

Avis de Soutenance

Monsieur Nicolas GRANDIN

Sciences et Technologies Industrielles

Soutiendra à huis clos ses travaux de thèse intitulés

Conception et validation d'un système embarqué d'aide à l'évaluation du port de charge

dirigés par Monsieur Nacim RAMDANI et Monsieur OLIVIER BUTTELLI

Ecole doctorale : Mathématiques, Informatique, Physique Théorique et Ingénierie des Systèmes - MIPTIS

Unité de recherche : PRISME - Laboratoire Pluridisciplinaire de Recherche en Ingénierie des Systèmes et Mécanique
Energétique

Soutenance prévue le **mardi 20 mai 2025** à 14h00

Lieu : École polytechnique de l'université d'Orléans, Site Galilée (Polytech Orléans) 12 Rue de Blois, 45100 Orléans
Salle : F301

Composition du jury proposé

M. Nacim RAMDANI	Université d'Orléans	Directeur de thèse
M. Olivier BUTTELLI	Université d'Orléans	Co-directeur de thèse
M. Jonathan SAVIN	Institut national de recherche et de sécurité (INRS)	Examineur
M. Tarak DRISS	Université Paris Nanterre	Examineur
M. Mohsen ZARE	Université de Technologie de Belfort-Montbéliard (UTBM)	Rapporteur
Mme Valérie BERRY-KROMER	Polytech Nancy	Rapporteuse
M. Nicolas FERVEUR	Tech Ergo Appliquées (T.E.A.)	Invité

Mots-clés : ergonomie, port de charge, Efforts de réaction au sol, prototype, chaussures instrumentées, biomécanique

Résumé :

De nombreuses activités dans le milieu industriel restent encore manuelles dont le port de charge (PDC) est une composante non négligeable. Les conséquences de l'engagement physique dans le travail, activités manuelles et posture, induisent des coûts humains et économiques conséquents. Selon l'Assurance Maladie, la moitié des troubles musculosquelettiques (TMS) entraîne des séquelles permanentes et ont un coût de près de 2 milliards d'euros en 2017. Afin de les réduire, dans le cadre de démarche de prévention, des normes ergonomiques de port de charge ont été établies. Cependant, leur considération, en condition réelle d'activité, reste approximative. Notamment, parce que les préventeurs mobilisent des grilles de cotation dont les niveaux de criticité des activités sont évalués visuellement. De plus, il n'est pris en compte dans ces démarches que la charge externe statique. C'est pourquoi, l'estimation de la masse des charges manutentionnées reste un défi lorsqu'elle doit être effectuée en condition réelle d'activité. Dans ce contexte, cette thèse industrielle a eu pour ambition de concevoir et de valider un système embarqué d'estimation du PDC. La première partie du travail a consisté au développement d'une paire de chaussures instrumentée afin de mesurer les efforts de réaction au sol (ERS) et d'estimer la masse de la charge portée. La caractérisation du prototype s'est réalisée en conditions statiques et dynamiques pour des appuis unipodaux et bipodaux. Le prototype final permet d'estimer la charge portée au kilogramme près. La deuxième partie du travail a porté sur la validation expérimentale du prototype pour quatre activités différentes de PDC, avec trois niveaux de charges (0, 5 et 10 kg). Les mesures des ERS ont été comparées à celles d'une plateforme de force de référence. Cette étude a permis de montrer que le prototype mesurait avec une bonne précision les forces et moments de force suivant les trois composantes (verticale, antéropostérieure et latérale) puisqu'il n'y avait pas de différences statistiques, quelles que soient les conditions expérimentales, sur ces mesures entre le prototype et la plateforme de référence. La dernière partie concerne l'automatisation sur l'identification et l'évaluation du PDC. Elle consiste à détecter les instants de prise et de dépose de charge, ainsi que d'estimer la masse des charges manipulées. Afin de garantir son utilisabilité, une contrainte majeure a été l'utilisation d'un nombre restreint de capteurs. Toutefois, la configuration actuelle présente une sous-détermination pour la détection des PDC. Pour surmonter cette limitation, un premier algorithme, basé sur un modèle d'apprentissage supervisé, a été développé afin de résoudre l'indéterminisme et d'identifier avec précision les moments de prise et de dépose. Le second algorithme quant à lui, a été développé pour estimer la masse de la charge

manipulée en condition réelle d'activité, autrement dit en dynamique. Les deux algorithmes exploitent les ERS et les données relatives au centre de masse (CDM) des sujets comme variables d'entrée. Les résultats obtenus sont prometteurs, montrant une détection des PDC avec une précision moyenne d'un kilogramme. Ce travail a conçu et réalisé un prototype qui a montré son opérabilité pour l'estimation de la charge portée au cours de différentes conditions de manutention, mais aussi son utilisabilité avec l'intégration d'algorithmes d'estimation. Ce travail contribue donc à apporter des solutions techniques de terrain pour aider les préventeurs dans l'évaluation de la pénibilité du port de charge.