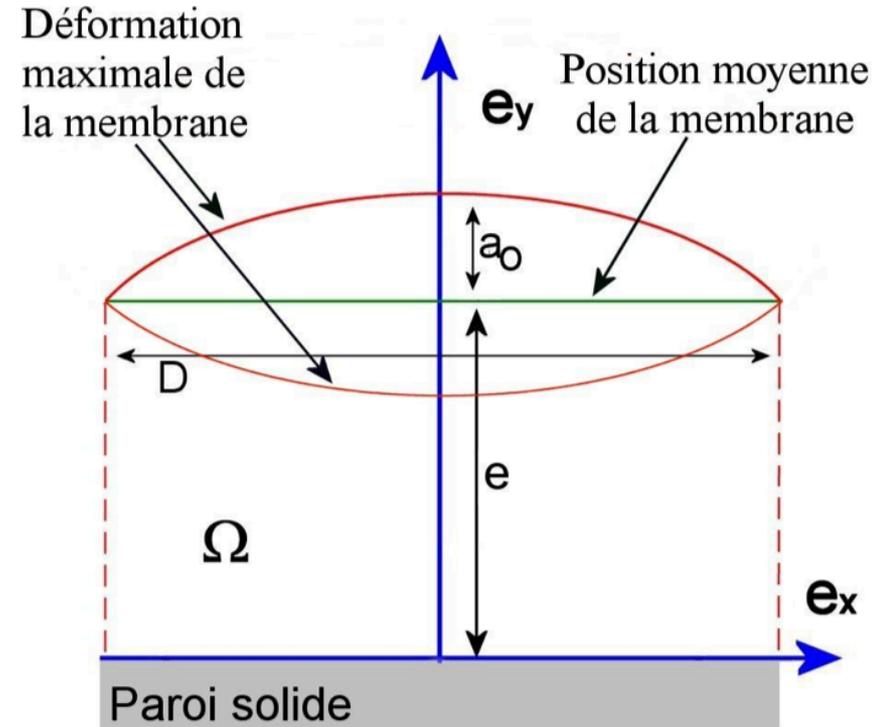
Decrease the boiling incipience temperature



▪ **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)



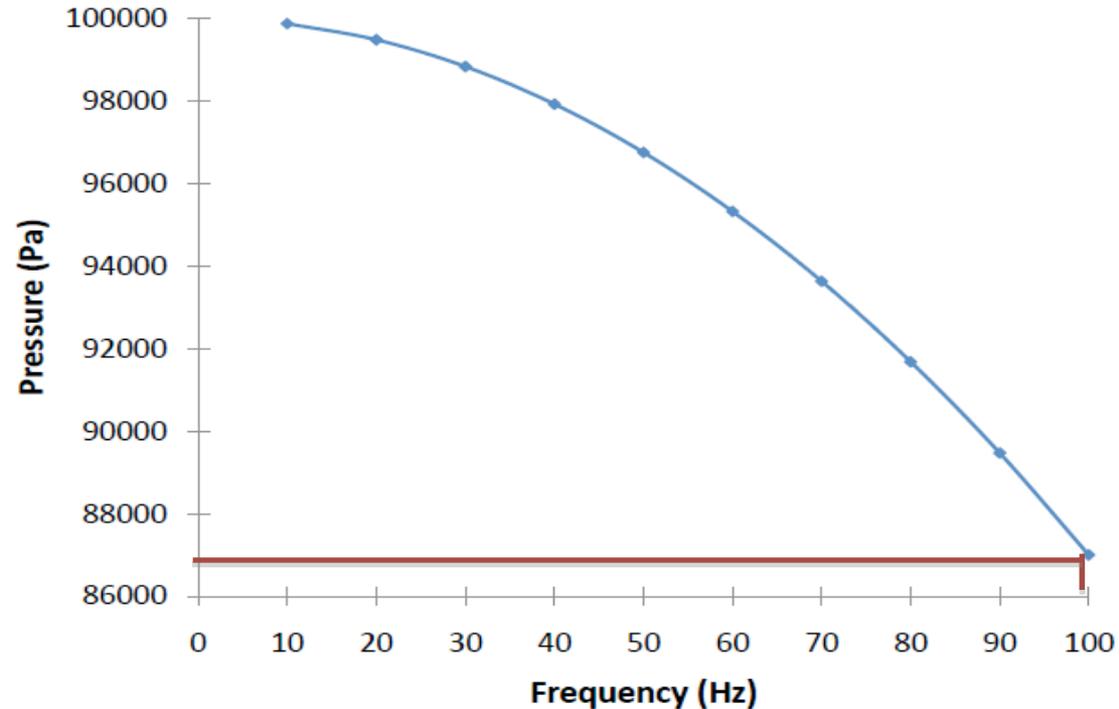
Modèle hydrodynamique

▪ Hypothèses :

- Problème 1D
- Fluide parfait et incompressible
- Propriétés thermophysiques du fluide constantes au cours du temps
- Déformation de la paroi de confinement est sinusoïdale au cours du temps

▪ Equations :

- Conservation de la masse
- Conservation de la quantité de mouvement



*Minimum de la pression en fonction de la fréquence
($e=580\mu\text{m}$, $a_0=210\mu\text{m}$)*

Interface plane : $T_{\text{ONB}}=T_{\text{sat}}(p_1)$

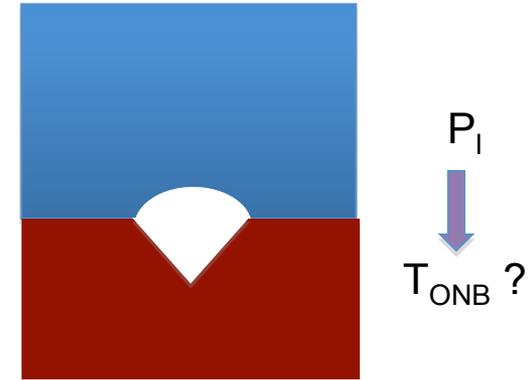
Avant l' ébullition, des embryons sont piégés en paroi



▪ **Objectif :** Evaluer la température de la bulle de vapeur au rayon d'équilibre r_c quand la pression du liquide est imposée (Carey, 1992)

▪ **Hypothèses :**

- A l'équilibre, une fluctuation de température ou de pression engendre le début de l'ébullition.
- Des embryons de vapeur sont piégés en paroi avant le début de l'ébullition.
- Le rayon d'équilibre de l'embryon est estimé par la dimension caractéristique des cavités de la paroi.



Equations : équilibre

thermodynamique : $g_l = g_v$

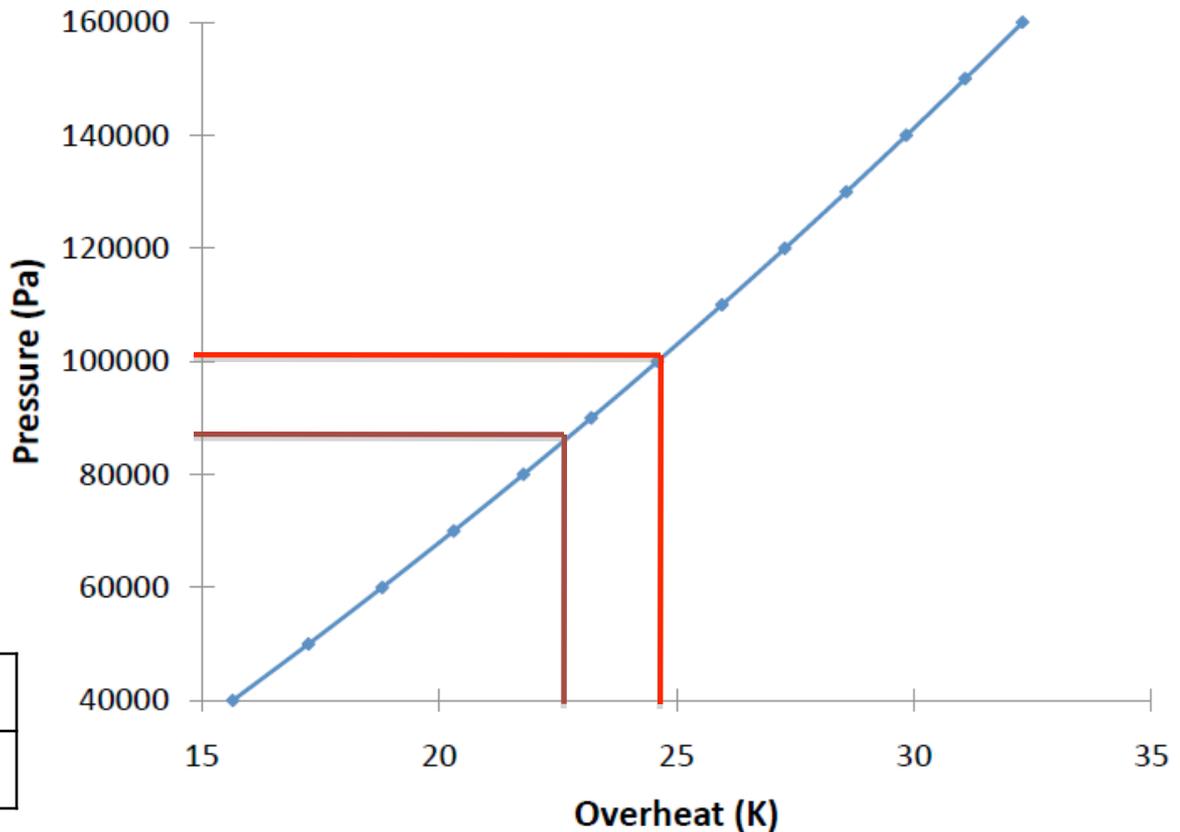
$$\frac{p_l - p_{sat}(T_l)}{\rho_l} = \frac{p_v}{\rho_v} \ln\left(\frac{p_v}{p_{sat}(T_l)}\right)$$

Young Laplace : $p_v = f(r_c, p_l)$

Clapeyron: $p_{sat}(T_l)$

P_l imposée $\rightarrow T_l$ déterminée

Modèle de nucléation



Variation de la pression de déclenchement de l'ébullition en fonction de la surchauffe à la paroi (modèle statique, $r_c = 0.2 \mu\text{m}$)

