



## DIPLÔME NATIONAL DE DOCTORAT

(Arrêté du 25 mai 2016)

Date de la soutenance : **17 novembre 2022**

Nom de famille et prénom de l'auteur : **Madame ASSILA Najoua**

Titre de la thèse : « *Mobilité en fauteuil roulant - Simulateur musculo-squelettique de l'épaule pour la compréhension des pathomécanismes associés* »

### Résumé



Le fauteuil roulant manuel (FRM) est nécessaire à la participation de ses usagers lors de la vie active. Cependant, le geste répétitif de propulsion est contraignant pour l'épaule, ce qui mène à l'apparition de lésions au niveau des tendons de la coiffe des rotateurs, impactant négativement la mobilité, l'autonomie et la qualité de vie de l'utilisateur.

Bien que plusieurs études aient essayé de caractériser la propulsion pour identifier des prédicteurs de douleurs, la complexité technique de la propulsion associée à celle anatomique de l'épaule entravent la compréhension des pathomécanismes associés à l'usage du FRM. Aussi, la variabilité des contextes de propulsion en milieu urbain (trottoirs, pentes, etc.) nécessite d'identifier les adaptations de l'utilisateur pour mieux représenter son quotidien.

L'objectif principal de cette thèse était d'approfondir notre compréhension des pathomécanismes de l'épaule associés à la propulsion en FRM. À cet égard, il était important de comprendre l'effet de la charge imposée par le FRM sur l'épaule à différentes échelles allant de la cinématique à la contrainte au sein des tissus mous, en passant par les forces articulaires. Nos objectifs spécifiques étaient de (1) Identifier les adaptations de la technique de propulsion à la présence d'un dévers, habileté représentative de la propulsion le long des trottoirs ; (2) Prédire des forces musculaires physiologiquement plausibles qui expriment le

## RÉSUMÉ

rôle des muscles dans la stabilité articulaire ; (3) Prédire le champ de déformations au niveau de la coiffe des rotateurs en utilisant un simulateur hybride de l'épaule, c'est-à-dire un modèle éléments-finis piloté par les excitations musculaires et la cinématique articulaire prédite par un modèle multi-corps rigides.

(1) À partir des données cinématiques, cinétiques et électromyographiques de neuf utilisateurs de FRM, nous avons analysé l'adaptation de leurs techniques de propulsion sur un dévers. Si tous les participants ont réussi à se propulser, leurs techniques d'adaptation variaient en termes d'efficacité et de risque de blessures. Ce qui souligne l'importance de l'enseignement des habiletés en FRM.

(2) Nous avons adapté une boîte à outils de calibration de modèle neuro-musculo-squelettique pour exprimer les contraintes de stabilité gléno-humérale. Le modèle calibré a été ensuite implémenté pour prédire les forces musculaires et de réaction gléno-humérale. Cette approche nous a permis d'exprimer le rôle de la co-contraction musculaire dans la stabilité articulaire. Les forces de réaction prédites indiquaient que la propulsion est une tâche déstabilisante pour l'articulation gléno-humérale. Enfin, la comparaison des modèles calibrés de participants avec des capacités fonctionnelles variées a mis en évidence les limites de la calibration numérique.

(3) Un modèle éléments-finis de l'épaule avec muscles tridimensionnels a été développé pour simuler un cycle de propulsion. Les muscles ont été activés à partir des données électromyographiques expérimentales. La scapula et l'humérus ont été pilotés par la cinématique articulaire extraite d'un modèle multi-corps rigides. L'analyse des déformations de l'unité musculo-tendineuse du supra-épineux nous a permis de proposer des explications potentielles pour la prévalence des déchirures tendineuses chez les utilisateurs de FRM, particulièrement au niveau de la zone antérieure et interstitielle de ce tendon. Notre analyse semble rejoindre la littérature, soulignant que la répétitivité de la propulsion pourrait être plus contraignante que sa charge.

Cette thèse a permis de développer des outils numériques de modélisation biomécanique, qui pourraient être implémentés pour l'étude d'autres pathologies qui touchent les muscles de la coiffe. Elle a aussi permis d'identifier des pathomécanismes potentiels de l'épaule associés à la propulsion en FRM. Plus d'études restent nécessaires pour valider nos résultats pour des populations plus larges et plus hétérogènes.

**Mots-clés** : Fauteuil roulant manuel, propulsion, épaule, biomécanique, éléments-finis, modèle neuro-musculo-squelettique, simulateur hybride.