Résumé

La thérapie par ultrasons (HIFU, sonoporation) permet un traitement ciblé non invasif. Ces thérapies nécessitent un guidage précis, généralement assuré par IRM ou par ultrasons. Le guidage par ultrasons permet de concevoir une sonde unique intégrant directement les modalités pour la thérapie et l'imagerie, appelée sonde bi-modale. En particulier, lorsque la thérapie repose sur l'utilisation d'un agent de contraste tel que des microbulles, ce guidage peut également être assuré par imagerie harmonique, où l'émission se fait à basse fréquence et la réception à plus haute fréquence. Cette thèse explore deux architectures permettant cette bi-modalité tout en s'affranchissant des compromis imposés par un transducteur unique large bande : une architecture bistatique, avec deux sondes physiquement séparées, et une architecture en empilement (« stack »), superposant les transducteurs basse (matrice 2D à 1 MHz) et haute fréquence (barrette de 128 éléments à 20 MHz), fabriquées par l'entreprise Vermon. Ces travaux ont été menés en collaboration avec le laboratoire iBrain (INSERM – Université de Tours).

Le premier axe porte sur l'étude d'une configuration avec deux sondes séparées pour l'imagerie, notamment harmonique. Des outils de simulation (DREAM, MATLAB) ont dans un premier temps été développés puis exploités, afin d'une part évaluer l'impact de la configuration bistatique sur la résolution des images, et d'autre part d'évaluer différentes stratégies de formation de faisceau. La méthode dite « compound » s'est avérée être la technique la plus robuste, offrant de meilleures résolutions, comparativement à d'autres formations telles que le mode onde plane et le mode focalisé à balayage. Sur la base de ces conclusions théoriques, des images expérimentales en mode fondamental puis harmonique, démontrant un fort potentiel pour la thérapie guidée par microbulles, avec des gains de contraste et de SNR notables. Cette approche a été transposée à des transducteurs innovants pour cette application, associant une barrette d'éléments CMUT en émission et une barrette d'éléments piézoélectrique (copolymère P(VDF-TrFE)) en réception, dont les caractérisations confirment la complémentarité pour l'imagerie harmonique haute fréquence.

Le second axe, centré sur une architecture de type « stack », combinant une matrice basse fréquence, et une barrette haute fréquence, s'est concentré sur la caractérisation de cette sonde bi-modale dédiée à la thérapie guidée sur le petit animal. Les résultats montrent que l'on peut focaliser en tout point de l'espace, pour une profondeur nominale comprise entre 10 mm et 30 mm. Il est par ailleurs démontré qu'un mode focalisé permet d'obtenir des performances, comparables à celles d'un transducteur mono-élément non focalisé. La confrontation aura été jusqu'à des tests *in-vitro* de sonoporation.

Ces travaux confirment que la séparation fonctionnelle des deux modalités (par éloignement physique ou par superposition) constitue une voie viable pour concevoir des sondes bi-modales performantes, et ouvrent la voie à des dispositifs intégrés combinant guidage par imagerie harmonique et thérapie.