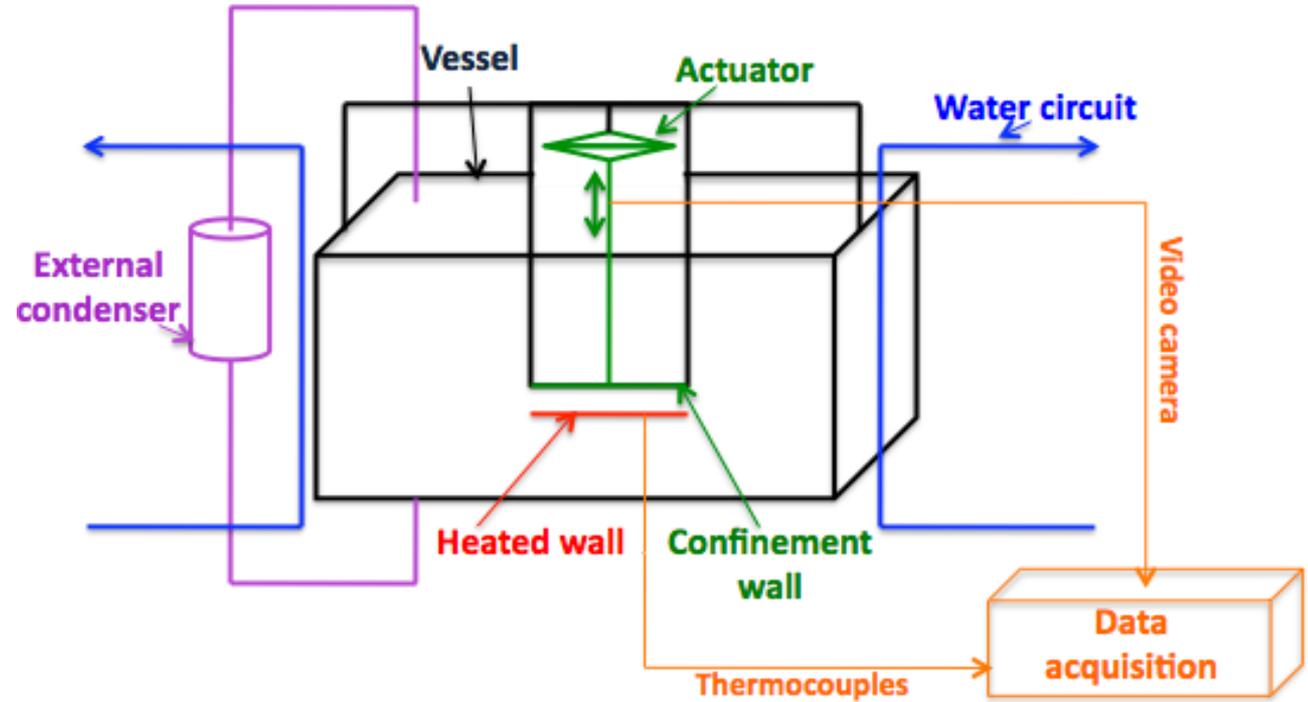
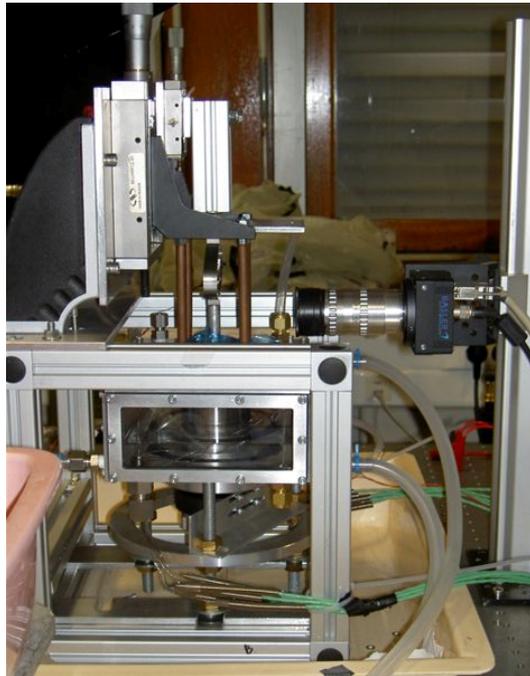
Surchauffe au déclenchement de l'ébullition ($r_c = 0.2 \mu\text{m}$, $r_a = 0.1 \mu\text{m}$)



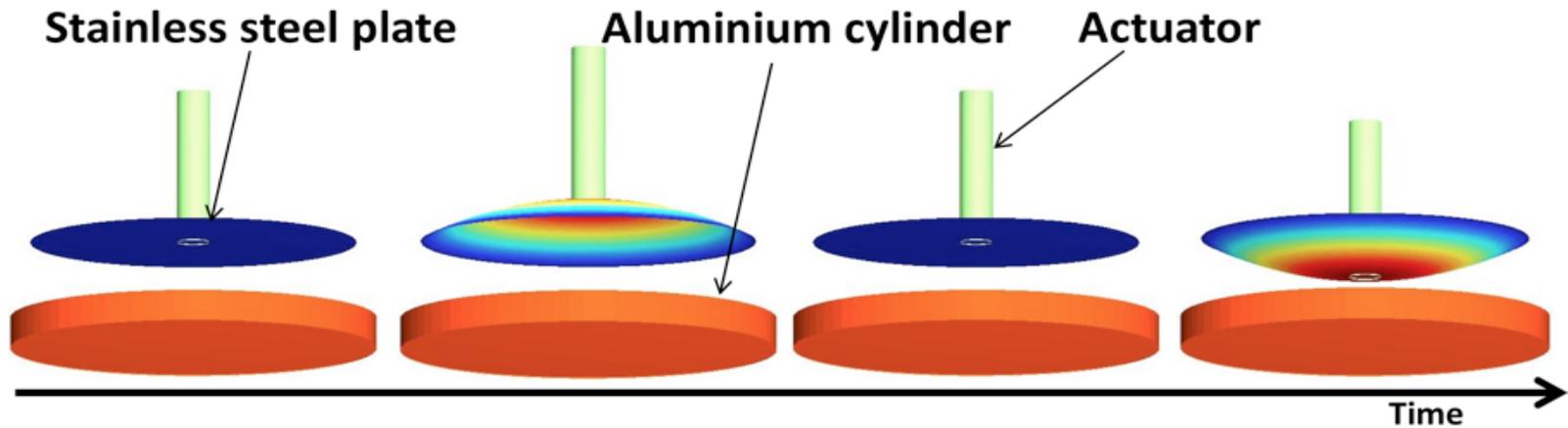
iusti
UMR 7343



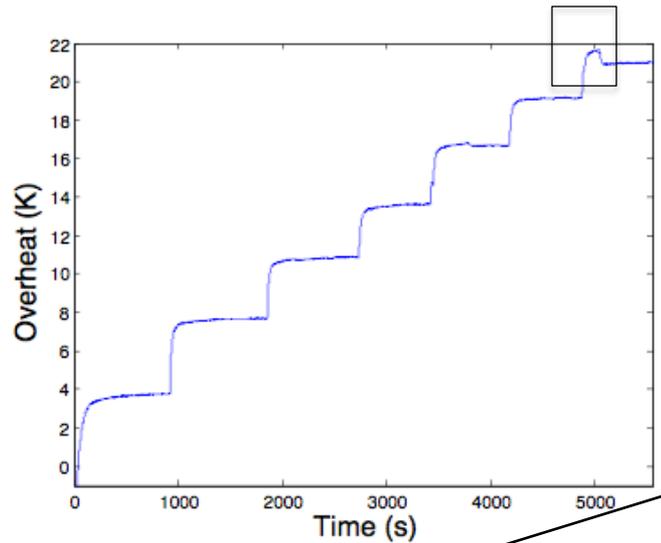
Dispositif expérimental



Principe de l'expérience

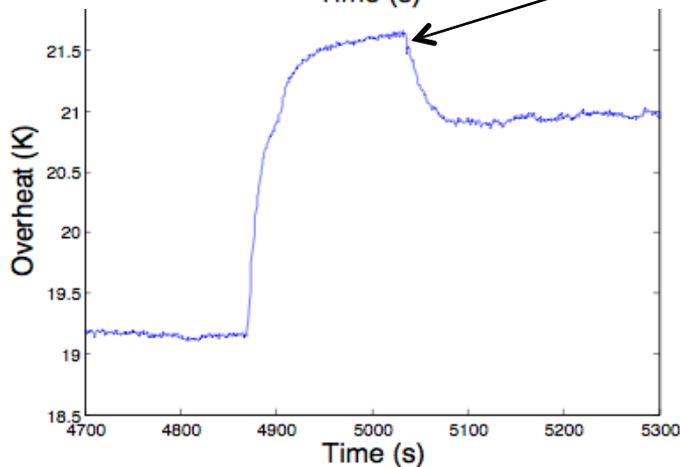


Résultats expérimentaux



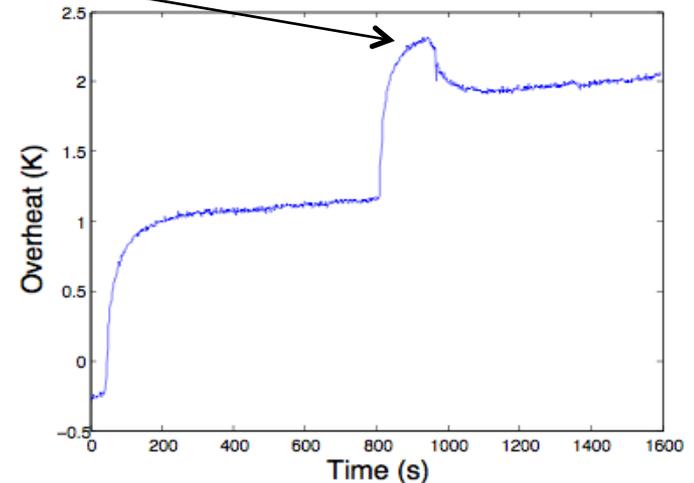
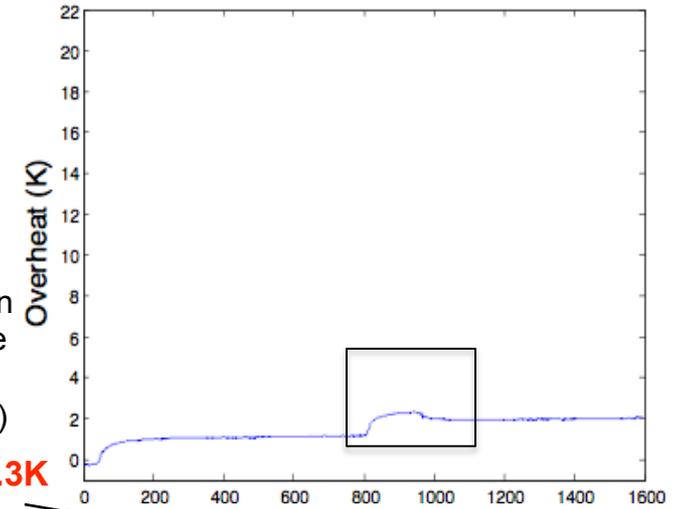
Sans déformation dynamique

$$\Delta T_{ONB} = 21.7 \text{ K}$$



Avec déformation dynamique (f=100Hz, a₀=210μm)

