

# Soigner par le son : Mécanismes, enjeux et perspectives des ultrasons thérapeutiques



Master 2 Ingénierie de la Santé - Technologies Biomédicales et Territoires de Santé  
Année scolaire 2025-2026

Permalien : <https://travaux.master.utc.fr/formations-master/ingenierie-de-la-sante/ids296>  
DOI : <https://doi.org/10.34746/ids296>

## 1 Introduction

### Qu'est-ce qu'un ultrason thérapeutique ?

**Ultrason thérapeutique** : onde mécanique longitudinale de 0,5 à 3MHz, générée par piézoélectricité, utilisée pour transférer de l'énergie aux tissus.

- En continu : **effets thermiques** (échauffement local, mort cellulaire)
- En pulsé : **effets mécaniques** (flux de fluide, cavitation).

L'intensité détermine la nature et l'ampleur de la réponse biologique.

### Pourquoi utiliser des ultrasons thérapeutiques ?

- Ciblent précisément les tissus en profondeur
- Épargnent les tissus sains grâce à la focalisation ultrasonore.
- Sont peu invasifs, sûrs, et compatibles avec des traitements répétés.

#### Alternative :

- Aux techniques invasives (chirurgie),
- A la radiothérapie ionisante,
- Aux limitations d'accès au cerveau imposées par la barrière hémato-encéphalique

### Comparaison ultrasons thérapeutiques vs diagnostiques

	Thérapeutiques	Diagnostiques
<b>Fréquence</b>	0.5-3 MHz	1-15MHz
<b>Intensité</b>	Entre 0.1 et 3 W/cm <sup>2</sup> ; peut monter à plusieurs milliers de W/cm <sup>2</sup> pour un effet destructeur	0.001 et 0.1 W/cm <sup>2</sup>
<b>Puissance</b>	Entre 1 et 15 W; pour l'HIFU quelques centaines de Watt	Entre 1 et 100mW

## 2 Technologie et apports HIFU

High Intensity Focalized Ultrasounds

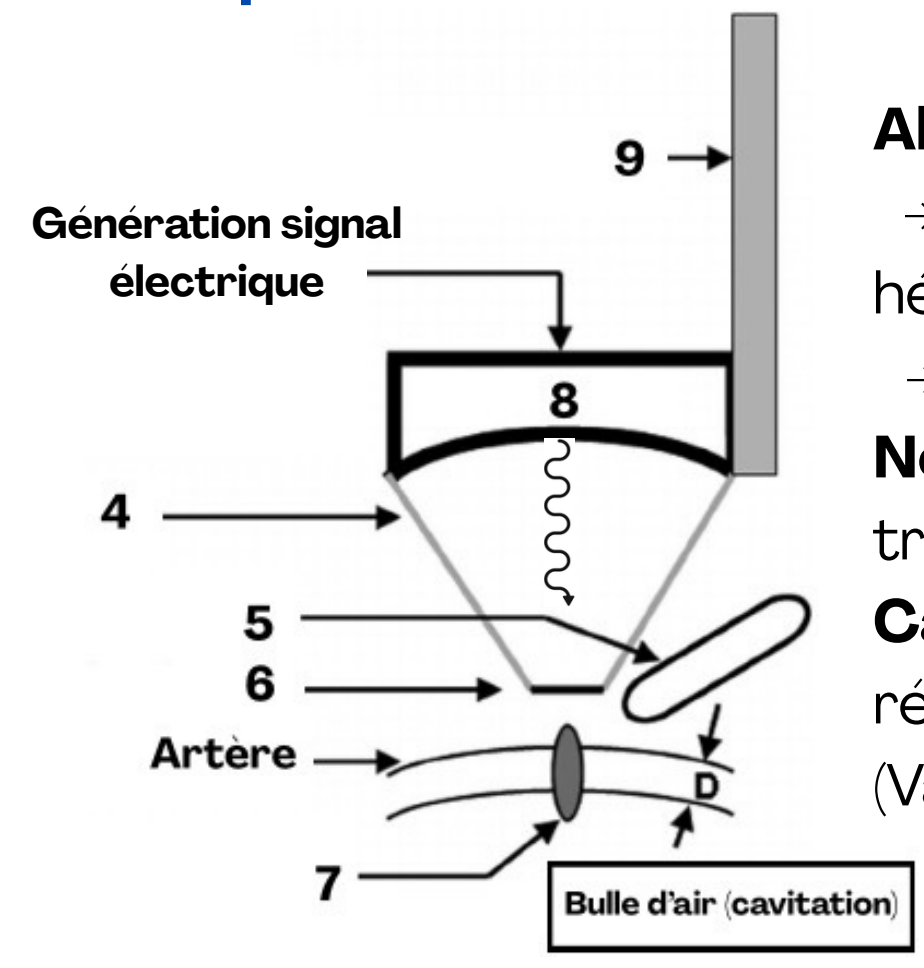
+70 indications cliniques

### Définition

Technologie concentrant une énergie ultrasonore élevée sur un point précis dans les tissus biologiques, afin d'induire localement un effet thermique ou mécanique sur des cellules cibles en épargnant les tissus sains avoisinants.

