



جامعة محمد الخامس بالرباط
Université Mohammed V de Rabat

**École Nationale Supérieure d'Informatique et d'Analyse des Systèmes
Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers de Rabat**

Centre d'Études Doctorales en Sciences des Technologies de l'Information et de l'Ingénieur

AVIS DE SOUTENANCE DE THÈSE DE DOCTORAT

Madame Jihad BOUCHEROUITE

Soutiendra publiquement sa thèse de Doctorat en Sciences de l'Ingénieur

Spécialité : Génie Biomédical

Le 09 juillet 2026 à 10h00 au Grand Amphi à l'ENSAM de Rabat

Intitulé de la thèse

**DÉTECTION PRÉCOCE ET STADIFICATION AUTOMATISÉES DE LA
MALADIE DE PARKINSON PAR IMAGERIE SPECT ET INTELLIGENCE
ARTIFICIELLE**

Président :

Pr. Ahmed HAMMOUCH, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Directeur de thèse :

Pr. Atman JBARI, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Co-Directeur de thèse :

Pr. Abdelilah JILBAB, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Rapporteurs :

Pr. Lhoussein BAHATTI, PES, ENSET-Mohammedia, Université Hassan II, Casablanca

Pr. Abderrazak AMMAR, MCH, ENSET-Mohammedia, Université Hassan II, Casablanca

Pr. Mohamed HILAL, MCH, Institut Supérieur des Sciences de la Santé, Université Hassan I, Settat

Examineur(s) :

Pr. Benayad NSIRI, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Pr. Achraf BENBA, MCH, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat



Résumé:

La détection précoce de la maladie de Parkinson (MP) est cruciale pour permettre une intervention thérapeutique rapide. Cependant, les approches diagnostiques actuelles rencontrent des difficultés à identifier les déficits dopaminergiques subtils durant les premiers stades de la maladie. Cette thèse présente une étude approfondie sur la détection précoce et la stadification automatisées de la MP, en utilisant l'imagerie par tomographie d'émission monophotonique (SPECT), à travers plusieurs paradigmes computationnels complémentaires. Nous avons développé et validé quatre approches distinctes mais interconnectées, en nous appuyant sur la base de données de l'initiative Parkinson's Progression Markers Initiative (PPMI). Les patients ont été répartis en trois groupes: patients atteints de MP, témoins sains (HC), et sujets présentant des scans sans preuve de déficit dopaminergique (SWEDD). Toutes les approches se sont stratégiquement concentrées sur un volume striatal critique en image SPECT, utilisant une segmentation adaptative et diverses techniques de traitement d'image. La première contribution a établi que les caractéristiques conventionnelles (radiales, contour et ratio de liaison striatale (SBR)), combinées à des modèles d'apprentissage automatique classiques, atteignent une exactitude de 97,09% pour la classification binaire (HC vs. MP précoce), tout en offrant une interprétabilité et une efficacité computationnelle supérieures.

La deuxième contribution a introduit des caractéristiques de forme volumétrique 3D (volume, courbure et compacité) réalisant une analyse striatale bilatérale et une classification tenant compte des stades, atteignant ainsi une exactitude de 98,56% pour la classification binaire et de 76,26% pour la classification en trois classes (HC, MP stade 1 et stade 2 de Hoehn & Yahr). La troisième contribution, parmi les premières à appliquer les réseaux de capsules hybrides (CapsNet) à l'imagerie SPECT, a démontré des performances exceptionnelles : 99,09% d'exactitude en classification HC vs MP précoce, 98,89% pour MP précoce vs non-PD (HC+SWEDD), et 80% pour la classification à trois classes (HC, MP précoce, SWEDD). De plus, l'analyse a révélé que 93,7% des cas SWEDD présentaient des profils d'imagerie plus proches des HC. La quatrième contribution a unifié les paradigmes précédents au sein d'une architecture hybride optimale intégrant les caractéristiques conventionnelles avec les représentations d'apprentissage profond. Avec une exactitude de 97,40%, elle a démontré la supériorité discriminante des caractéristiques morphométriques sur les caractéristiques d'apprentissage profond pour capter les altérations morphologiques subtiles. Les travaux présentés dans cette thèse atteignent des performances diagnostiques significatives, surpassant les approches actuelles de l'état de l'art. Ils offrent un traitement automatisé et une interprétabilité clinique, ainsi que la capacité de traiter la stadification de la maladie et la reclassification des SWEDD. Ces approches constituent des outils viables d'aide à la décision clinique pour améliorer la détection précoce, permettre des stratégies thérapeutiques personnalisées et améliorer les résultats des patients.

Mots-clés:

Maladie de Parkinson, détection précoce, imagerie SPECT, apprentissage automatique, caractéristique volumétrique, caractéristiques de forme, apprentissage profond, stadification de la maladie, réseaux de capsules hybrides, caractéristiques conventionnelles, déficit dopaminergique, ratio de liaison striatale.



Abstract:

Early detection of Parkinson's disease (PD) is crucial for timely therapeutic intervention; however, current diagnostic approaches face challenges in identifying subtle dopaminergic deficits during early disease stages. This thesis presents a comprehensive investigation into automated early detection and staging of PD using Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT) imaging across multiple complementary computational paradigms. We developed and validated four distinct yet interconnected approaches, using the Parkinson's Progression Markers Initiative (PPMI) database. The patients were divided into three groups: PD patients, healthy controls (HC), and scans without evidence of dopamine deficiency (SWEDD). All approaches were strategically focused on a critical striatal volume of SPECT images, using adaptive segmentation and various image processing techniques. The first contribution established that conventional features (radial, boundary, and striatal binding ratio (SBR)) combined with classical machine learning models achieved 97.09% accuracy for binary classification (HC vs. early PD) while offering superior interpretability and computational efficiency. The second contribution introduced 3D volumetric shape-based features (volume, curvature, and compactness) by implementing Striatal bilateral analysis and stage-aware classification achieving 98.56% accuracy for binary classification and 76.26% for three-class staging (HC, PD Hoehn& Yahr Stage 1, and Stage 2). The third contribution, among the first to apply Hybrid Capsule Networks (CapsNet) to SPECT imaging, demonstrated exceptional performance with accuracies of 99.09% (HC vs. early PD) and 98.89% (early PD vs. non-PD, grouping HC and SWEDD) for binary classification tasks, and 80% for three-class classification (HC, early PD, and SWEDD). It also revealed that 93.7% of SWEDD cases had imaging patterns closer to HC in the proposed feature space. The fourth contribution unified the previous paradigms through an optimal hybrid framework integrating conventional features with deep learning representations, achieving 97.40% accuracy, demonstrating that morphometric features exhibit greater discriminative power than deep learning features for detecting subtle morphological changes. The work presented in this thesis achieves significant diagnostic performance, surpassing existing state-of-the-art approaches. It offers automated processing and clinical interpretability, as well as the ability to address disease staging and SWEDD reclassification. These frameworks serve as viable clinical decision support tools to improve early detection, enable personalized treatment strategies, and enhance patient outcomes.

Keywords:

Parkinson's disease, early detection, DaT-SPECT imaging, automated approach, machine learning, volumetric features, shape features, deep learning, disease staging, Hybrid Capsule Networks, conventional features, dopamine deficiency, striatal binding ratio.