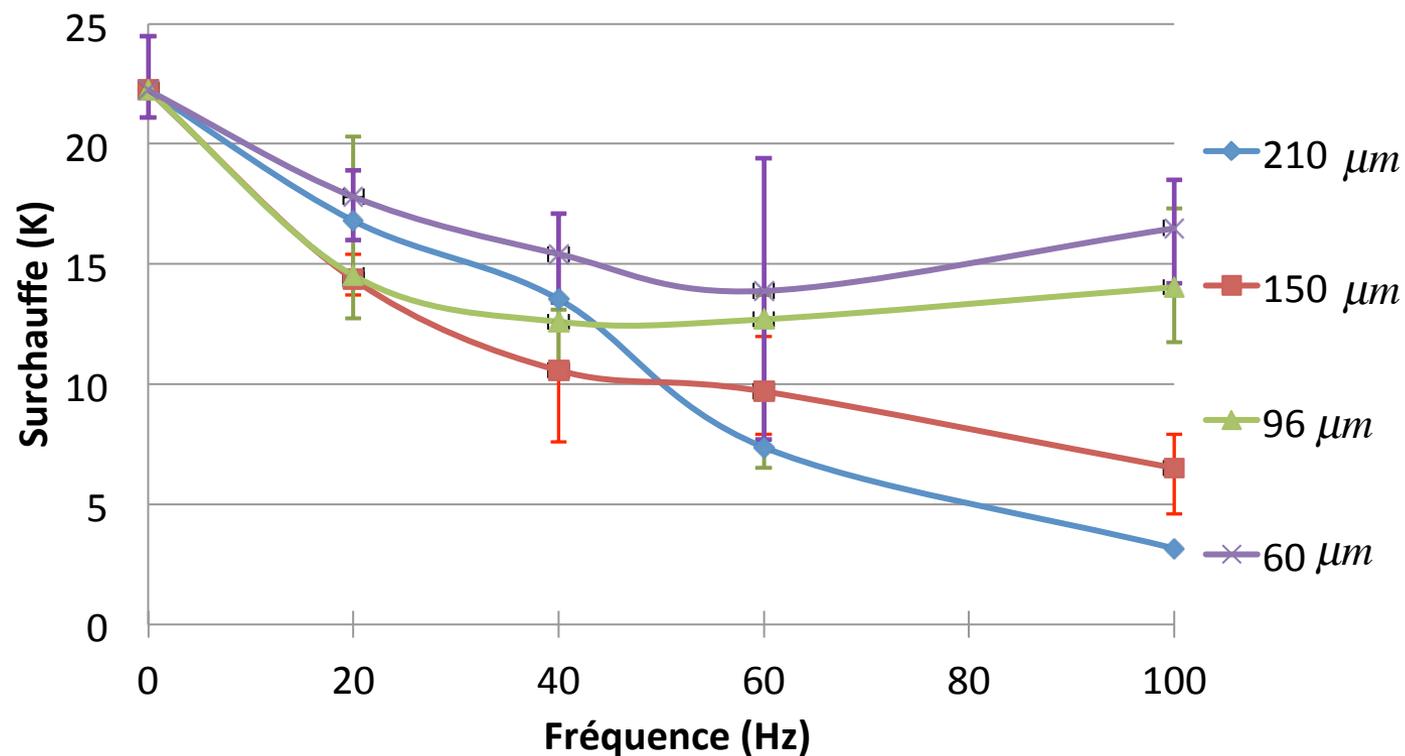
$$\Delta T_{ONB} = 2.3 \text{ K}$$



Evolution temporelle de la surchauffe en paroi en réponse à des paliers de flux

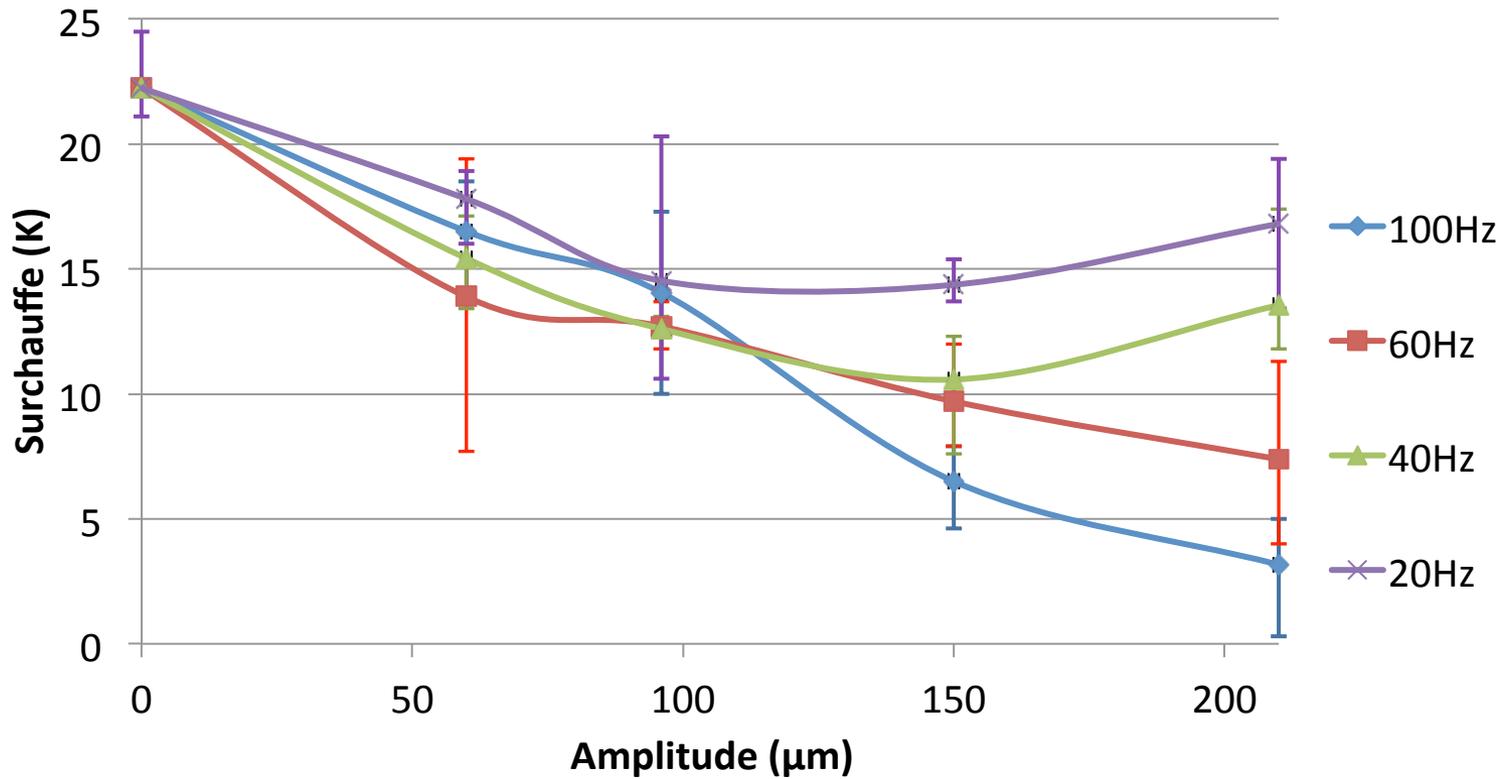


Résultats expérimentaux



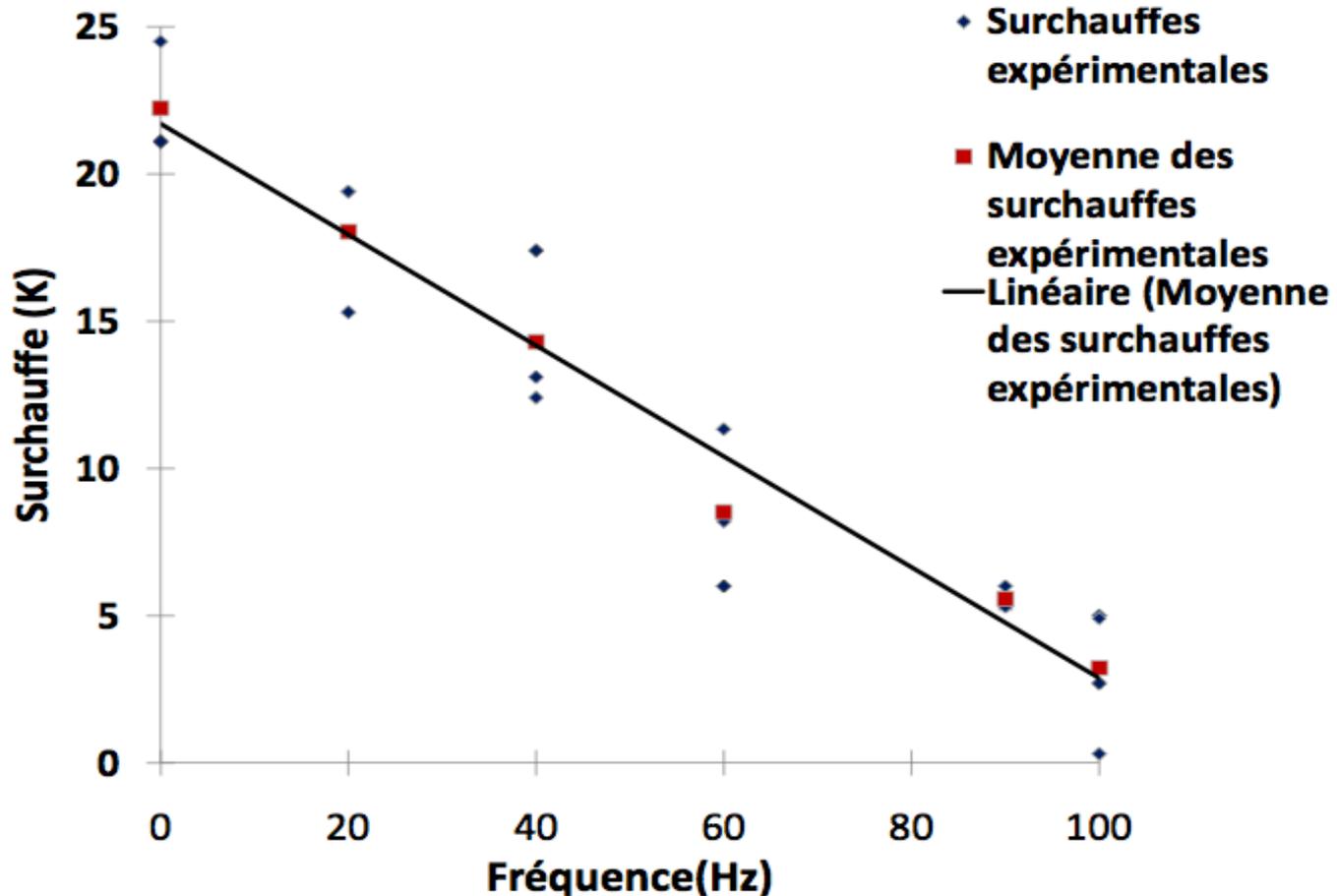
Surchauffe au déclenchement de l'ébullition

Résultats expérimentaux



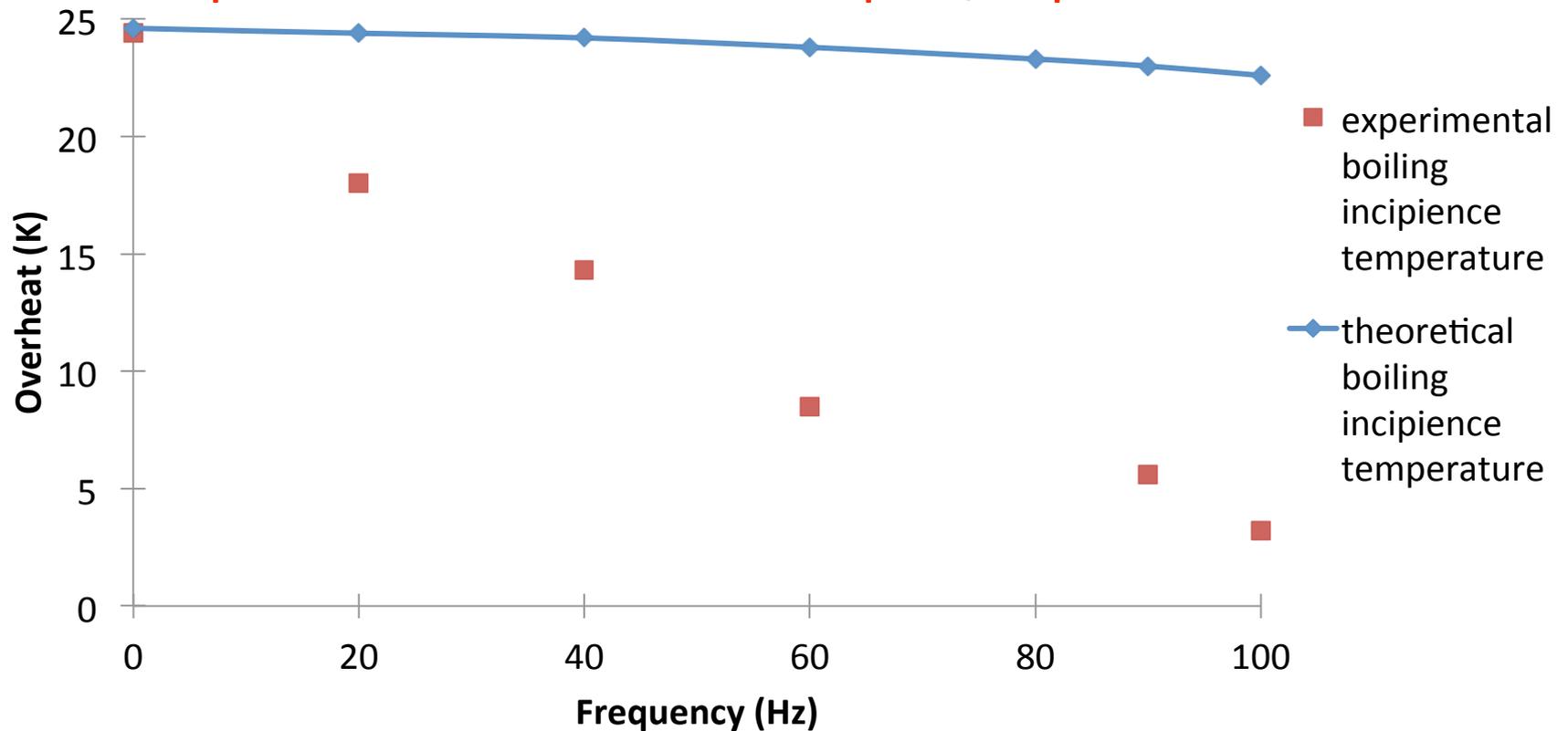
Surchauffe au déclenchement de l'ébullition

