

THÈSE DE DOCTORAT DE

NANTES UNIVERSITÉ

ÉCOLE DOCTORALE N° 641
*Mathématiques et Sciences et Technologies
de l'Information et de la Communication*
Spécialité : « *Mathématiques et leurs Interactions* »

Par

Klervi LE GALL

Apprentissage et reconnaissance des différents troubles de la marche à l'aide d'un capteur de mouvement : le cas des patients atteints de Sclérose en Plaques

Thèse présentée et soutenue à Nantes , le 27 juin 2025

Unité de recherche : Laboratoire de Mathématiques Jean Leray, Nantes

Rapporteurs avant soutenance :

Paula BRITO Associate Professor, Faculty of Economics of the University of Porto

Nicolas MOLINARI Professeur des universités-praticien hospitalier, CHU de Montpellier

Président :	Prénom NOM	Fonction et établissement d'exercice (<i>à préciser après la soutenance</i>)
Examineurs :	Véronique CARIOU	Professeure de l'enseignement supérieur agricole, StatSC, ONIRIS, Nantes
	Yohann FOUCHER	Professeur des universités-praticien hospitalier, CHU de Poitiers
	Frédéric PROÏA	Professeur des universités, LMJL, Nantes Université, Nantes
Dir. de thèse :	Lise BELLANGER	Professeure des universités, Lab-STICC, Université Bretagne Sud, Vannes
Co-dir. de thèse :	David LAPLAUD	Professeur des universités-praticien hospitalier, CHU de Nantes
Co-encadrant. de thèse :	Aymeric STAMM	Ingénieur de recherche CNRS, LMJL, Nantes

Titre : Apprentissage et reconnaissance des différents troubles de la marche à l'aide d'un capteur de mouvement : le cas des patients atteints de Sclérose en Plaques

Mot clés : Analyse de la marche, quaternions, données synthétiques, clustering, sclérose en plaques

Résumé : Cette thèse s'inscrit dans le projet interdisciplinaire eGait, dédié à l'évaluation quantitative de la marche. Elle propose des outils mathématiques pour l'analyse statistique de la Signature de Marche (SdM), définie comme une série temporelle de quaternions (QTS) unitaires représentant la trajectoire d'orientation de la hanche sur un cycle de marche. Un algorithme de génération de données synthétiques de QTS, est introduit puis étendu aux données mêlant QTS et variables quantitatives et/ou qualitatives. Un cadre mathématique issu de l'analyse de forme est

également adapté à ces données complexes, permettant une comparaison des trajectoires sans biais de mesure. Une méthodologie de classification non supervisée est proposée afin d'identifier des groupes d'atteintes similaires de la marche de patients atteints de sclérose en plaques (SEP), en sélectionnant la dissimilarité la plus informative entre SdM. La stabilité de la partition obtenue est évaluée à l'aide de données synthétiques. Enfin, un travail préliminaire sur la classification supervisée de patients atteints de SEP sur la base de leur SdM.

Title: Learning and recognition of gait disorders using a motion sensor: the case of patients with multiple sclerosis

Keywords: Gait analysis, quaternions, synthetic data, clustering, multiple sclerosis

Abstract: This thesis is part of the interdisciplinary eGait project, dedicated to the quantitative assessment of gait. It proposes mathematical tools for the statistical analysis of the Individual Gait Pattern (IGP), defined as a unit quaternion times series (QTS) representing the hip orientation trajectory during a gait cycle. An algorithm for the generation of synthetic unit QTS data is introduced and then extended to data combining unit QTS with quantitative and/or qualitative variables. A mathematical framework inspired by shape analy-

sis is also adapted to these complex data, enabling unbiased comparison of trajectories. An unsupervised classification methodology is proposed to identify groups of patients with similar gait impairments due to multiple sclerosis (MS), by selecting the most informative dissimilarity between IGPs. The stability of the resulting partition is assessed using synthetic data. Finally, preliminary work is presented on supervised classification of MS patients based on their IGPs.