

## Sujet de stage Master 2

**Conception et validation d'un jumeau numérique pour un système d'Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) : Approche méthodologique, modélisation multi-physique et démonstrateur numérique.**

### Contacts :

Stéphane Clénet, L2EP, Arts et Métiers, Lille, [stephane.clenet@ensam.eu](mailto:stephane.clenet@ensam.eu)

Renaud Lopes, UMR1172-LiNCog, UAR2014-US41-PLBS, Lille, [renaud.lopes@chu-lille.fr](mailto:renaud.lopes@chu-lille.fr)

---

### 1. Contexte

L'Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) s'appuie sur les phénomènes de résonance nucléaire induits par un champ magnétique statique intense, auquel se superposent des gradients spatiaux de champ et des excitations radiofréquence. Les tissus biologiques, en particulier les dynamiques de spin des atomes, réagissent à ces excitations émettant des signaux qui sont mesurés par un réseau de capteur. Ces signaux sont ensuite traités pour reconstruire une image en 3D qui est utilisé en particulier pour le diagnostic médical. L'appareil IRM constitue ainsi un système multi-physique complexe : phénomènes électromagnétiques basse et haute fréquences, interactions tissu-champ, résonance magnétique nucléaire, électronique d'acquisition, reconstruction d'images. Cette complexité exige une approche de modélisation fine et modulaire, indispensable pour comprendre, prédire et optimiser le fonctionnement global de la machine.

Le développement d'un jumeau numérique (répliqua numérique du système réel) pour un système IRM répond à plusieurs enjeux scientifiques :

**Compréhension accrue des phénomènes** : l'IRM met en jeu un couplage non trivial entre électromagnétisme, électronique de commande, dynamique des spins et reconstruction inverse des images. La mise en place d'un jumeau numérique permet une exploration systématique des interactions entre ces phénomènes.

**Réduction des expérimentations coûteuses** : les scanners IRM sont onéreux, peu disponibles pour des tests répétitifs et soumis à des contraintes réglementaires strictes.

**Perspectives en jumeaux hybrides et data-driven** : l'évolution récente dans les domaines de l'assimilation de données et de la réduction de modèles ouvre la voie à des jumeaux hybrides plus rapides que les simulations classiques tout en préservant la fidélité physique.

### 2. Objectif du sujet

L'objectif général du stage est de **proposer une méthodologie pour le développement d'un jumeau numérique d'un système IRM**, intégrant des modèles multi-physique des sous-systèmes (électromagnétisme, résonance magnétique) ainsi que les systèmes de

capteurs et les logiciels de traitement d'image. Cette méthodologie sera testée sur un démonstrateur simple mais suffisamment réaliste d'un dispositif IRM.

Ce travail s'effectuera dans le cadre d'une collaboration entre le laboratoire L2EP (<https://l2ep.univ-lille.fr/>), le laboratoire LiNCog ([lilncog.univ-lille.fr](http://lilncog.univ-lille.fr)) et le CHU de Lille. Ce dernier possède 2 équipements IRM dédiés à la recherche (3T et 7T), ce qui en fait un terrain technologique propice à ce projet.

### **3. Travail à effectuer**

Le travail à effectuer comportera les étapes suivantes :

#### **État de l'art sur les technologies mises en œuvre dans un système IRM et leur modélisation.**

Il s'agira ici de faire un point sur les modèles possibles basés sur la physique ou la donnée existant pour décrire les différentes physiques mises en œuvre au sein d'un système IRM et leur couplage multiphysique.

**Proposition d'une méthodologie pour la construction du jumeau numérique.** Il s'agira dans un premier temps de bien fixé le cahier des charges du jumeau numérique (temps de calcul, entrées/sorties..) Une comparaison entre les modèles sera ensuite effectuée de manière à choisir ceux qui sont le plus adaptés au développement d'un jumeau numérique. Ces modèles seront ensuite couplés.

**Validation sur un démonstrateur simple mais réaliste.** La méthodologie sera mise en œuvre sur un système IRM représentatif mais possédant une géométrie, un modèle de comportement de tissus et un système de capteur simplifié. Ce jumeau numérique sera ensuite évalué sur des situations réalistes proche de celles rencontrées lors d'un examen médical.