Résultats expérimentaux



Surchauffe au déclenchement de l'ébullition ($a_0=210\mu\text{m}$)

Comparaison résultats théoriques/expérimentaux



Comparaison des résultats du modèle théorique ($r_c=0.2\mu m$) aux résultats expérimentaux ($a_0=210\mu m$)



▪ Equations:

Liquide (domaine immobile)

- Masse
- Quantité de mouvement
- Energie

Liquide (domaine mobile)

- Masse

Solide

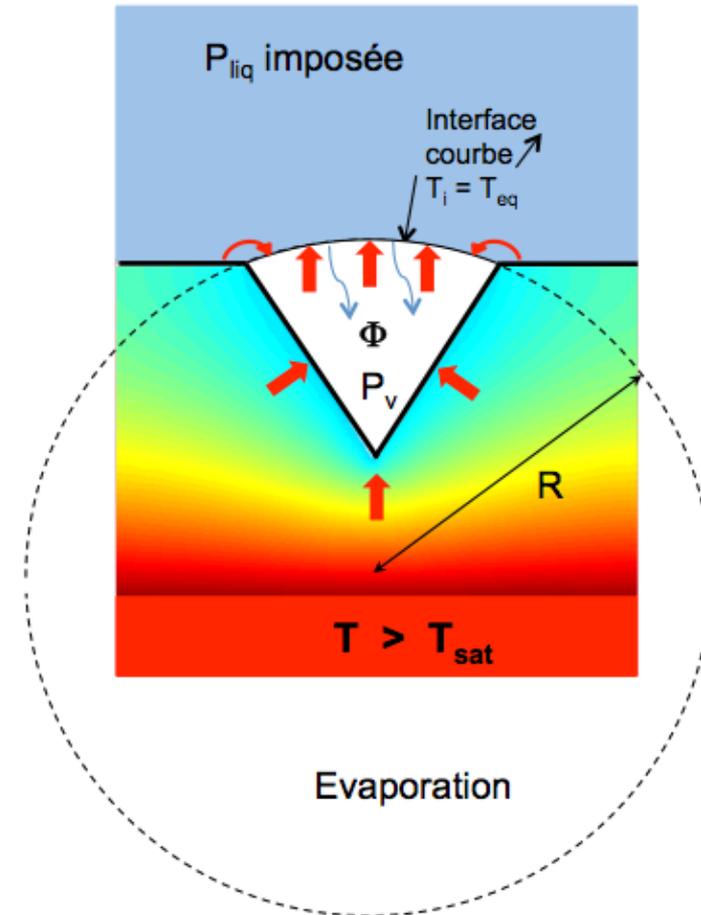
- Energie

Vapeur

- Masse
- Energie
- Gaz parfait
- Géométrie : $V_v = f(R)$

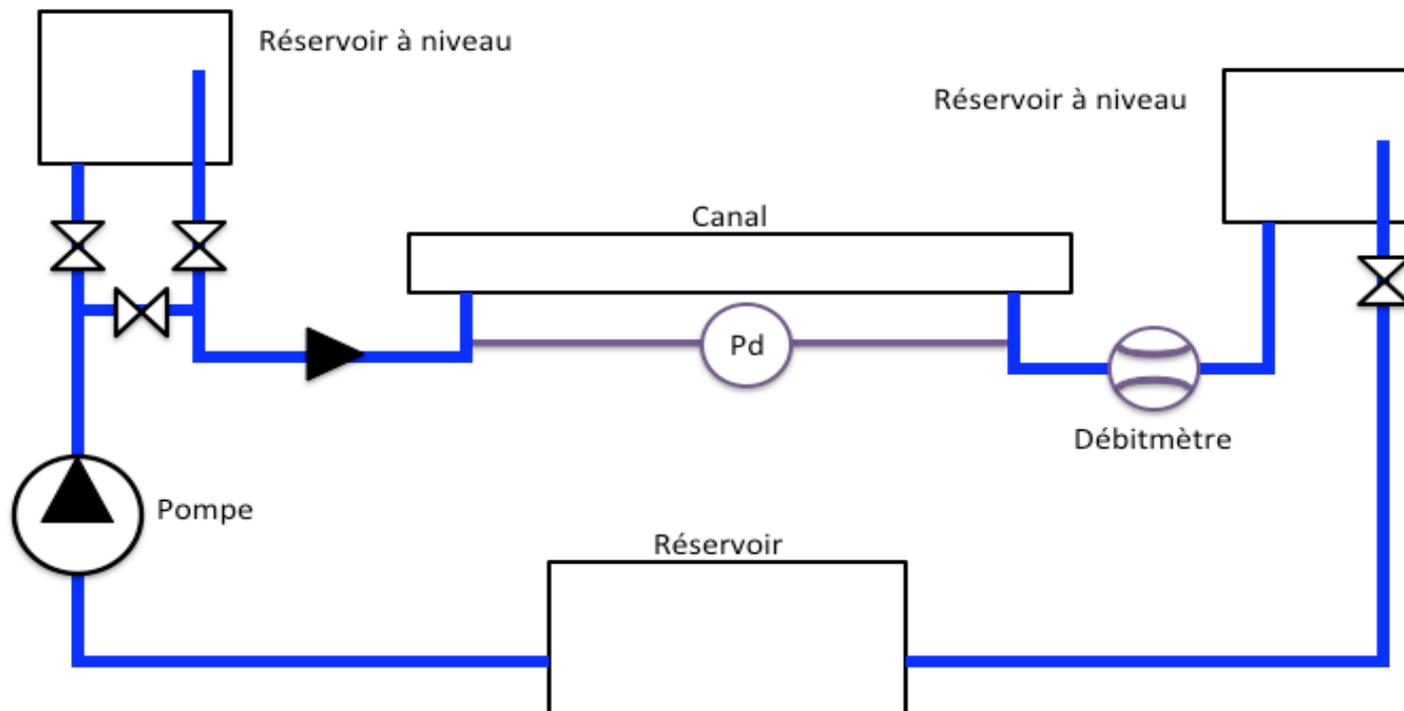
Interface

- Masse
- Young Laplace
- Equilibre : $P_v = P_{sat}(T_{v/l})$



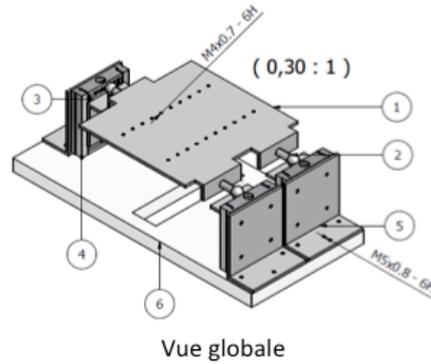
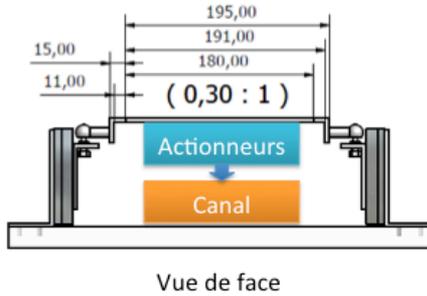
- Concept d'échangeur de chaleur à déformations dynamiques de parois de minicanaux par actionnement piezoélectrique

Circuit hydraulique

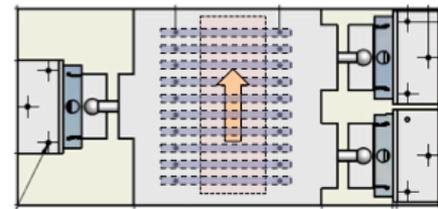


Prototype: Canal a paroi mobile

Structure d'accueil des actionneurs

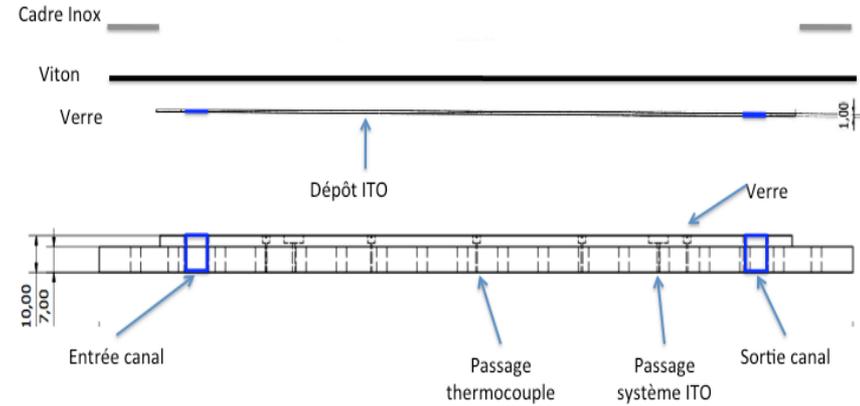


1. Support pour les actionneurs
2. Rotule
3. Support pour rotule
4. Platine micrométrique
5. Pied de support de la platine micrométr
6. Plaque de fond en plexiglas

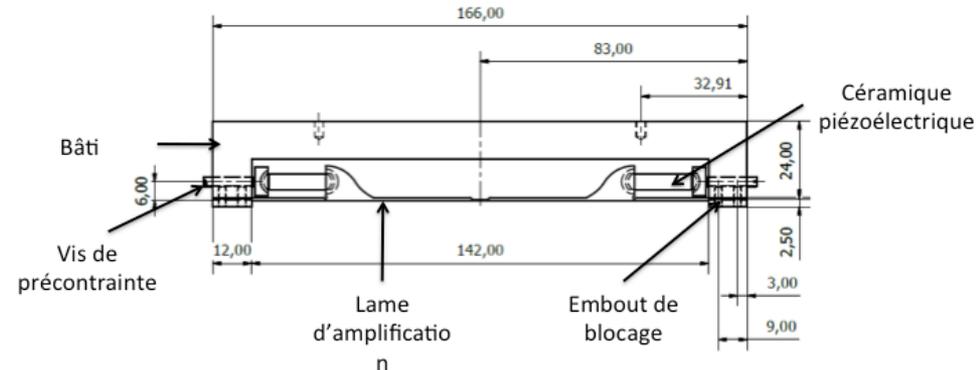
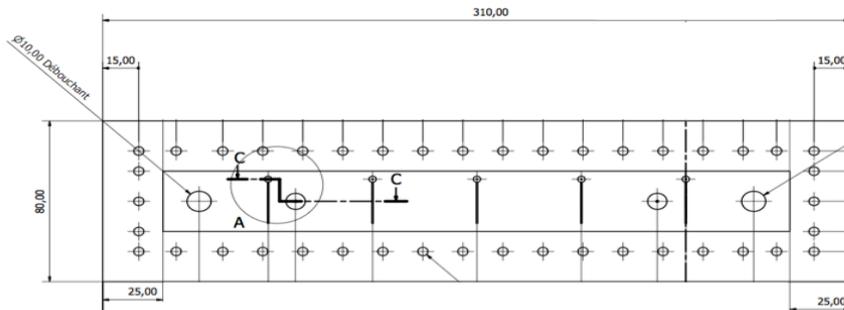
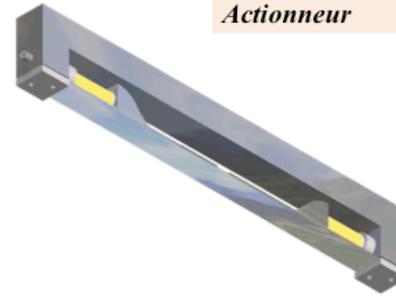


