



DIPLÔME NATIONAL DE DOCTORAT

(Arrêté du 25 mai 2016)

Date de la soutenance : **24 avril 2025**

Nom de famille et prénom de l'auteur. e : **Madame Enyi CHEN**

Titre de la thèse : Méthodes de réseaux de neurones sur graphes pour la classification des formes cliniques de sclérose en plaques et l'estimation du handicap

Résumé



L'analyse des images médicales constitue une application majeure de l'apprentissage profond basé sur les Réseaux de Neurones Artificiels pouvant apporter une aide considérable aux médecins tant pour le diagnostic que pour le suivi thérapeutique des patients. Plus récemment, les réseaux de neurones de graphes (GNN ont montré des capacités intéressantes pour l'analyse de structures de données non-euclidiennes et de petites bases de données, comme celles utilisées en imagerie médicale. La Sclérose en Plaques (SEP est une maladie inflammatoire chronique et neurodégénérative du système nerveux central, entraînant un handicap physique et/ou cognitif progressif. Les patients atteints de SEP suivent différentes formes cliniques, 85% d'entre eux débutent par une forme rémittente-récurrente, suivie d'une phase progressive secondaire, tandis que 15% présentent d'emblée une forme progressive primaire de la maladie. Bien qu'il n'existe pas de cure pour la SEP, une intervention précoce permet de réduire les symptômes, prévenir les poussées et ainsi améliorer de manière significative la qualité de vie des patients SEP. Ainsi, l'identification de la forme clinique et de la progression de la maladie constitue un besoin essentiel en pratique clinique. L'imagerie par résonance magnétique (IRM est un outil d'examen essentiel pour le diagnostic et le suivi des patients SEP. L'IRM est une technique de diagnostic non invasive qui apporte des images anatomiques cérébrales très contrastées et permet ainsi aux médecins de détecter les principaux

signes pathologiques, tels que les lésions inflammatoires de la substance blanche et l'atrophie dégénérative de la substance grise (SG, afin de décider des approches thérapeutiques à adopter. Ces processus pathologiques peuvent être modélisés par la théorie des graphes afin de représenter l'organisation cérébrale par la connectivité morphologique, structurelle et/ou fonctionnelle. Dans cette thèse nous avons focalisé sur la caractérisation des processus pathologiques neurodégénératifs des patients SEP, en utilisant des graphes de connectivité morphologique. Ces graphes ont été générés à partir des caractéristiques de l'épaisseur corticale de SG mesurée sur les images T1w-IRM. Le cortex cérébral est ensuite parcellisé en petites régions selon différents atlas, afin de collecter les données d'épaisseur de SG, synthétisées sous forme d'un vecteur de chaque région. L'ensemble de ces données permet de reconstruire les matrices de connectivité morphologique, définies par la similarité entre les vecteurs caractéristiques de l'épaisseur corticale de chaque région. Le réseau de neurones convolutifs sur graphes (GCN) peut ensuite être appliqué pour effectuer la classification des différentes formes cliniques de SEP. Étant donné que le sexe et l'âge sont corrélés à la progression de la maladie, nous avons proposé deux méthodes pour examiner l'impact de ces deux facteurs principaux de confusion en incluant ou non ces données démographiques. Ces informations peuvent être soit directement intégrées dans le GCN comme une couche de convolution complémentaire, soit exclues des données initiales du graphe en régressant leur impact. Nous avons étudié également d'autres architectures de GNN, telles que le réseau d'attention sur graphes, qui permet de mettre en valeur de manière adaptative l'importance des voisins des nœuds du graphe. Le réseau isomorphe sur graphes est également appliqué car il met davantage l'accent sur la structure du graphe et est supposé atteindre une expressivité maximale parmi tous les GNN. Ces architectures sont ensuite utilisées pour l'estimation de l'EDSS, le score couramment employé pour évaluer le degré de handicap des patients SEP. Enfin, une étude d'interprétabilité régionale est réalisée sur les données caractéristiques de l'épaisseur corticale afin d'identifier les régions cérébrales jouant un rôle prépondérant dans l'évolution de la SEP et d'évaluer leur concordance avec les observations cliniques

Mots-clés :

réseaux de neurones sur graphes, apprentissage profond, IRM-T1, connectivité morphologique, substance grise, sclérose en plaques