

Sujet de thèse

2025

Laboratoire : Institut Fresnel

Directeur de thèse : Sabouroux Pierre

Email : pierre.sabouroux@fresnel.fr, 06 95 18 40 74

Adresse : Institut Fresnel, Domaine Universitaire de Saint Jérôme, 13397 Marseille

Title/Titre : *Optimization of the Accuracy of Microwave-Assisted Thermal Ablations to Reduce Cancer Recurrence and Incomplete Ablations in the Liver / Optimisation de la précision des thermo-ablations assistées par micro-ondes pour diminuer le taux de récurrences cancéreuses et d'ablations incomplètes au niveau hépatique.*

Description (English) :

Hepatic tumor thermoablation, as well as the ablation of other tumors located in soft tissues such as the lungs or thyroid, is a common practice in oncology and interventional radiology departments. This treatment is carried out in renowned institutions such as the Paoli-Calmette Institute and the University Hospitals of Strasbourg. Despite its proven effectiveness in many cases, this technique still has **notable limitations**, particularly the lack of **real-time monitoring of tumor status during microwave application**. Currently, the ablation of hepatic tumors is guided solely by tables provided by the manufacturers of microwave-assisted thermoablation devices, without immediate feedback regarding the thermal impact and tumor necrosis.

The proposed thesis project aims to improve the monitoring of hepatic tumor ablation by introducing an optional system to complement the current equipment. This system would provide **real-time tracking** of the tumor's thermal evolution during microwave application. The monitoring is based on measuring the **dielectric property of healthy and tumor tissue**, which varies with the increase in internal temperature—a crucial factor for assessing the thermal necrosis of the tumor.

At the moment the standard thermoablation protocol involves the use of a percutaneous antenna and a microwave generator, along with a series of theoretical parameters linking tumor volume to microwave exposure time, which are summarized in tables. The positioning of the antenna is controlled prior to microwave exposure through point-of-care scanner X ray imaging. However, once the treatment begins, there is currently no real-time monitoring system in place to continuously adjust the treatment parameters or verify the effectiveness of the ablation as the protocol progresses, based on the predefined tables. At the end of the procedure, the effectiveness of the treatment is evaluated using hepatic angiography using X ray dye, an exam that helps verify the impact of ablation on the liver's blood vessels. The real-time monitoring of hepatic tumor ablation will reduce the reliance on X-ray imaging techniques and help optimize the ablation process to target only the tumor area. The thesis work is divided into three major

methodological steps, each focused on developing and validating a key component of the real time monitoring system.

1. Dielectric Permittivity Measurement Using the Percutaneous Antenna

The first part of the thesis focuses on determining the dielectric permittivity of healthy and tumor tissue using the percutaneous antenna employed for the ablation. This approach is novel, as there is no precedent for using this type of antenna to measure the dielectric permittivity of tissues in real-time during treatment. The challenge here is to design a system capable of capturing the variations in permittivity based on temperature changes in the tumor tissue, thereby enabling the monitoring of necrosis progression.

2. Design of a Microwave Circuit to Measure Wave Reflection

The second step involves designing an additional microwave circuit to complement the existing microwave generator. This circuit will integrate high-power microwave switches to measure the reflection of electromagnetic waves off tumor tissue. By analyzing these reflections, it will be possible to gain real-time insights into the evolving dielectric permittivity of the tissues during the treatment protocol. As previously mentioned, this approach will allow for the visualization of necrosis progression as microwave energy is administered, and treatment adjustments can be made as necessary.

3. Permittivity Profiling Using Constrained Tomography

The third part of the project aims to introduce a constrained tomography technique to generate permittivity profiles of the patient's abdomen. Antennas will be placed around the abdomen to perform permittivity measurements using transmitted electromagnetic waves. These antennas will function alternately in emission and reception modes, allowing for the collection of data needed to create 3D permittivity profiles of the tumor area. The constrained tomography technique will involve the simultaneous use of data from various sources: CT images of the abdomen and the tumor, as well as permittivity values for surrounding tissues, obtained either from previous research at the laboratory in collaboration with the CEA Saclay, or from values available in the scientific literature.