- Sens de l'écoulement
- Canal de l'échangeur
- Actionneurs

Montage du canal

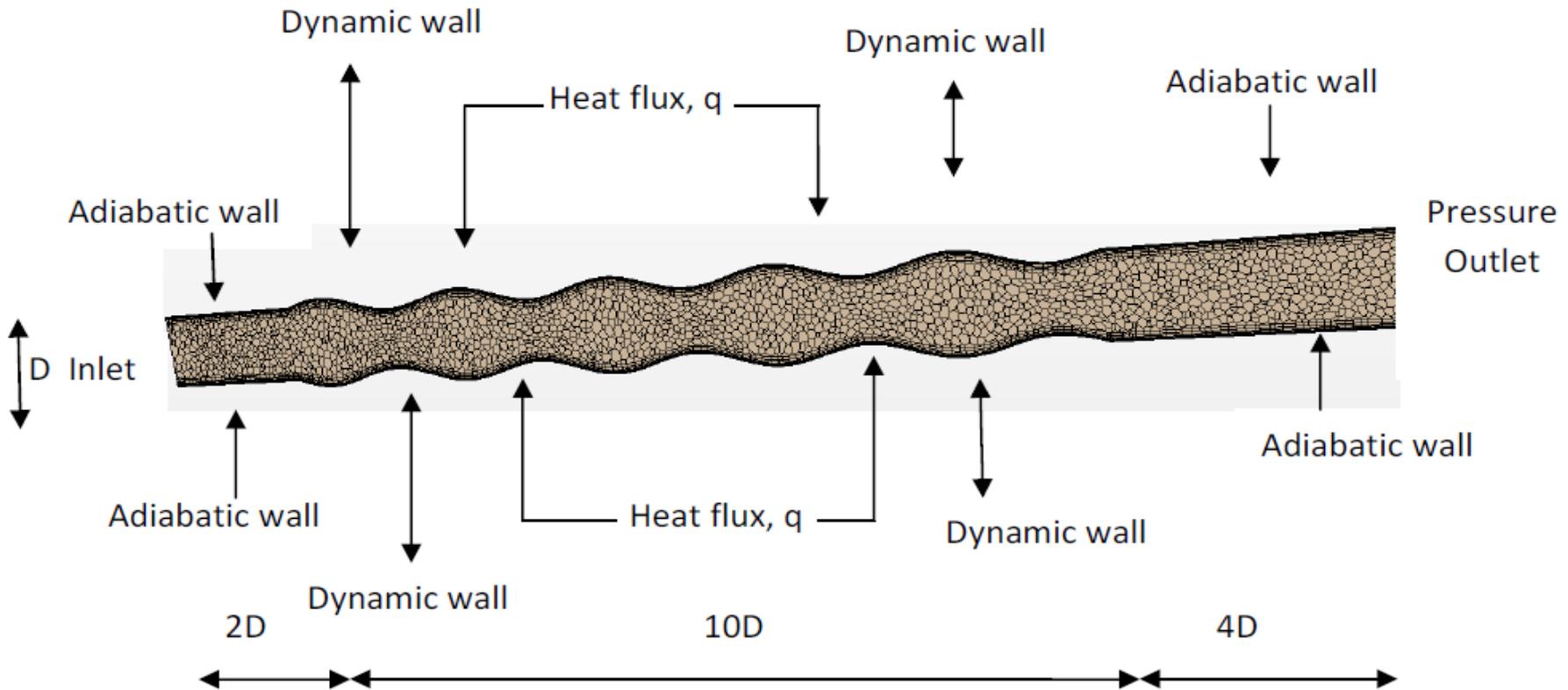
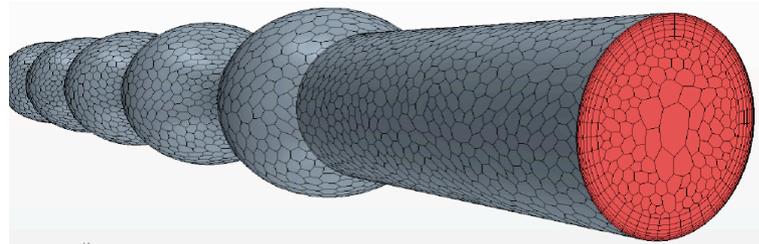


Actionneur



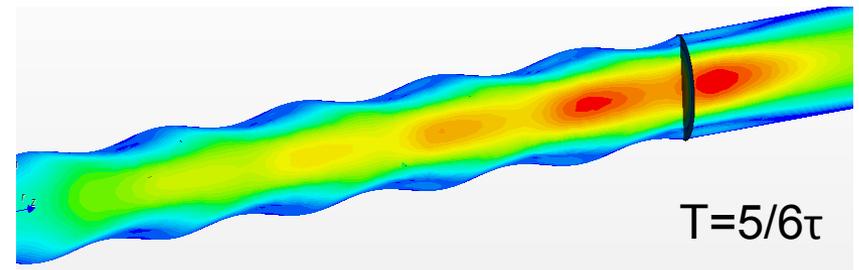
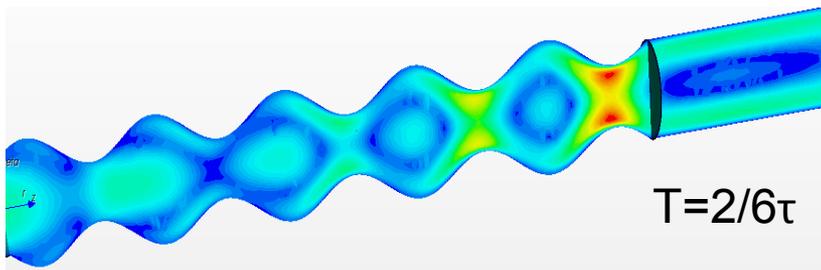
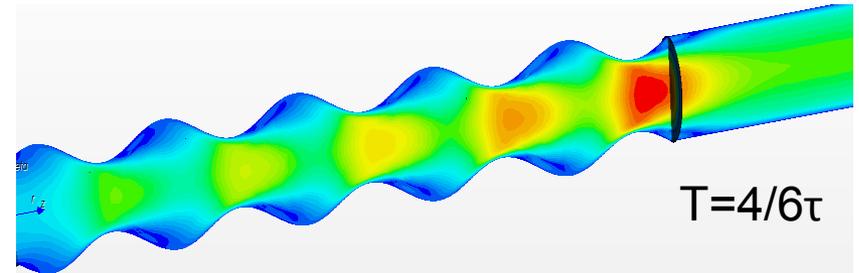
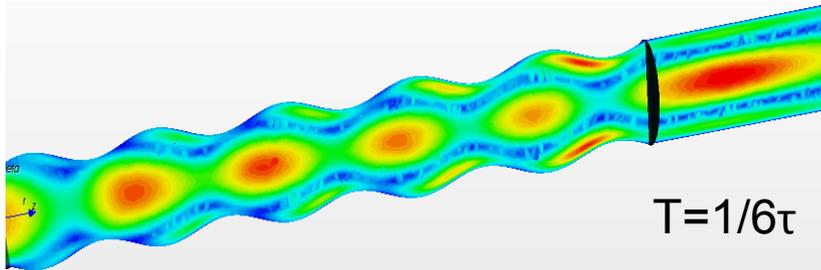
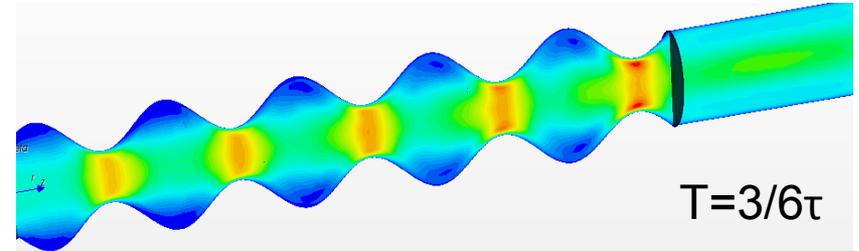
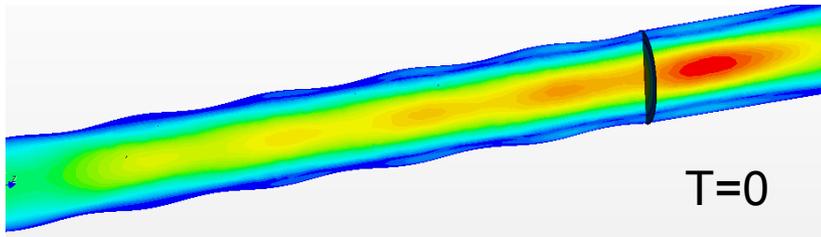
Tube domain

- Equation of moving wall: $y = a \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} x\right) \cdot \sin(2\pi f t)$

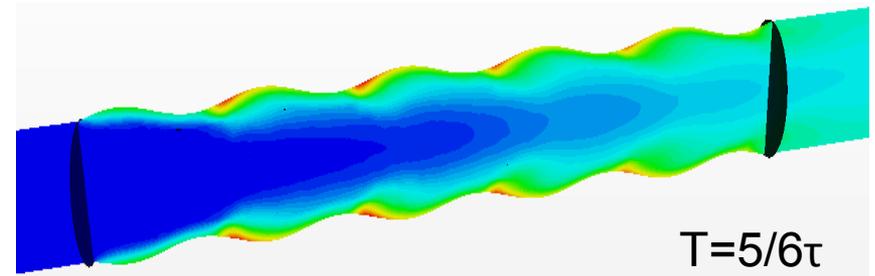
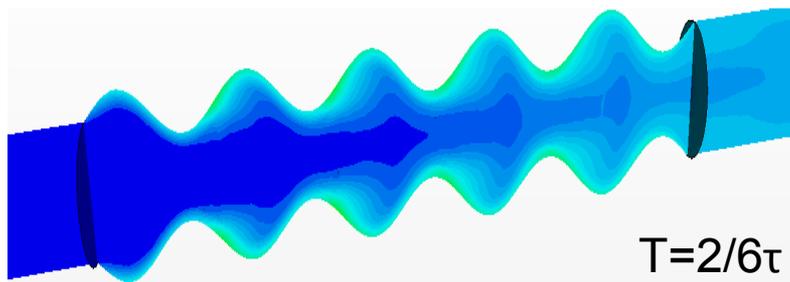
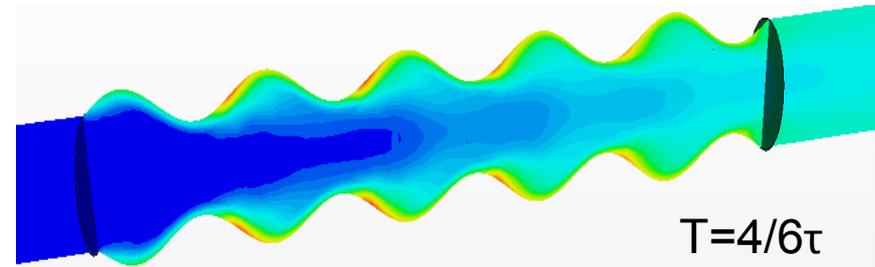
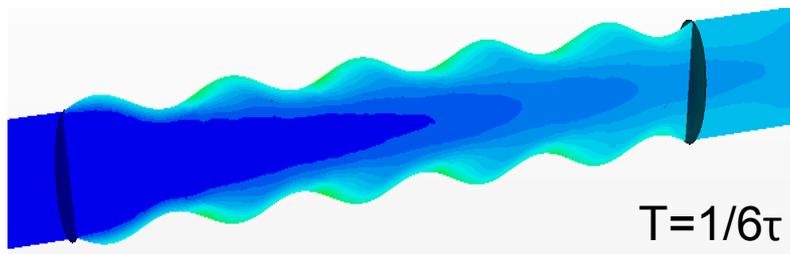
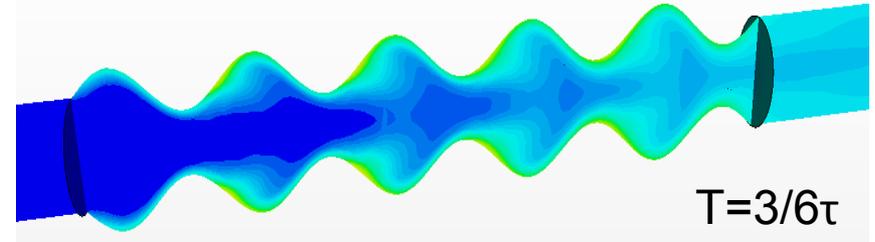
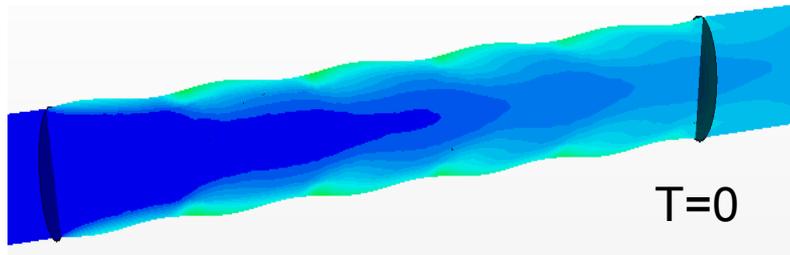