### Principe de fonctionnement

### Applications cliniques



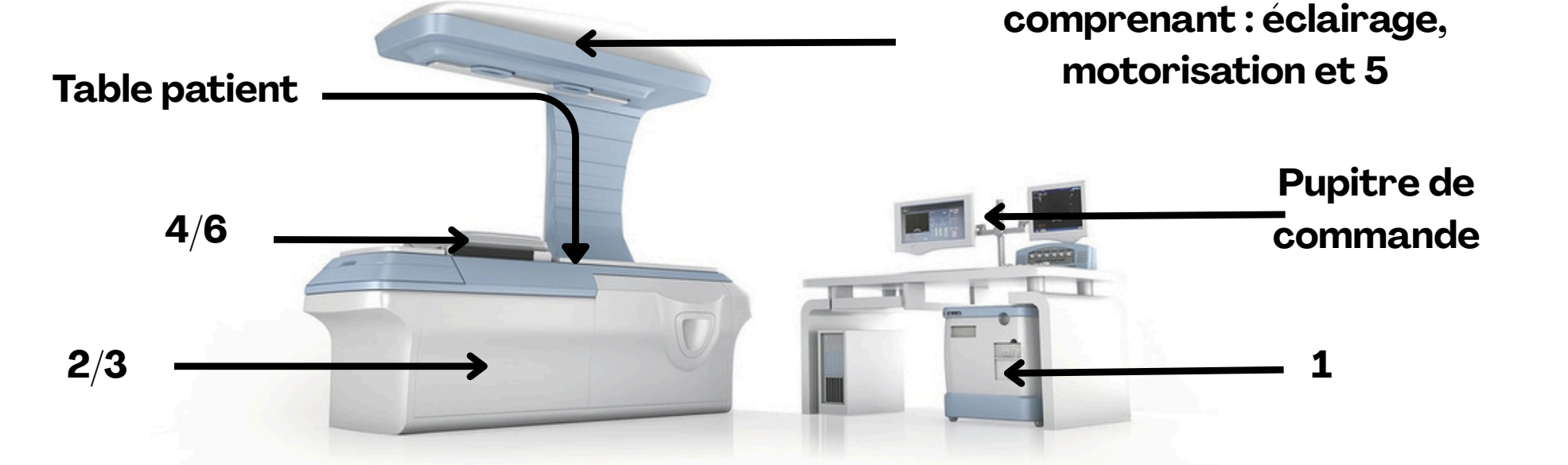
#### Ablation de tumeurs:

- curatif : fibrome utérin, prostatique, hépatique, pancréatique
- palliatif : métastases

**Neurologie** : Thalamotomie pour les tremblements essentiels par exemple

**Cardiologie** : Traitement non invasif du rétrécissement valvulaire aortique (Valvosoft®) [en essais cliniques]

### Dispositif HIFU par guidage échographique (JC 200, Chongqing Haifu)



1. Générateur
2. Amplificateur
3. Mesureur de puissance
4. Cône de couplage acoustique
5. Sonde d'échographie
6. Membrane
7. Foyer HIFU
8. Transducteur
9. Positionneur

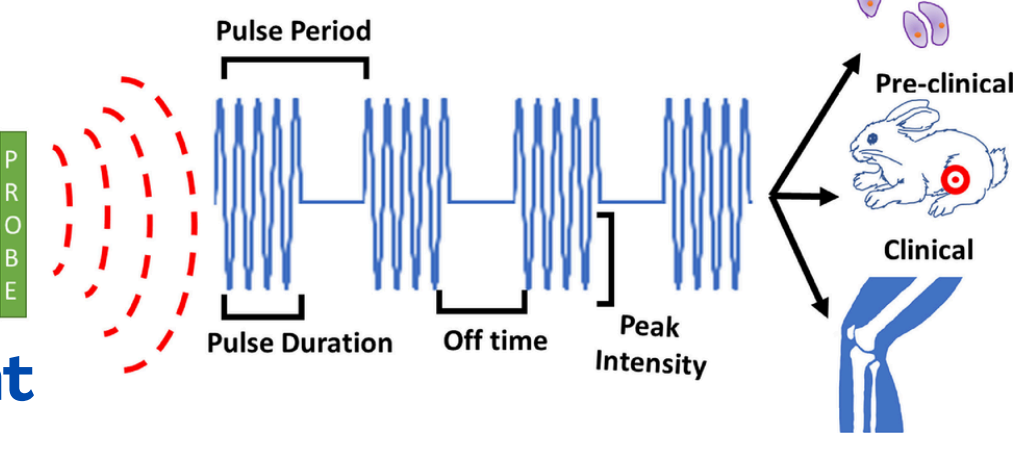
## 3 Technologie et apports LIPUS

Low Intensity Pulsed UltraSounds

### Définition

Technologie thérapeutique caractérisée par des ondes de très basse intensité dispensées sous forme de pulses

Génération d'effets mécaniques induisant des réactions cellulaires au sein des tissus biologiques.



