



HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES

Date de la soutenance : **30 juin 2026**

Nom de famille et prénom de l'auteur : **Monsieur LAFOND Maxime**

Titre des travaux : « *Biomodulation ultrasonore : des effets biologiques au contrôle adaptatif des traitements.* »

Résumé



Mes travaux de recherche s'inscrivent dans le domaine des ultrasons thérapeutiques et visent à comprendre, mesurer et contrôler les interactions entre ondes acoustiques et tissus biologiques afin de développer des approches innovantes de « biomodulation » : la modulation des propriétés ou fonctions de tissus biologiques. L'objectif général est de dépasser les paradigmes actuels fondés sur des traitements ultrasonores statiques pour proposer des stratégies adaptatives reposant sur un retour d'information en temps réel. Après une formation en acoustique puis un doctorat en ingénierie biomédicale au sein du laboratoire LabTAU (Inserm U1032), j'ai approfondi ces thématiques lors de deux expériences postdoctorales internationales au Japon et aux États-Unis, avant de rejoindre l'Inserm en tant que chargé de recherche en 2021. Mes travaux couvrent un spectre allant de la physique non linéaire de la cavitation à des applications précliniques en oncologie, en ophtalmologie et en neurologie.

Un premier axe de recherche concerne l'exploitation de la cavitation ultrasonore comme outil de modulation des tissus biologiques. J'ai contribué à des travaux sur la délivrance de médicaments et la potentialisation de traitements anticancéreux. Plus récemment, mes recherches se sont orientées vers la modulation mécanique contrôlée du microenvironnement tumoral, en particulier dans le cancer du pancréas, ainsi que vers des applications originales en ophtalmologie, notamment l'étude de la cavitation dans le cristallin pour le traitement de la presbytie.

Un second axe porte sur le développement de méthodes de monitoring des effets de la cavitation. Mes travaux ont notamment contribué à améliorer l'imagerie passive de cavitation et à réduire ses artefacts, renforçant ainsi la fiabilité des traitements. Plus récemment, j'ai développé une approche originale consistant à exploiter les signaux acoustiques émis par les bulles comme des capteurs indirects de l'état mécanique du tissu via des méthodes de machine learning, ouvrant la voie à une estimation en temps réel des propriétés viscoélastiques.

Un troisième axe concerne le développement d'outils et de dispositifs innovants. J'ai participé à la conception de plateformes ultrasonores multimodales permettant de comparer différentes modalités thérapeutiques (cavitation, histotripsie, effets thermiques), ainsi qu'au développement de dispositifs endoscopiques pour le traitement du pancréas. Par ailleurs, j'ai

contribué à des travaux sur des implants passifs sans batterie, adressables par ultrasons, pour la lecture de signaux physiologiques et la stimulation neuronale.

Ces travaux convergent vers une vision intégrée des ultrasons thérapeutiques comme outils de biomodulation contrôlée. Ils ont conduit à la structuration de projets de recherche ambitieux dont je suis coordinateur, notamment une ANR JCJC et un projet PCSI en 2025, visant à développer des stratégies de "SMART cavitation" basées sur le contrôle adaptatif des paramètres ultrasonores en fonction de la réponse tissulaire. L'ensemble de ces contributions a donné lieu à plus de 30 publications dans des revues internationales, plusieurs brevets, ainsi qu'à l'encadrement de nombreux étudiants et jeunes chercheurs. Mes travaux participent à faire évoluer le domaine vers des approches plus quantitatives, reproductibles et personnalisées, avec des perspectives fortes en oncologie et en médecine de précision.