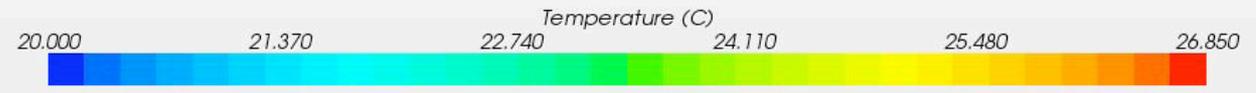
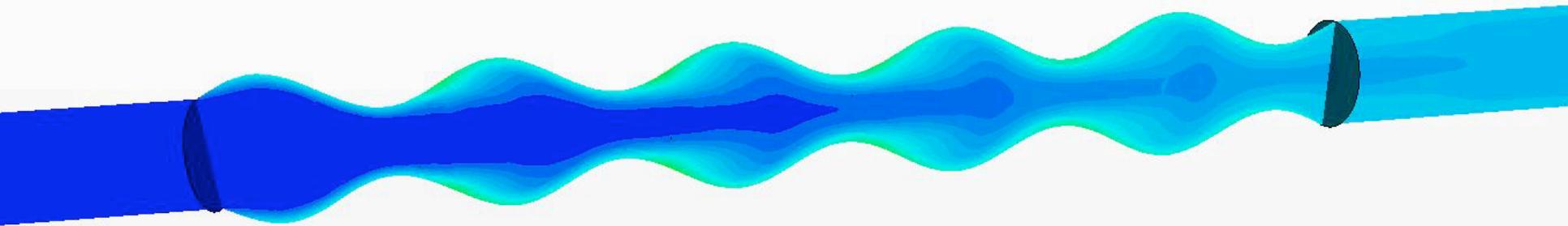
Results (for moving wall)

- Local Results-Local Analysis during one period
- Dynamics of Velocity Field

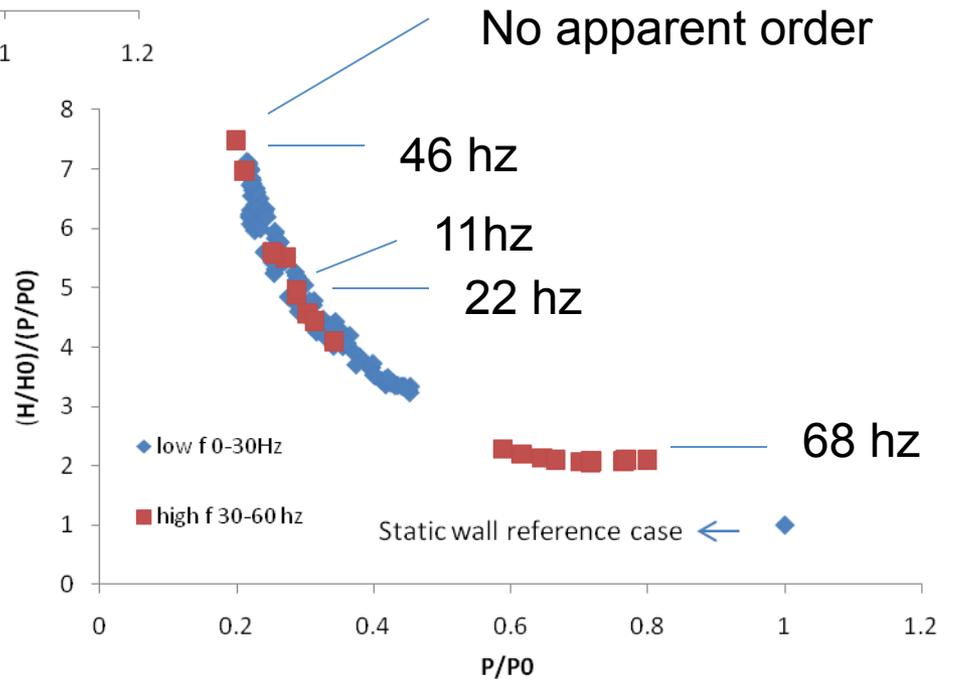
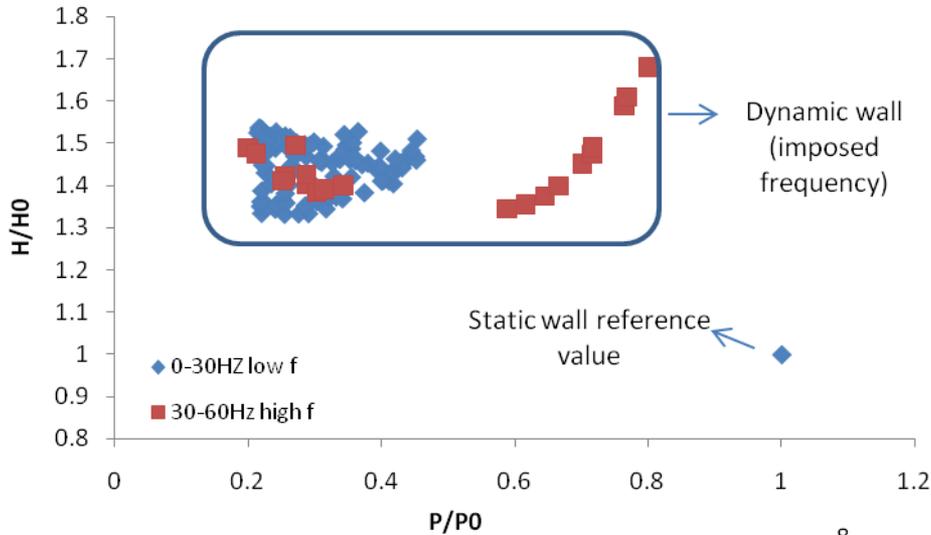


➤ Dynamics of Fluid Temperature Field





Global results



Conclusion-

Moving wall

h

ΔP



Moving wall: (1) Complex flow behavior

(2) Flow pattern interacts with wall displacement

(3) Phenomena not understood yet

Remarks-

Moving wall: (1) Only high amplitudes (10-20%) play important role

(2) $f \geq 20$ are useful for higher HT and lower ΔP

(3) Reynolds number do not play significant role

Perspectives-

Moving wall: Strong potential for applications and heat exchange devices

Canal Virtuel surface déformée par une onde progressive sinusoïdale

$$A(\mathbf{x}, t) = A_0 \sin(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{x} + \varphi) \quad A_0 \text{ Amplitude, } \omega \text{ Pulsation (} 2\pi f \text{), } k \text{ Nombre d'onde}$$

Canal : 100 mm long, 30 mm large, 0.3, 1 et 3 mm épaisseur

Ecoulement laminaire, Chauffage par le bas (parois fixe à flux constant)

Différence de pression entrée sortie 50 Pa

Fréquence onde: 1 à 50 Hz

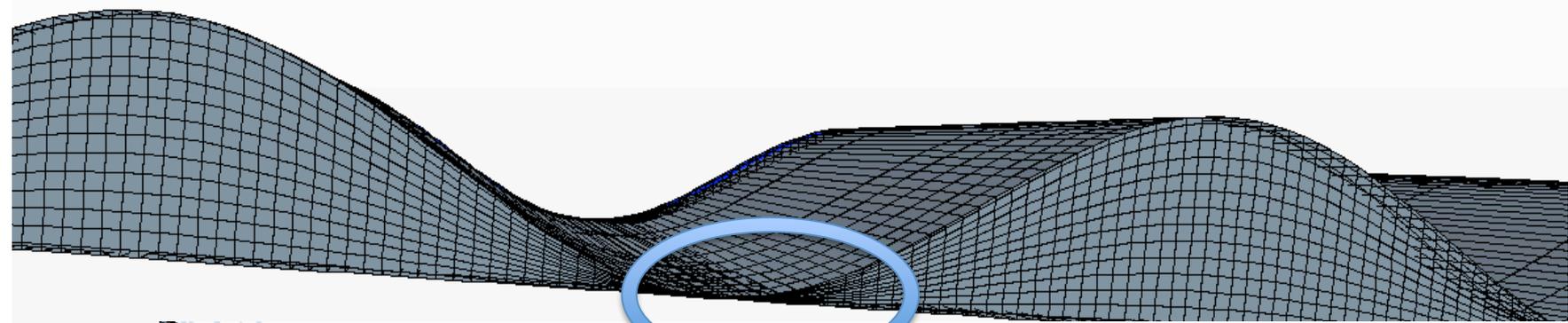
Amplitude de l'onde 5 à 98,5 % de l'épaisseur

5, 10 et 20 sinusoïdes sur la longueur ($k=50, 100, 200$ (*2 π))

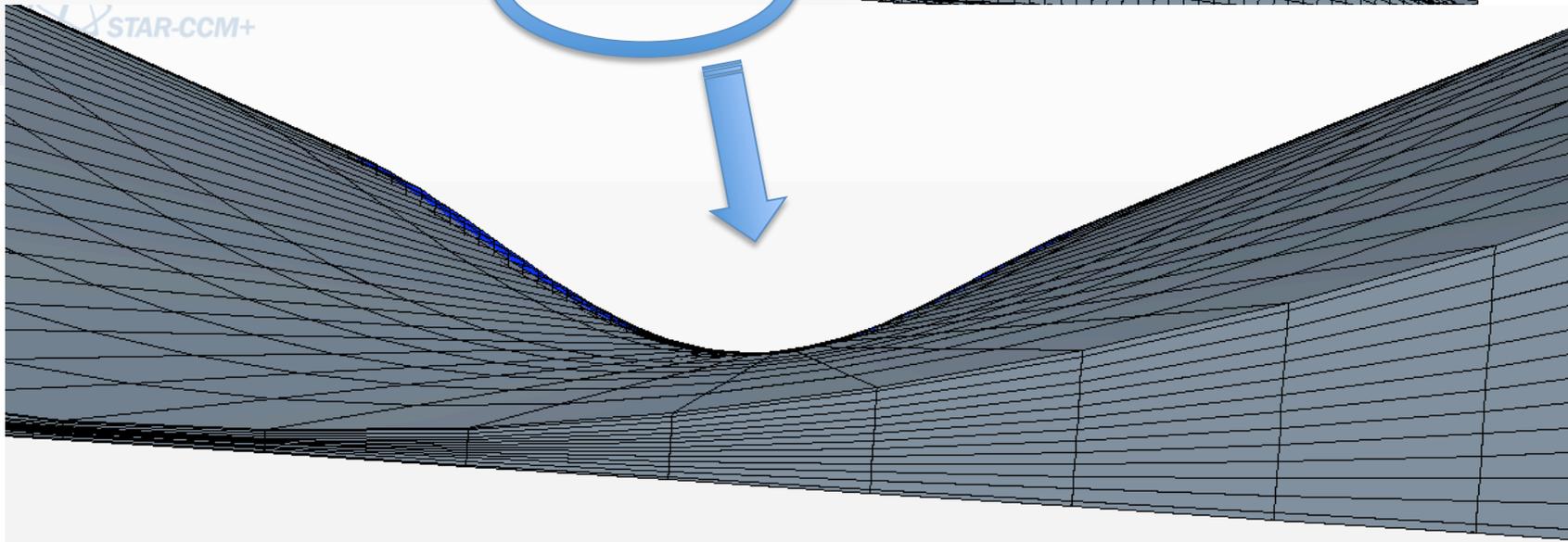
→ Vitesse de phase variable en fonction de f et k : $c = \omega/k$



