

## DIPLÔME NATIONAL DE DOCTORAT

(Arrêté du 25 mai 2016)

Date de la soutenance : **21 novembre 2023**

Nom de famille et prénom de l'auteur : **Monsieur ASHTARI Pooya**

Titre de la thèse : « *Segmentation et détection de lésions cérébrales combinant apprentissage profond et factorisation à partir d'IRM multi-paramétriques* »



### Résumé

La segmentation des lésions cérébrales est essentielle en neuroimagerie clinique, facilitant le diagnostic, la planification du traitement et la recherche. Cette thèse explore le développement de modèles efficaces pour la segmentation et la détection automatisées des lésions cérébrales, notamment des tumeurs, des lésions de Sclérose en Plaques (SEP) et des lésions d'AVC, en utilisant l'IRM multiparamétrique (mpMRI). Nous introduisons des techniques avancées d'apprentissage profond et de factorisation de rang faible pour créer des outils diagnostiques précis, interprétables et efficaces. Dans la première partie de cette thèse, nous nous concentrons sur l'application des CNN pour la segmentation automatisée des nouvelles lésions de SEP dans les images 3D FLAIR. Notre objectif est d'identifier de nouvelles lésions entre deux scans IRM longitudinaux d'un patient atteint de SEP, ce qui est un indicateur clé de la progression de la maladie. Nous introduisons Pre-U-Net, une architecture encodeur-décodeur 3D composée de blocs résiduels pré-activation. Pour pallier le manque de données d'entraînement et le déséquilibre des classes, nous utilisons l'augmentation des données et la supervision profonde pour une formation optimale du modèle. Une analyse comparative révèle que Pre-U-Net surpasse à la fois U-Net et Res-U-Net sur le jeu de données MSSEG-2. Le cœur de cette thèse présente une méthode novatrice qui intègre la factorisation de rang faible à l'apprentissage profond pour améliorer la segmentation des images médicales. Reconnaisant les limites des CNN à exploiter le contexte global et la complexité quadratique de l'attention dans les transformateurs, nous introduisons une famille de modèles, appelée "Factorizer", qui exploitent la puissance de la factorisation matricielle de rang faible pour construire un modèle de segmentation évolutif et interprétable. Plus précisément, nous formulons la factorisation matricielle non négative (NMF) comme une couche différentiable et l'intégrons dans une architecture en forme de U. De plus, nous utilisons la technique de fenêtre décalée en combinaison avec la NMF pour agréger efficacement les informations locales. Nos résultats indiquent que les Factorizers surpassent les CNN et les transformateurs en termes de précision, de complexité et d'interprétabilité, établissant de nouvelles références sur les jeux de données BraTS et ISLES'22. Notamment, nos expériences montrent que les composants NMF sont hautement significatifs, chaque composant mettant en évidence des régions spécifiques, offrant aux Factorizers un avantage unique en matière d'interprétabilité par rapport aux CNN et aux Transformateurs. De plus, nos études d'ablation révèlent une caractéristique distinctive des Factorizers qui permet une accélération significative de l'inférence pour un modèle Factorizer formé, sans nécessiter d'étapes supplémentaires ou de compromis significatifs en matière de précision. Dans la dernière partie, nous proposons une méthode utilisant des réseaux tensoriels de rang faible pour

améliorer les CNN pour la segmentation des tumeurs cérébrales. Étant donné que de nombreux CNN 3D efficaces sont sujets au surajustement en raison de leur complexité et du manque de données d'entraînement, nous introduisons une architecture de type U-Net 3D intégrée avec des blocs résiduels. En imposant des contraintes de rang faible sur les poids des couches convolutionnelles, nous visons à éviter le surajustement. Cette approche permet de créer des réseaux avec nettement moins de paramètres. Nous évaluons la performance de notre méthode sur les données du défi BraTS 2020.