Methodology and Required Skills

The thesis will be structured around three complementary methodological axes, combining biomedical aspects, electromagnetic modelling and experimental measurements. The work will begin with the characterization of tissue permittivity profiles from *ex vivo* samples of healthy and pathological livers, using conventional techniques, as well as *in situ* measurements via a percutaneous antenna to analyze permittivity variations during treatment. The candidate will need strong biomedical and/or electromagnetic modelling skills to understand and analyze these variations, which are essential for assessing the evolution of tumor necrosis.

The project will also involve integrating medical imaging data and permittivity measurements in order to develop a stress tomography technique. This approach will enable the evolution of tumor necrosis to be monitored and the thermal ablation of liver tumors to be optimized in real time. A Master's degree (or equivalent) in physics or bio-physics, with a possible biomedical orientation, will be of particular interest to link the principles of biological tissue physics to those of electromagnetism, and to design suitable measurement devices. The candidate will also need to master microwave instrumentation and the analysis of complex data in order to process and interpret the information gathered.

Description (Français) :

La **thermoablation des tumeurs hépatiques**, ainsi que d'autres tumeurs situées dans des tissus mous tels que les poumons ou la thyroïde, est pratique courante dans les services d'oncologie et de radiologie interventionnelle. Ce traitement est notamment pratiqué dans des institutions renommées telles que l'Institut Paoli-Calmette et les Hôpitaux Universitaires de Strasbourg... Malgré son efficacité avérée, cette technique présente encore des limites notables, notamment l'absence de suivi en temps réel de l'état de la tumeur durant l'application des micro-ondes. Actuellement, l'introduction d'aiguille de thermoablation jusqu'à la tumeur hépatique est guidée par des images obtenues par scanner avec des coupes successives. De plus, des abaques fournis par les fabricants des dispositifs permettent de déterminer la puissance des micro-ondes à appliquer, afin d'entraîner la nécrose tumorale. **À ce jour, aucun retour d'information n'est disponible en temps réel.**

Le **protocole standard de thermoablation** repose sur l'utilisation d'une **antenne percutanée** communément appelée aiguille, associée à un **générateur de micro-ondes**. La décision relative à l'étendue des marges de sécurité et à la durée d'exposition aux micro-ondes est prise par les médecins en fonction de la nature du tissu hépatique, du volume de la tumeur et du grade du cancer. Les marges de sécurité correspondent à l'extension autour de la tumeur, incluant des cellules saines, nécessaires pour assurer une ablation complète. Dans ces conditions, une série de paramètres théoriques liant le volume de la tumeur au temps d'exposition aux micro-ondes regroupés dans des abaques, permettent de fixer les paramétrages du générateur (puissance et temps d'exposition) fixant ainsi le protocole thérapeutique final. Le positionnement de l'aiguille est contrôlé avant l'exposition aux micro-ondes par imagerie scanner. Cependant, une fois le traitement lancé, il n'existe actuellement aucun système de suivi en temps réel permettant d'ajuster continuellement les paramètres du traitement ou de vérifier l'efficacité de l'ablation au fur et à mesure du protocole indiqué par les abaques. À la fin de l'intervention, l'efficacité de la procédure de thermo-ablation est évaluée par une angiographie hépatique, un examen invasif et irradiant (utilisant à nouveau les rayons X), permettant de vérifier si l'ablation a correctement dévascularisé la zone tumorale, entraînant ainsi sa nécrose.

Le projet de thèse proposé vise à **améliorer le suivi de l'ablation des tumeurs hépatiques**

en introduisant un système optionnel à l'équipement actuel. Ce dispositif permettrait d'obtenir un suivi en temps réel de l'évolution thermique de la tumeur pendant l'application des micro-ondes, afin de vérifier si les marges de sécurité ont été atteintes, et ainsi éviter un examen invasif et irradiant supplémentaire. Le suivi est basé sur la mesure de la **grandeur diélectrique** des tissus tumoraux, qui varie en fonction de l'élévation de la température interne de la tumeur, un facteur essentiel pour évaluer la **nécrose tumorale** induite par la chaleur.