Maillage Mobile

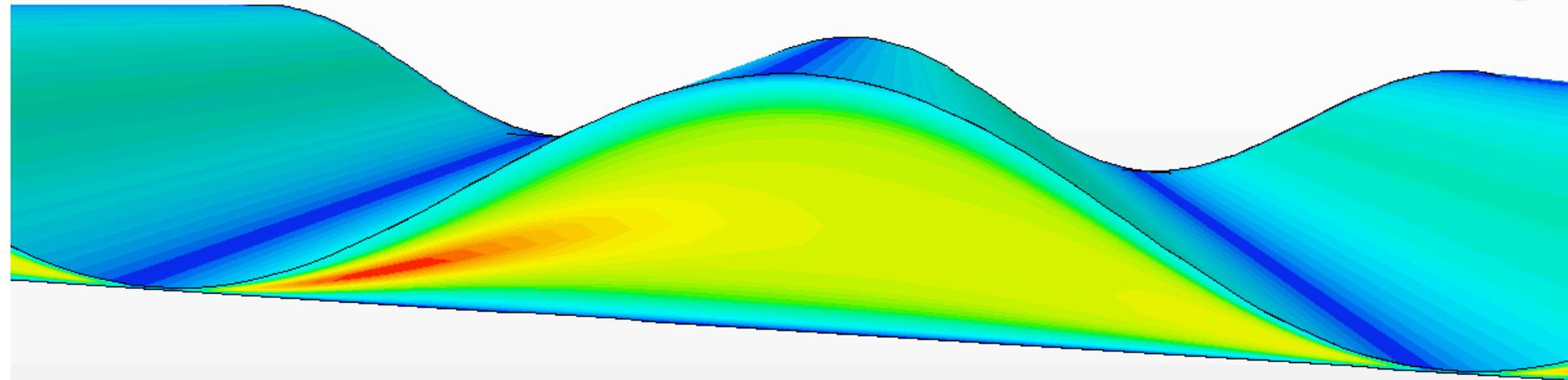


STAR-CCM+

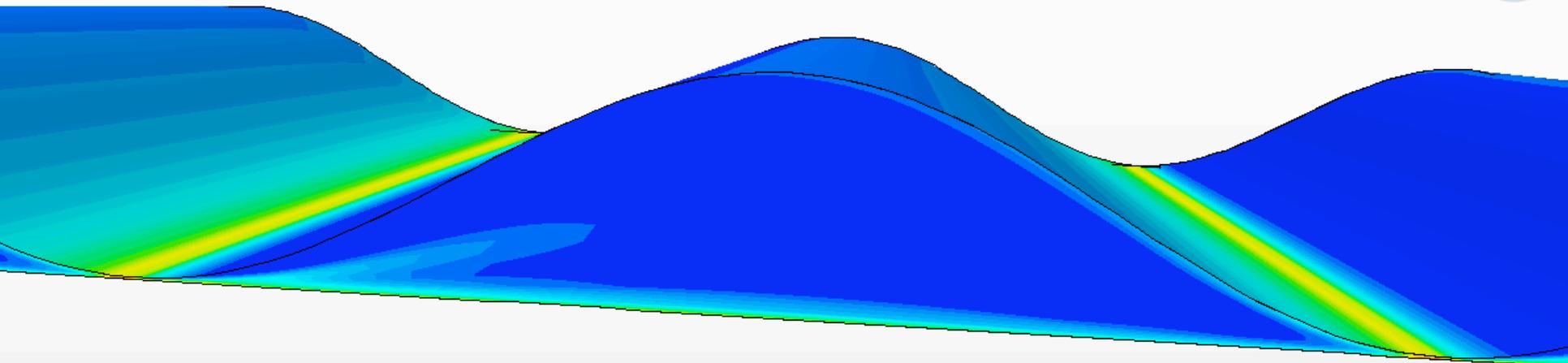


~75 000 mailles, (20 dans l'épaisseur et 10 dans la largeur)
Résolution Navier-Stokes + Bilan Energie sur maillage mobile en grande déformation : Starccm+
Déplacement de la surface imposé

