

**PROGRAMME INSTITUT ET INITIATIVES
Appel à projet - campagne 2021
Proposition de Projet de recherche doctoral (PRD)
SCAI - Sorbonne Center of Artificial Intelligence**

Intitulé du projet de recherche doctorale (PRD) :

Analyse d'images par des méthodes d'intelligence artificielle en radiologie interventionnelle

Directeur de thèse porteur du projet (titulaire d'une HDR) :

NOM : Pinna

Prénom : Andrea

Titre : Maître de conférences, HDR

e-mail : andrea.pinna@sorbonne-universite.fr

Adresse professionnelle :

Sorbonne Université, CNRS, LIP6, Paris.

Unité de Recherche :

Intitulé : Laboratoire d'Informatique de Sorbonne Université (LIP6)

Code : UMR7606

École Doctorale de rattachement de l'équipe

(future école doctorale du.de la doctorant.e) : ED130 - EDITE

Doctorant.e.s actuellement encadré.e.s par la.e directeur de thèse (préciser leur année de 1^e inscription et la quotité d'encadrement) :

- Valentin Rébière - CIFRE - 2018 - 25% (soutenance mai 2021)
- Vincent Janiack - CIFRE - 2019 - 50%
- Sylvain Takougang - Bourse CNRS - 2020 - 50%

Co-diretrice :

NOM : Bloch

Prénom : Isabelle

Titre : Professeur

HDR : Oui (1995)

e-mail : isabelle.bloch@sorbonne-universite.fr

Unité de Recherche :

Intitulé : Laboratoire d'Informatique de Sorbonne Université (LIP6)

Code : UMR7606

École Doctorale de rattachement de l'équipe : ED130 - EDITE

Doctorant.e.s actuellement encadré.e.s par la.e co-directeur.rice de thèse (préciser leur année de 1^e inscription et la quotité d'encadrement) : HORS SU : 200%

Co-directeur :

NOM : Szewczyk

Prénom : Jérôme

Titre : Professeur des Universités

HDR : oui

e-mail : szewczyk@isir.upmc.fr

Unité de Recherche :

Intitulé : Institut Systèmes Intelligents et de Robotique (ISIR)

Code : UMR 7222

École Doctorale de rattachement de l'équipe : ED 391 SMAER

Doctorant.e.s actuellement encadré.e.s par la.e co-directeur.rice de thèse (préciser leur année de 1^e inscription et la quotité d'encadrement) :

SMAER : 2 (2018,2020), 120% ; HORS SU : 3 (2018,2019,2020), 105%

Cotutelle internationale : non

Selon vous, ce projet est-il susceptible d'intéresser une autre initiative ou un autre Institut ? Oui : IUIS

Description du projet de recherche doctoral :

1. Contexte, objectif scientifique :

Cette thèse porte sur l'IA hybride, où l'on cherche à **combiner des données et des connaissances** pour résoudre **simultanément plusieurs types de tâches**, donc deux verrous importants que nous souhaitons lever. En interprétation d'images, il s'agira de simultanément détecter et reconnaître des objets, en utilisant à la fois des observations (images) et des connaissances a priori ou expertes.

Le cadre applicatif privilégié est celui de la cholangiopancreatographie rétrograde par voie endoscopique (CPRE), une procédure thérapeutique principalement destinée au traitement des affections biliaires, en particulier dans le cas de cancers [2,3]. C'est un geste endoscopique interventionnel mini-invasif réalisé par voie orale au moyen d'un endoscope à vision latérale placé dans le duodénum et de divers instruments de cathétérisme (appelés ancillaires) pour la navigation dans l'arbre biliaire : fil guide, cathéter... Environ 78 000 CPRE sont pratiquées en France chaque année (<https://www.livre-blanc-cnp-hge.fr/>). Deux obstacles majeurs impactent significativement le succès du geste et donc la prise en charge du patient : (1) L'anatomie de l'arbre bilio-pancréatique est extrêmement variable d'un patient à l'autre et, dans 1 cas sur 5, l'abord de l'arbre biliaire (cannulation) et la progression sont difficiles, avec un risque de complication sévère (pancréatite aiguë), ou d'échec du geste de CPRE dans son objectif primaire. (2) L'interprétation de l'anatomie biliaire lors du geste de CPRE, réalisée uniquement sous contrôle radiographique 2D, est complexe notamment en cas de sténoses biliaires au niveau du canal hépatique commun, du hile hépatique ou des canaux hépatiques gauche ou droit. En raison de ces difficultés, l'opérateur est souvent dans l'incertitude quant à la localisation de ses instruments ancillaires par rapport au site visé et ne s'aperçoit pas toujours immédiatement d'une erreur de navigation. Il n'est pas rare que le manque de repère visuel compromette la décision diagnostique, les prélèvements anatomopathologiques et l'objectif de drainage des voies biliaires.