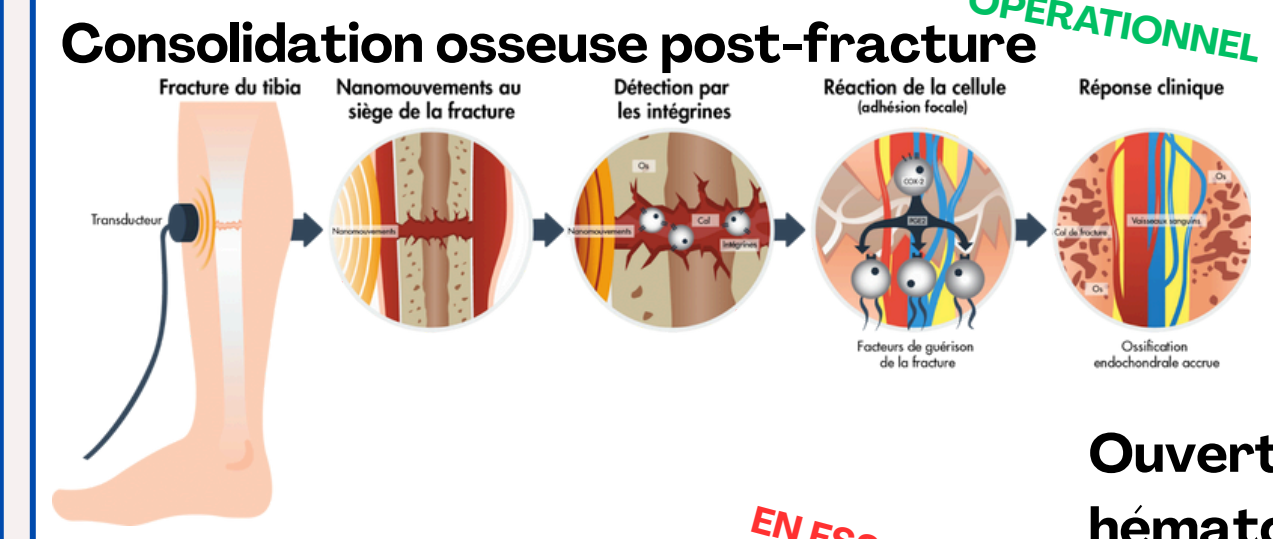
### Interaction avec les cellules

Stress mécanique  
↓  
Activation de voies de signalisation  
↓  
Régénération tissulaire

### Interaction avec les microbulles\*

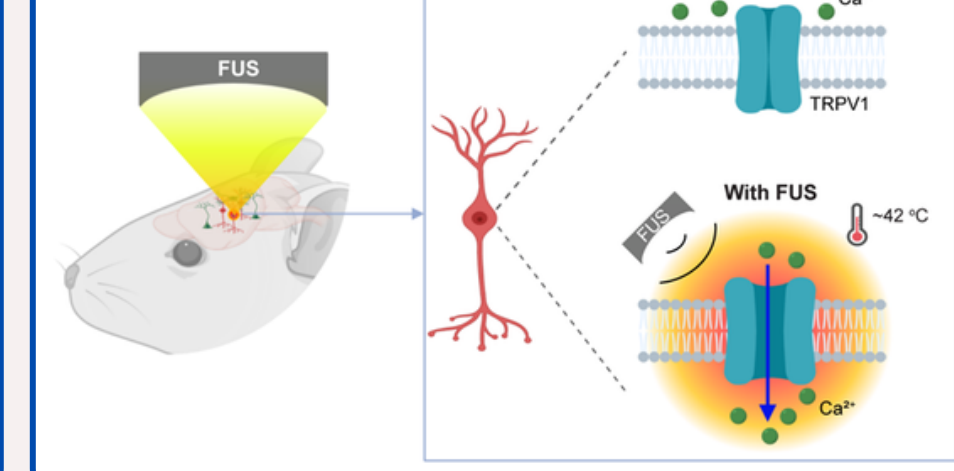
Cavitation stable  
↓  
Oscillation des bulles de gaz  
↓  
Fragilisation de la paroi vasculaire