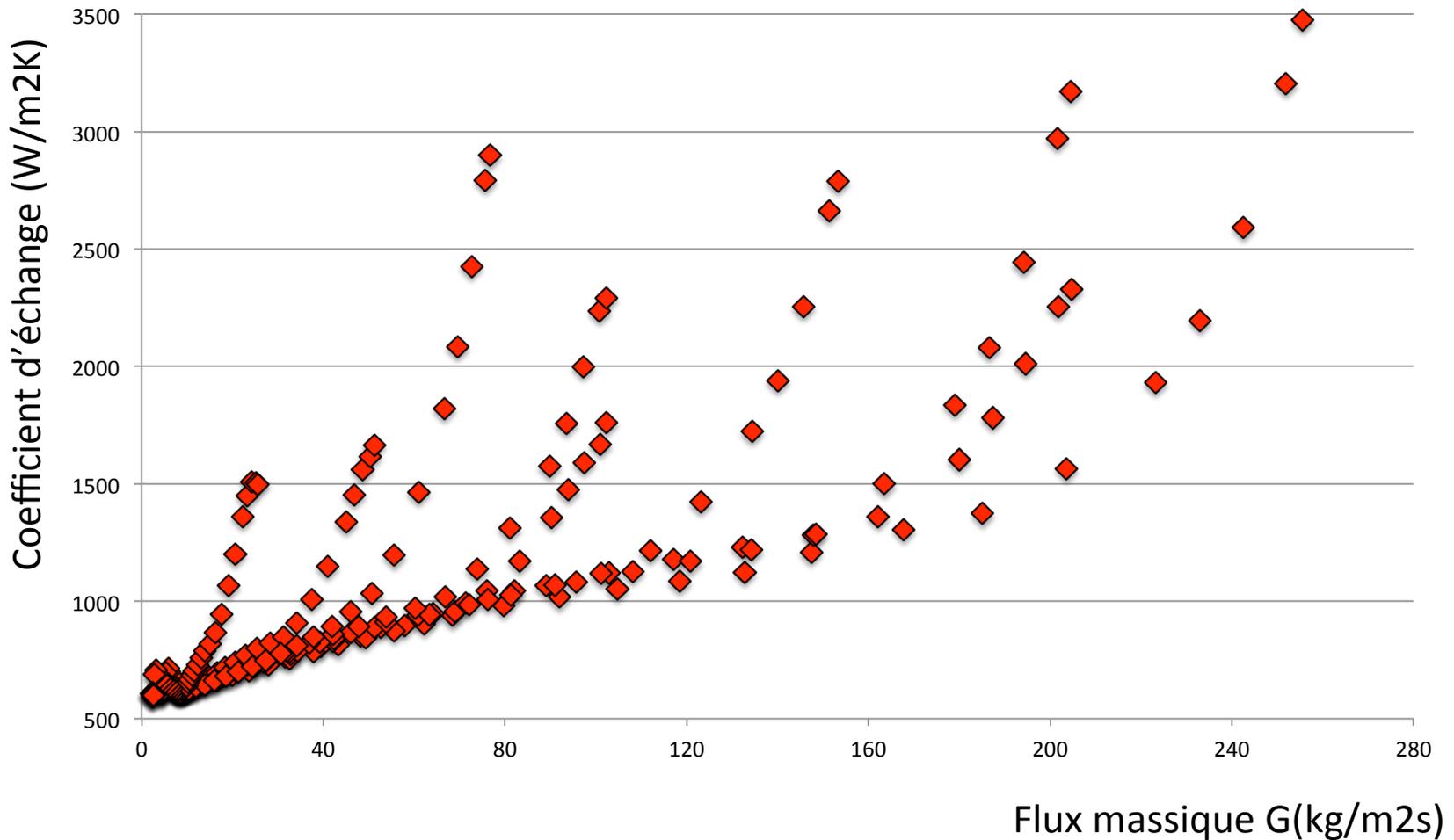
Champ de vitesse



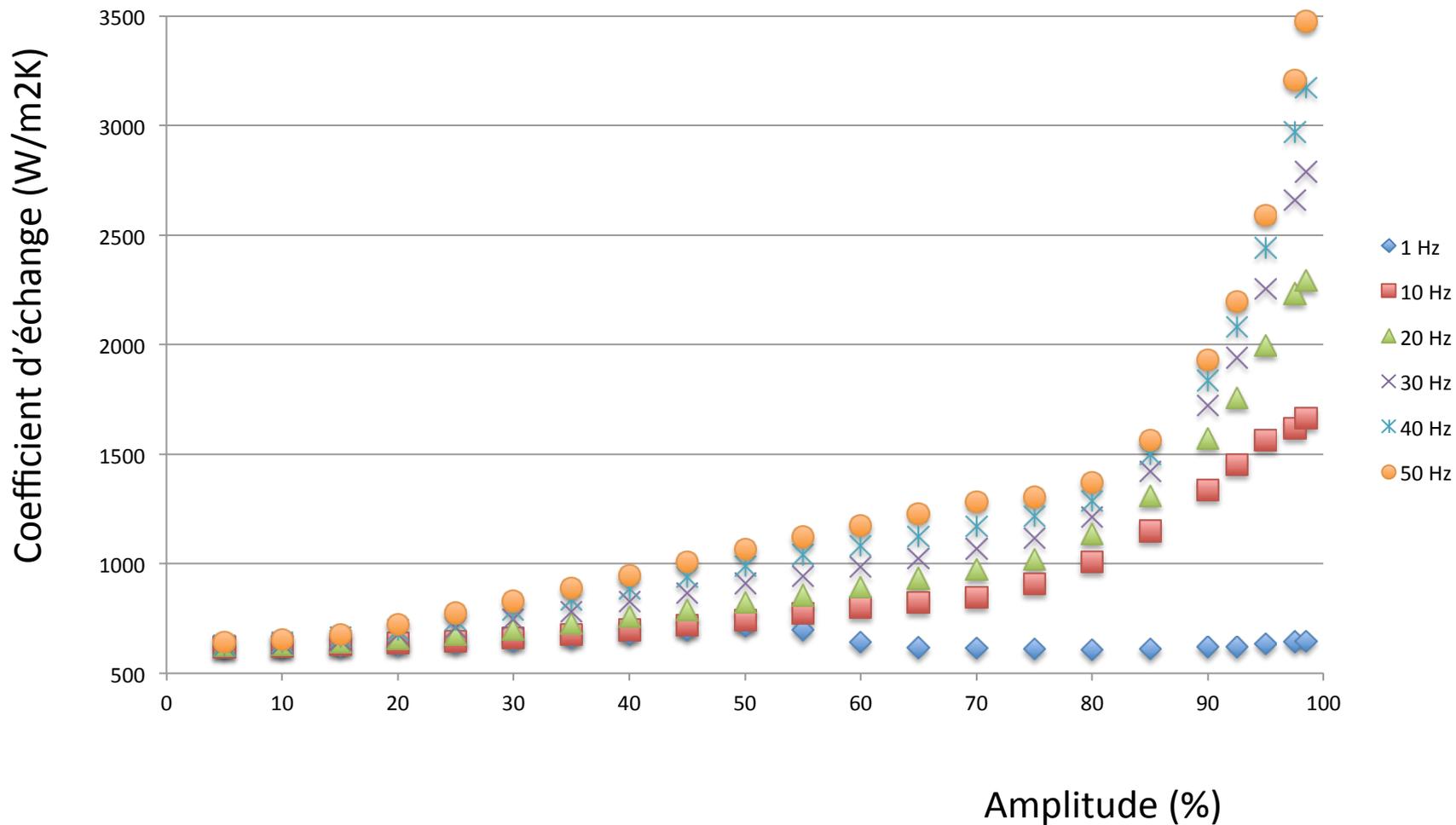
Champ de Température



Canal 1mm

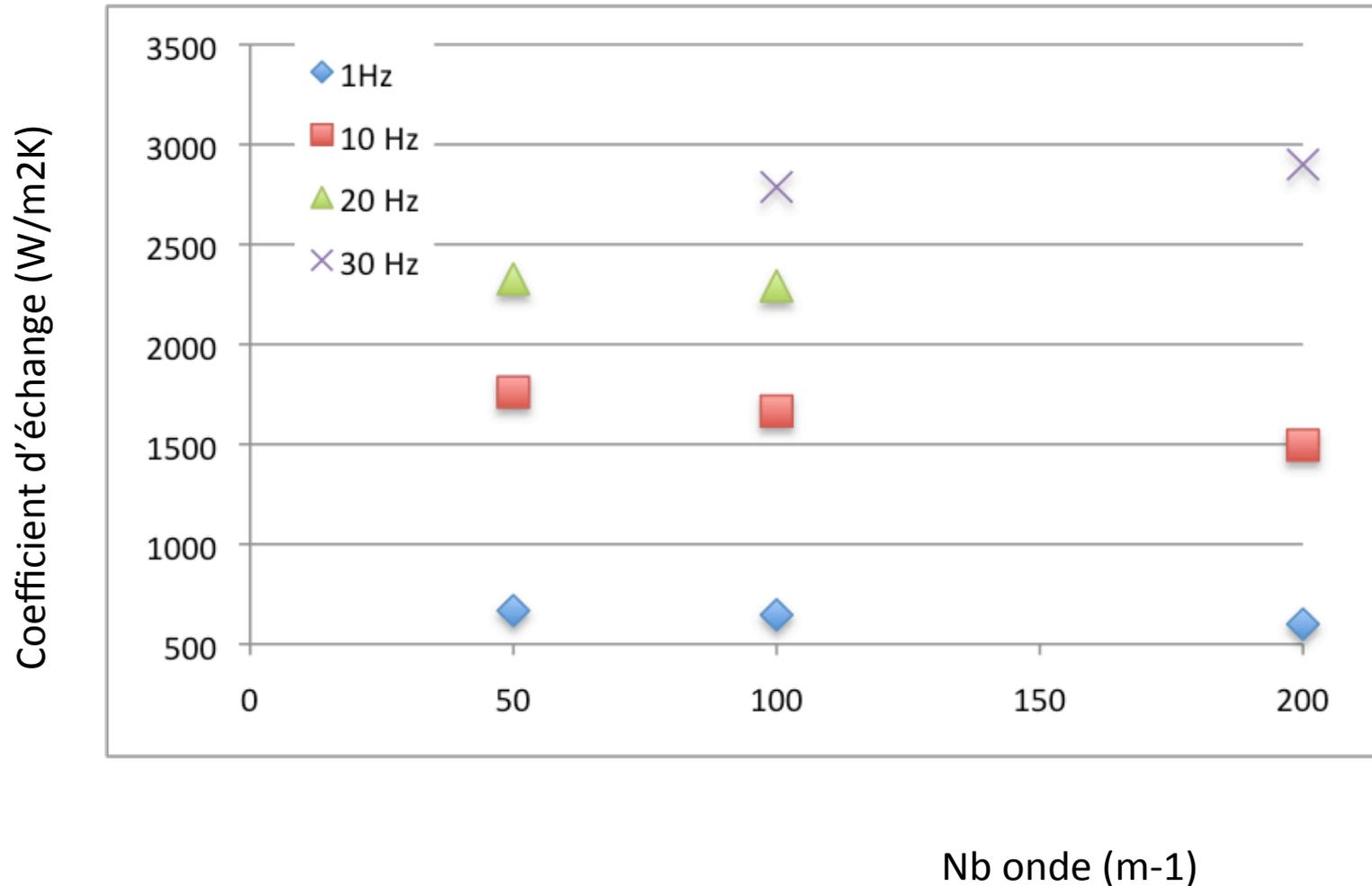


Canal 1 mm

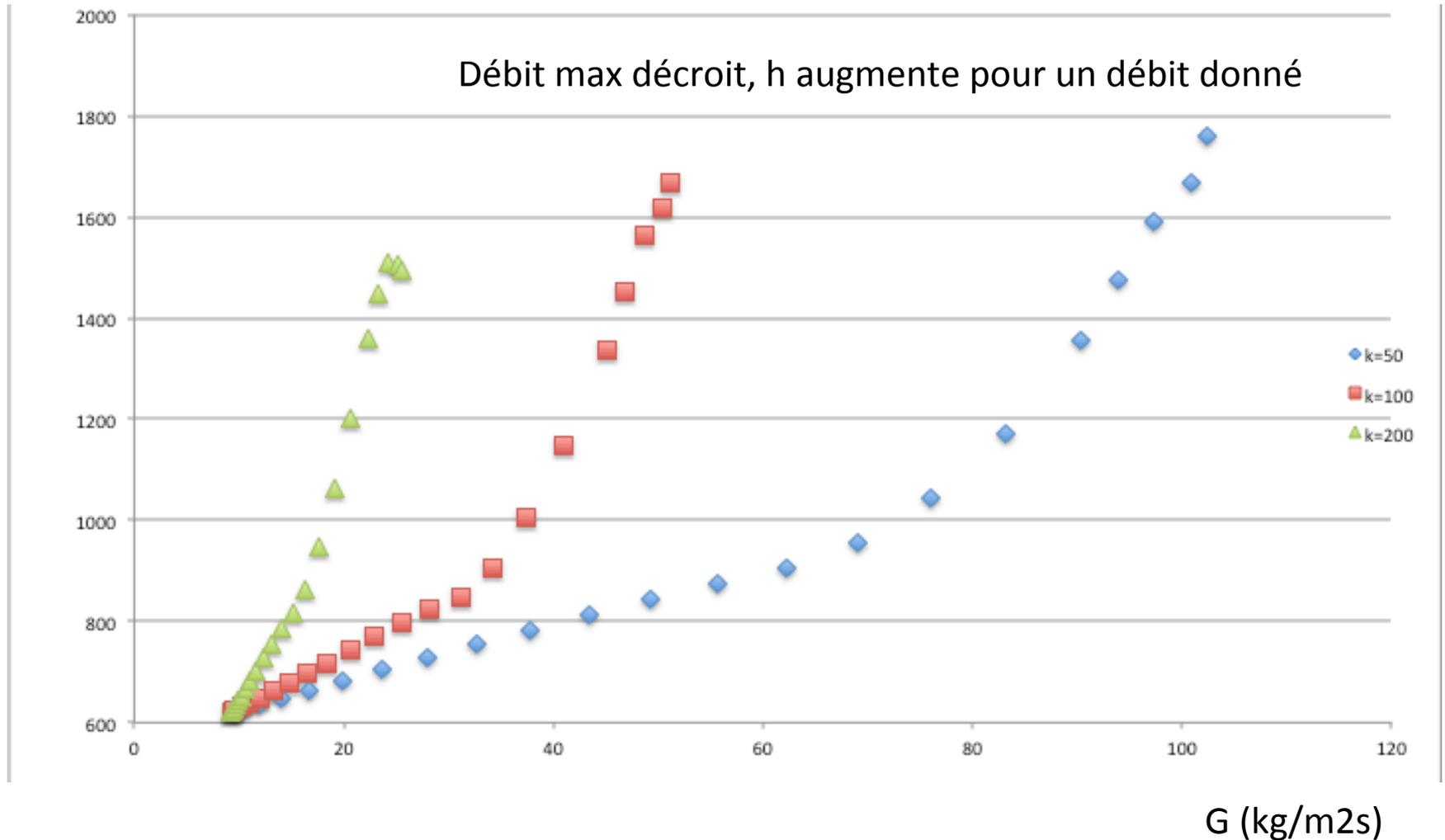


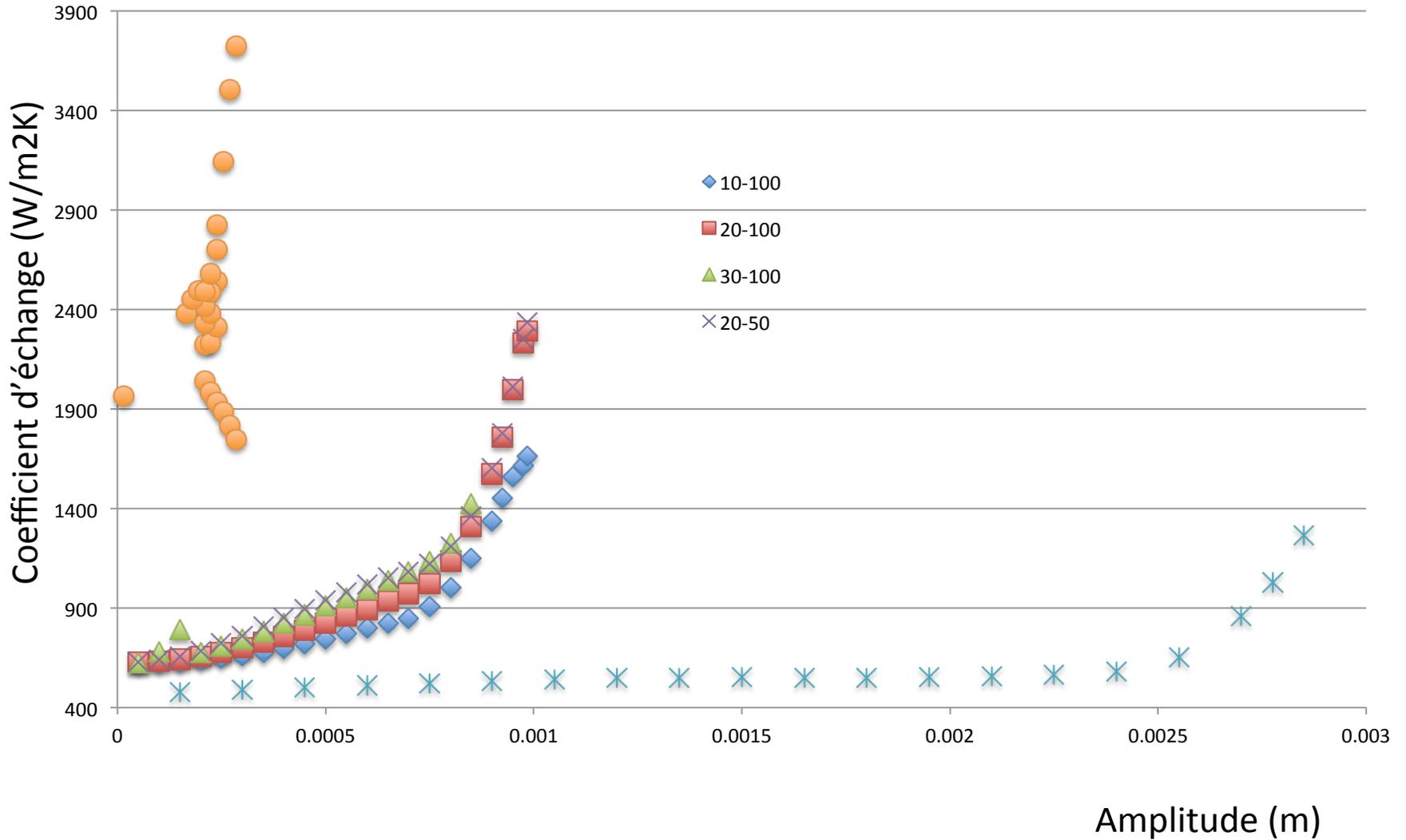
Influence du nombre d'onde

Canal 1 mm



Influence Nb Onde, $f=10$ Hz





Influence des différents paramètres sur le coefficient d'échange

- H croît de manière non monotone avec le débit
- Nombre d'onde ↘
- Fréquence ↗
- Amplitude ↗
- Epaisseur du canal ↘