

# Sujet de stage ENS : Ablation par cathéter radio-fréquences : algorithmes de krigeage pour la construction de méta-modèles

Encadrants : Michael LEGUÈBE, Yves COUDIÈRE,

INRIA BORDEAUX SUD-OUEST (CARMEN), INSTITUT DE MATHÉMATIQUES DE BORDEAUX (UMR 5251)

**Ablation par cathéter radio-fréquences (ACRF).** L'ACRF est un traitement couramment pratiqué et sûr qui consiste en une destruction du tissu cardiaque arythmogène par échauffement de celui-ci. Une électrode située à l'extrémité d'un cathéter (Fig. 1(a)) est utilisée pour appliquer un courant RF qui, par effet Joule, amène à la création d'une lésion (Fig. 1(b)). Pour éviter la formation de caillots sanguins dans la cavité cardiaque, les électrodes sont percées de trous par lesquels un fluide salin à basse température est injecté autour de la région chauffée.

La difficulté principale concernant l'ACRF est qu'il est impossible de contrôler la profondeur de la lésion pratiquée pendant l'application du courant, particulièrement *in vivo*, où le cœur bouge et le sang circule. Cette information est pourtant cruciale pour le clinicien dans la mesure où elle conditionne l'efficacité et la sécurité du traitement.

Le but à long terme du projet consiste à proposer des techniques d'évaluation numérique en temps réel de la profondeur de la lésion en fonction du courant appliqué et de l'observation de la surface traitée. Pour cela nous devons construire ce qui est appelé un métamodèle ou modèle réduit, dont l'utilisation est quasi-instantanée, grâce à des méthodes d'apprentissage (*machine learning*) telles que le krigeage (*kriging*, [1]). Ces algorithmes se basent sur l'utilisation de ce qu'on appelle un *modèle direct* tel une boîte noire, qui dans notre cas est un code retournant une forme de lésion étant donné des paramètres biologiques et expérimentaux (qui ne sont pas tous connus lors de l'intervention clinique).

**Modèle simplifié d'ACRF.** Les modèles d'ACRF sont construits autour d'équations aux dérivées partielles non-linéaires décrivant la distribution du potentiel électrique et de la température dans le tissu. Ces deux équations sont les éléments indispensables de la modélisation de l'ablation RFAC, mais il est bien sûr possible de décrire plus finement les autres physiques impliquées dans le problème. L'équipe de Luca Gerardo-Giorda au BCAM (Bilbao) avec qui nous collaborons propose notamment des modèles 3D incluant les équations de Navier-Stokes pour l'écoulement sanguin autour de l'électrode, ainsi qu'un modèle d'élasticité du tissu modifiant la surface de contact entre l'électrode et le tissu [2].

Nous incorporons ces éléments dans une géométrie axisymétrique très simplifiée (cf Fig. 1(c)) pour résoudre les équations en 2D, ce qui garantit un gain de performances de calcul considérable. Nous disposons ainsi d'un code efficace que nous pouvons utiliser massivement pour faire du krigeage.

**Contenu du stage** L'objectif du stage est de se familiariser aux processus gaussiens de régression et au krigeage qui sont les méthodes d'apprentissage que nous comptons utiliser pour explorer l'espace des paramètres du modèle direct. On considèrera tout d'abord un espace de paramètres mono-dimensionnel, pour lequel des bibliothèques Python existent déjà et permettent un degré de contrôle satisfaisant sur les algorithmes. Nous verrons ensuite dans quelle mesure il est possible de passer à un espace de paramètres inclus dans  $\mathbb{R}^n$ .

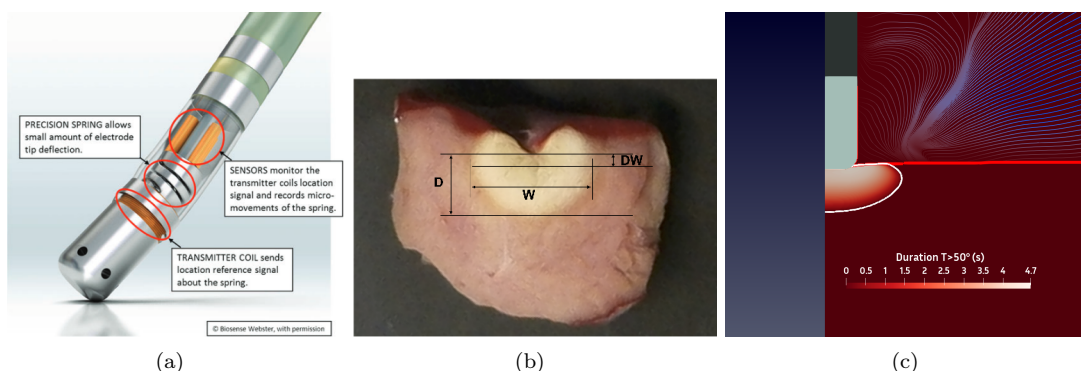


FIGURE 1 – 1(a) : Catheter radio frequency, avec buses d'injection de solution saline. 1(b) : Lésion pratiquée *ex vivo* sur du tissu cardiaque porcin. 1(c) : Exemple de simulation directe.

- [1] Donald R. Jones. A taxonomy of global optimization methods based on response surfaces. *Journal of Global Optimization*, 21(4) :345–383, Dec 2001.
- [2] Argyrios Petras, Massimiliano Leoni, Jose M. Guerra, Johan Jansson, and Luca Gerardo-Giorda. A computational model of open-irrigated radiofrequency catheter ablation accounting for mechanical properties of the cardiac tissue. *arXiv e-prints*, page arXiv :1810.09157, October 2018.