### Applications cliniques

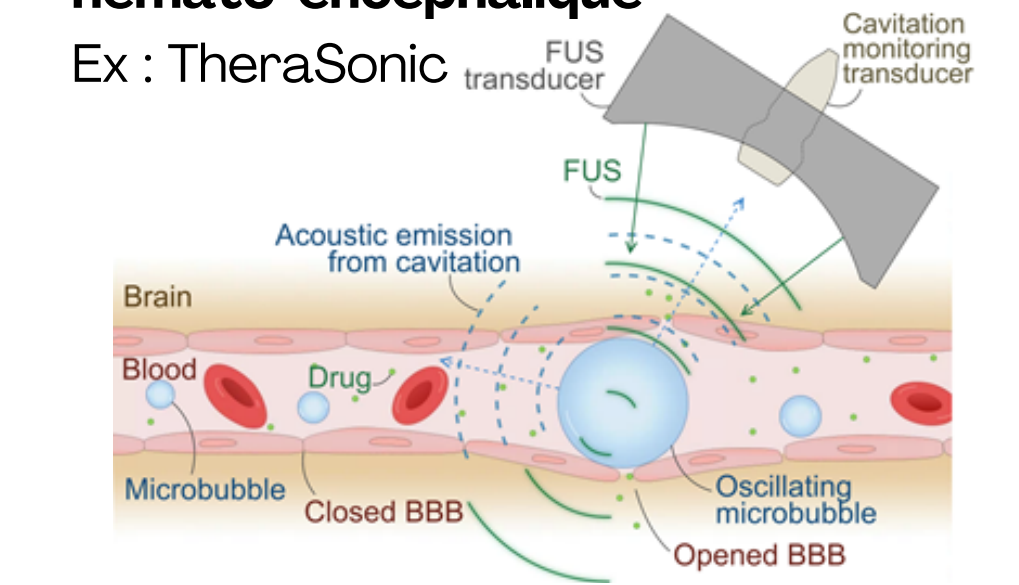


+ de 10 indications en développement

### Neuromodulation par LIPUS



### Ouverture de la barrière hémato-encéphalique



## 4 Limites et perspectives

### Limites

- Contraintes physiques et anatomiques** : mauvaise propagation à travers l'os et l'air
- Maîtrise de la dose ultrasonore** : Dose difficile à contrôler, besoin d'un suivi acoustique continu
- Fenêtre thérapeutique et efficacité biologique** : Synchronisation entre ouverture de la barrière hémato-encéphalique et le médicament
- Aspects techniques et ergonomiques** : Système complexe et position du patient difficile
- Limites réglementaires et d'adoption clinique** : Nombreuses normes, coût élevé et dépendance au système de guidage
- Limites cliniques et médico-économiques** : Preuves thérapeutiques inégales selon les indications

### Perspectives

- Planification proche de la radiothérapie**
- Accessibilité et acceptabilité** : dispositifs plus compacts et simples d'usage
- Renforcement des preuves thérapeutiques**: Etudes multicentriques, registres patients nécessaires pour obtenir des remboursements
- Intégration de l'IA** : Automatiser la segmentation, prédire la réponse tissulaire

## 5 Conclusion

Les ultrasons thérapeutiques illustrent la convergence de la physique, de la biologie et de l'ingénierie pour offrir des **traitements ciblés, non invasifs et sûrs**. Ils **réduisent les risques chirurgicaux** tout en restant confrontés à des défis de dose, de précision et de standardisation. Les ultrasons thérapeutiques ouvrent la voie à une médecine de précision, guidée par l'image et respectueuse du patient.

### Bibliographie

- J. Mason, « Therapeutic ultrasound an overview », Ultrason. Sonochem., vol. 18, no 4, p. 847-852, juill. 2011.
- A. Harrison, S. Lin, N. Pounder, et Y. Mikuni-Takagaki, « Mode & mechanism of low intensity pulsed ultrasound (LIPUS) in fracture repair », Ultrasonics, vol. 70, p. 45-52, août 2018
- A. Dupré et D. Melodelima, « HIFU: les ultrasons thérapeutiques », Forum Méd. Suisse - Swiss Med. Forum, déc. 2018
- D. B. Miller et J. P. O'Callaghan, « New horizons for focused ultrasound (FUS) - therapeutic applications in neurodegenerative diseases », Metabolism, vol. 69, p. S3-S7, avr. 2017.
- « High intensity focused ultrasound | AI for Manufacturing | University of Waterloo »
- B. Turner et D. Cranston, « A Review of High-Intensity Focused Ultrasound », Int. J. Transl. Med., vol. 4, n° 1, p. 197-207, mars 2024
- ShanghaiTech University et C. Bingbing, « New method proposed for the assessment of focused ultrasound-induced blood-brain barrier opening outcomes », 16 décembre 2024, Consulté le: 14 novembre 2025