Le but de cette thèse est de développer des méthodes avancées d'Intelligence Artificielle (IA) pour la localisation en temps réel 3D des ancillaires de CPRE et leur reconnaissance, en exploitant les connaissances sur l'anatomie et sur la forme des ancillaires. Ce cadre applicatif pose donc les deux types de problèmes que nous souhaitons résoudre du point de vue théorique et méthodologique, et il n'existe pas à l'heure actuelle de méthode répondant à ces questions.

Concrètement, nous voulons mettre à disposition de l'opérateur, dans le contexte de sa pratique habituelle, une scène 3D fusionnant un modèle numérique des voies biliaires du patient et une représentation des instruments en cours d'utilisation. Disposer d'un tel outil de localisation numérique constituera un saut qualitatif des conditions opératoires de la CPRE. Cette thèse bénéficiera d'une collaboration étroite avec l'hôpital Saint-Antoine (équipe d'endoscopie digestive interventionnelle, Marine Camus, MCU-PH) [2].

2. Approche scientifique et adéquation avec l'Institut SCAI :

La collaboration avec l'hôpital Saint-Antoine permettra de rassembler une base d'images radiographiques prises en cours de CPRE et annotées. Pour chaque image, l'annotation consistera à extraire (manuellement) la forme de l'ancillaire visible et à indiquer le secteur de l'arbre biliaire associé ("vérité terrain").

L'assistance à la décision que nous souhaitons mettre au point repose sur une comparaison entre

la forme instantanée de l'ancillaire dans l'image radiographique et une base de formes de référence annotées. Une fois la détection et la reconnaissance effectuées et le secteur d'intérêt identifié, l'information sur la localisation de l'instrument sera fusionnée avec un modèle anatomique 3D spécifique au patient pour être mis à disposition de l'opérateur.

Pour la détection de l'ancillaire dans les images 2D, nous proposons une méthode par réseau de neurones prenant en compte des informations a priori.

Pour compenser les limites des réseaux de neurones convolutionnels (CNN) dans la détection des structures fines et leur sensibilité au bruit et au manque de contraste, nous proposons :

- de combiner les CNN classiques avec des méthodes de morphologie mathématique (en entrée, par des filtres adaptés à la forme des ancillaires, ou en sortie des CNN ou encore en tant qu'opérateurs non-linéaires dans les couches de convolution),
- d'introduire des contraintes de forme dans les réseaux afin de prendre en compte les connaissances a priori disponibles, par exemple dans la fonction qu'ils optimisent,
- d'utiliser les structures anatomiques visibles à l'image pour servir de repères spatiaux (clarté de l'estomac, ombre hépatique, colonne vertébrale).

L'introduction des informations a priori sur la forme reposera sur la base de formes de référence, par exemple en les mettant en concurrence lors de la prédiction. Cette idée permettra de réaliser simultanément la détection et l'identification de l'ancillaire, chaque tâche servant à guider et faciliter l'autre.

Enfin la mise en correspondance entre la forme en 2D et le modèle 3D du patient s'appuiera sur des travaux antérieurs menés à l'ISIR, et sera revue avec les nouveaux résultats de détection et reconnaissance développés dans cette thèse.

L'évaluation pourra être réalisée sur des données simulées, ainsi que sur des données réelles, en interaction avec les experts médicaux. L'apport de l'approche pourra être aussi évalué par comparaison avec d'autres méthodes par apprentissage profond dans des domaines proches, qui font principalement de la détection [1,4], ou traitent plusieurs tâches mais successivement [5], et toujours par des méthodes guidées principalement par les données.

L'approche proposée relève des axes de recherche prioritaires de SCAI, tant du point de vue théorique et méthodologique avec de nouvelles propositions en IA guidée par des connaissances, et donc des résultats explicables, que du point de vue applicatif, avec un domaine d'enjeu majeur dans le domaine de la santé.