Le travail de thèse se divise en trois grandes étapes méthodologiques, chacune visant à développer et valider un composant essentiel du système de suivi en temps réel.

1. Mesure de la permittivité diélectrique via l'antenne percutanée

La première partie de la thèse se concentre sur la **détermination de la permittivité diélectrique** des tissus tumoraux à l'aide de l'antenne percutanée utilisée pour l'ablation. Cette approche est novatrice, car il n'existe pas de précédent dans l'utilisation directe de ce type d'antenne pour mesurer en temps réel la permittivité des tissus en cours de traitement. Le défi ici est de concevoir un système capable de capter les variations de la permittivité en fonction des changements de température dans les tissus tumoraux et ainsi d'en déduire l'évolution de la nécrose.

2. Conception d'un circuit micro-onde pour mesurer la réflexion des ondes

La deuxième étape implique la **conception d'un circuit micro-onde additionnel** au générateur de micro-ondes existant. Ce circuit intègrera des **commutateurs micro-ondes haute puissance** permettant de mesurer la **réflexion des ondes électromagnétiques** sur les tissus tumoraux. En analysant cette réflexion, il sera possible d'obtenir des informations sur l'évolution de la permittivité diélectrique des tissus en temps réel pendant le protocole de traitement. Cette approche permettra de visualiser, comme cela a déjà été indiqué, l'évolution de la nécrose au fur et à mesure de l'administration des micro-ondes et d'ajuster le traitement si nécessaire.

3. Mise en place de profils de permittivité par tomographie sous contrainte

La troisième partie du projet vise à introduire une technique de **tomographie sous contrainte** pour obtenir des profils de permittivité à l'échelle de l'abdomen du patient. Des **antennes** seront disposées autour de l'abdomen pour effectuer des mesures de permittivité en utilisant la transmission d'ondes électromagnétiques. Ces antennes fonctionneront alternativement en émission et en réception, permettant de recueillir des données nécessaires à la création de profils de permittivité 3D de la zone tumorale. La tomographie sous contrainte implique l'utilisation simultanée de données provenant de différentes sources : des **images scanner** de l'abdomen et de la tumeur, ainsi que des **valeurs de permittivité** des tissus sains et pathologiques obtenues soit à partir de recherches précédentes du laboratoire en collaboration avec le **CEA de Saclay**, soit à partir des données disponibles dans la littérature scientifique.

28 février 2025 **Laboratoire** : Institut Fresnel,

4

Title/Titre : Optimization of the Accuracy of Microwave-Assisted Thermal Ablations to Reduce Cancer Recurrence and Incomplete Ablations in the Liver / **Optimisation de la précision des thermo-ablations assistées par micro-ondes pour diminuer le taux de récurrences cancéreuses et d'ablations incomplètes au niveau hépatique.**

Méthodologie et compétences requises

La thèse sera structurée autour des trois axes méthodologiques complémentaires, combinant les aspects biomédicaux, la modélisation électromagnétique et les mesures expérimentales. Le travail débutera par la caractérisation des profils de permittivité des tissus, à partir d'échantillons ex vivo de foies sains et pathologiques, à l'aide de techniques classiques, ainsi que des mesures in situ via une antenne percutanée pour analyser les variations de permittivité au cours du traitement. Le candidat devra posséder des **compétences solides dans le domaine biomédical et/ou en modélisation électromagnétique** pour comprendre et analyser ces variations, essentielles pour évaluer l'évolution de la nécrose tumorale.

Le projet impliquera également l'intégration de données d'imagerie médicale et de mesures de permittivité afin de développer une technique de tomographie sous contrainte. Cette approche permettra de suivre l'évolution de la nécrose tumorale et d'optimiser en temps réel l'ablation thermique des tumeurs hépatiques.

Une **formation Master (ou équivalent) physique, ou biophysique (avec une orientation possible vers le biomédical)** sera particulièrement intéressante pour relier les principes de la physique des tissus biologiques à ceux de l'électromagnétisme et pour concevoir des dispositifs de mesure adaptés. Le candidat devra également maîtriser l'instrumentation micro-onde ainsi que l'analyse de données complexes pour traiter et interpréter les informations recueillies.