



Mesure de la contrainte pariétale par film chaud dans un écoulement induit par un transducteur focalisé : application à la perméabilisation de la sclère

Porteur : Cyril MAUGER

(Le porteur s'engage à participer et présenter son projet aux journées de la GI-EIF)

Partenaires : Claude INSERRA (LabTAU)

Laboratoire : LMFA

Composante : (si applicable)

Nature du financement demandé : Stage de M2

Dates : Premier semestre 2026

Résumé : La délivrance de médicaments à travers la sclère offre une alternative non invasive pour le traitement des maladies oculaires. L'utilisation d'ultrasons focalisés permet de perméabiliser le tissu biologique à travers des effets mécaniques tels que le *streaming* acoustique. Ce projet vise à quantifier la contrainte pariétale (τ_w) d'un écoulement généré par un transducteur ultrasonore à l'aide d'un capteur à film chaud. Les mesures, réalisées pour différentes configurations acoustiques et géométriques, permettront de caractériser les régimes d'écoulement favorables à une perméabilisation contrôlée. Les résultats attendus contribueront à établir une cartographie des contraintes pariétales et à optimiser les traitements ultrasonores. Cette approche s'inscrit dans la dynamique de l'industrie du futur appliquée à la santé, vers des thérapies plus sûres et personnalisées.

Sujet développé :

1. Contexte et motivation

La délivrance de médicaments à travers la sclère constitue un défi pour le traitement non invasif des maladies oculaires. L'utilisation d'ultrasons focalisés permet de perméabiliser le tissu sans endommager les structures internes de l'œil [1]. Ce phénomène repose sur les effets mécaniques induits par l'onde acoustique, tels que le *streaming* acoustique. Cependant, la compréhension des mécanismes hydrodynamiques, notamment la distribution spatiale et temporelle de la contrainte pariétale, reste limitée. Cette grandeur, déterminante pour les effets mécaniques sur les tissus, représente un enjeu essentiel pour maîtriser la perméabilisation sclérale.

2. Objectifs

Le projet vise à quantifier, à l'aide d'un capteur à film chaud, la contrainte pariétale (τ_w) d'un écoulement généré par un transducteur ultrasonore focalisé. Les objectifs spécifiques sont :

- caractériser les profils locaux de contrainte pariétale selon les paramètres acoustiques (puissance, fréquence, focalisation...) et géométrique (plaque plane, orientation...),

- identifier les régimes d'écoulement favorables à une perméabilisation contrôlée,
- explorer l'application à l'échelle d'une bulle micrométrique acoustiquement excitée.

3. Méthodologie

Un transducteur à ultrasons focalisé (21 MHz) immergé dans l'eau génère l'écoulement. Un capteur à film chaud miniaturisé est placé sur une paroi plane mimant la sclère, dont la position est ajustée par des platines piézométriques. Après calibration dans un canal dédié, le capteur mesure localement la contrainte de cisaillement (τ_w) via la loi de King reliant tension et vitesse de cisaillement [2]. Les mesures seront effectuées pour différentes configurations (Figure 1).

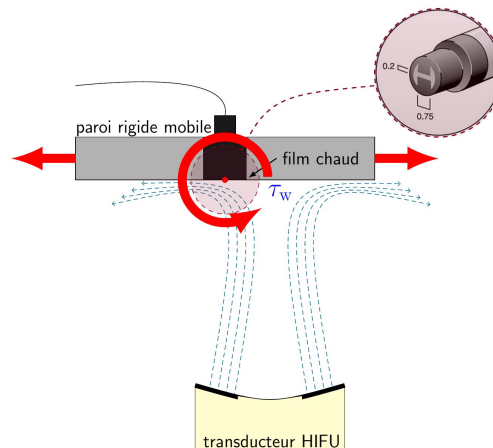


Figure 1 : Schéma du dispositif expérimental.

4. Résultats attendus

On peut s'attendre à mettre en évidence une forte dépendance de la contrainte τ_w à la puissance acoustique, à la distance par rapport à la zone de focalisation, à l'orientation de la plaque mais aussi au type de séquences thérapeutiques réalisées. Ces résultats permettront d'établir une cartographie des contraintes pariétales en fonction des paramètres acoustiques et de relier les seuils de perméabilisation observés in vitro aux conditions hydrodynamiques locales.

5. Application et perspectives

Cette approche expérimentale s'inscrit pleinement dans la logique de l'industrie du futur appliquée à la santé. Elle pourrait servir de base pour la modélisation prédictive et pour l'optimisation des séquences thérapeutiques ultrasonores ciblant la sclère ou d'autres tissus biologiques ouvrant la voie à des traitements ophtalmiques plus sûrs et ciblés (administration de médicaments, thérapie génique).

À plus petite échelle, la mesure des contraintes pariétales induites par une bulle acoustiquement excitée pourrait constituer un modèle simplifié des thérapies ultrasonores de demain, intégrant microbulles, nanomédicaments et systèmes intelligents de délivrance ciblée.

[1] Mitragotri, S. (2005). "Healing sound: the use of ultrasound in drug delivery and other therapeutic applications." *Nature Reviews Drug Discovery*, 4(3), 255–260.

[2] Bruun, H. H. (1995). *Hot-Wire Anemometry: Principles and Signal Analysis*. Oxford University Press.

[3] Nyborg, W. L. (1958). "Acoustic streaming near a boundary." *The Journal of the Acoustical Society of America*, 30(4), 329–339.

[4] Brenner, M. P., Hilgenfeldt, S., & Lohse, D. (2002). "Single-bubble sonoluminescence." *Reviews of Modern Physics*, 74(2), 425–484.