3. Rôle et compétences des encadrants :

Andrea Pinna est responsable de l'équipe SYEL (Systèmes Électroniques) du LIP6. Il collabore depuis 2015 avec l'équipe de l'hôpital Saint-Antoine (Prof. Xavier Dray) sur la détection des polypes du colon par vidéo-capsule (par SVM et arbres de décisions). Il collabore également avec l'Hôpital Pitié-Salpêtrière, Service de Pneumologie, Médecine intensive et Réanimation (Dr. Martin Dres) sur un modèle de prédiction de la probabilité de réussite d'extubation des patient sous ventilation forcée. Enfin il a collaboré avec l'Hôpital Pitié-Salpêtrière, Unité du Sommeil (Prof. Isabelle Arnulf) sur la classification automatique des stades du sommeil par fusion symbolique. Son encadrement portera sur la partie IA du projet, en particulier sur les aspects d'intégration et d'optimisation.

- C. Orlando, P. Andrea, D. Xavier, and G. Bertrand. A low power and real-time architecture for Hough transform processing integration in a full hd-wireless capsule endoscopy. IEEE Trans. on Biomedical

Circuits and Systems, 14(4):646–657, 2020.

- A. Ugon, A. Kotti, B. Séroussi, K. Sedki, J. Bouaud, J.-G. Ganascia, P. Garda, C. Philippe, and A. Pinna. Knowledge-based decision system for automatic sleep staging using symbolic fusion in a Turing machine-like decision process formalizing the sleep medicine guidelines. *Expert Systems with Applications*, 114: 414–427, 2018.

Isabelle Bloch est arrivée récemment au LIP6 et est titulaire de la chaire en IA de Sorbonne Université, pour des projets de recherche communs entre le LIP6 et l'ISIR, dans le cadre de SCAI. Elle encadrera principalement la partie IA du projet, et la combinaison de méthodes par apprentissage à partir des données et de méthodes guidées par les connaissances.

- V. Couteaux, et al. Automatic knee meniscus tear detection and orientation classification with Mask-RCNN. *Diagnostic and Interventional Imaging*, 100:235–242, 2019.
- M. Hu, M. Maillard, Y. Zhang, T. Ciceri, G. La Barbera, I. Bloch, and P. Gori. Knowledge Distillation from Multi-Modal to Mono-Modal Segmentation Networks. In: *MICCAI, LNCS 12261*, pp. 772-781, 2020.
- D. Lesage, E. D. Angelini, G. Funka-Lea, and I. Bloch. Adaptive particle filtering for coronary artery segmentation from 3D CT angiograms. *Computer Vision and Image Understanding*, 151:29–46, 2016.

Jérôme Szewczyk est responsable de l'équipe AGATHE (Assistance aux Gestes et Applications Thérapeutiques) de l'ISIR, pionnière sur les questions d'interaction humain-machine pour l'assistance au geste médical et chirurgical. Il a une collaboration bien établie avec l'équipe de l'hôpital Saint-Antoine. Son expérience sur le cathétérisme augmenté et sur les modèles 3D du patient lui permettront de superviser l'ensemble du projet, et de contribuer aux parties de reconnaissance des formes des ancillaires.

- Th. Couture and J. Szewczyk, Design and experimental validation of an active catheter for endovascular navigation, *ASME Journal of Medical Devices*, 2018.
- N. Candalh-Touta, J. Szewczyk, How can we improve the learning of laparoscopic surgery thanks to the knowledge in robotics? In: *15th EISTA*, 2017.

4. Liste de publications en lien avec le projet :

- [1] P. Ambrosini, et al. Fully Automatic and Real-Time Catheter Segmentation in X-Ray Fluoroscopy. In: *MICCAI, LNCS 10434*, pp. 577-585, 2017.
- [2] A. Becq, M. Camus, et al. Direct cholangioscopy for diagnosis and treatment guidance of suspected biliary papillomatosis with malignant transformation. *Endoscopy*, 2020, 52, E3-E4.
- [3] M. Hidalgo. Pancreatic cancer. *N Engl J Med*, 362:1605–1617, 2010.
- [4] M. Gherardini, et al. Catheter segmentation in X-ray fluoroscopy using synthetic data and transfer learning with light U-nets. *Comput Methods Programs Biomed.* 192:105420, 2020.
- [5] Y.-J. Zhou, et al. A Real-time Multi-functional Framework for Guidewire Morphological and Positional Analysis in Interventional X-ray Fluoroscopy. *IEEE Trans. on Cognitive and Developmental Systems*, 2020.

5. Profil étudiant recherché :

Diplôme de master ou équivalent en informatique et intelligence artificielle. Des connaissances en analyse d'images seront un atout supplémentaire. Le candidat devra aussi montrer une forte motivation pour les applications dans le domaine médical.