



**CENTRALE
LYON**

Avis de Soutenance

Monsieur Maxime MICHEL

Génie mécanique

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés

Optimisation de la performance du fauteuil roulant de compétition: le frottement dans les interactions athlète/fauteuil/piste

Travaux dirigés par Monsieur Denis MAZUYER

Soutenance prévue le **lundi 22 juin 2026** à 14h00

Lieu : 36 avenue Guy de Collongue, 69134 Écully Bâtiment W1

Salle : Amphi. 203

Composition du jury proposé

M. Denis MAZUYER	Professeure des universités	Ecole Centrale de Lyon	Directeur de thèse
Mme Olga SMERDOVA	Maîtresse de conférences HDR	ISAE-ENSMA	Rapporteuse
M. Laurent CHAZEAU	Professeur des universités	INSA Lyon	Rapporteur
M. Paul SOTTA	Directeur de recherche	INSA Lyon	Examinateur
M. Jean-Luc LOUBET	Directeur de recherche	Ecole Centrale de Lyon	Co-directeur de thèse
M. Loïc PICARD	Hutchinson	Invité	
Mots-clés :	Frottement, Elastomère, Usure, Résistance au roulement, Para-athlétisme		

Résumé :

Cette thèse s'inscrit dans le cadre du projet national *Sciences2024*, dont l'ambition est de mobiliser l'expertise des sciences pour optimiser la performance des athlètes français en vue des Jeux Olympiques et Paralympiques de Paris 2024. Ce travail de recherche s'est basé sur une approche systémique, mené en collaboration avec l'entreprise Hutchinson et la Fédération Française Handisport, traitant le fauteuil roulant comme un ensemble mécanique dont la performance globale dépend de l'optimisation des interfaces avec l'extérieur. Cette stratégie s'articule autour de deux axes: maximiser l'efficacité de la propulsion en augmentant l'adhérence du contact gant/main courante lors du boxage, et minimiser la résistance au frottement du contact pneu/piste. La méthodologie de recherche mise en oeuvre repose sur un dialogue entre les mondes industriel, scientifique et sportif: elle croise ainsi l'expertise en formulation chimique des élastomères de la société Hutchinson avec celle en tribologie expérimentale du LTDS et des mesures in operando sur le terrain avec les athlètes de l'équipe de France. L'étude du contact gant/main courante révèle que le contrôle de l'adhérence lors de la phase de « boxage » est régi au premier ordre par la nature de la matrice élastomère, tandis que l'ajout de résines tackifiantes permet d'ajuster ce « grip » au second ordre. Toutefois, les retours d'expérience des athlètes sur le terrain ont souligné que l'usure constitue un paramètre de performance tout aussi important à contrôler. En effet, si les formulations à base de polyisoprène (IR) maximisent l'adhérence, les sportifs ont mis en évidence une usure « très rapide » générant des débris de caoutchouc perturbant la qualité de la poussée. Il est donc nécessaire de définir un compromis entre adhérence et usure, adapté au profil de chaque athlète. Ce choix dépend de la catégorie de handicap et de la force de boxage générée, qui influencent la sévérité des sollicitations mécaniques, et des distances sur lesquelles est aligné l'athlète. Ainsi, l'IR s'avère être un matériau performant pour les sprinteurs, car l'usure rapide est moins pénalisante sur des distances courtes nécessitant un grip maximal. En revanche, la matrice SBR constitue le meilleur compromis pour les coureurs de demi-fond, offrant une adhérence élevée tout en présentant une perte de masse drastiquement réduite et un faciès d'usure douce. Après avoir maximisé la vitesse du fauteuil en optimisant l'efficacité de la propulsion au niveau du contact gant/main courante, l'enjeu est désormais de limiter les phénomènes dissipatifs au sein de l'interface pneu/piste. Une caractérisation mécanique révèle que les revêtements Mondo possèdent une souplesse comparable à celle des bandes de roulement développées. La démarche expérimentale a été progressive, débutant par des essais fondamentaux sur disque en verre pour permettre une visualisation in situ, avant de passer à des essais sur pistes réelles en laboratoire, pour aboutir finalement à des mesures directement sur le terrain. Ces travaux ont démontré que rouler sur un sol souple influence considérablement les réponses tribologiques du système. Ces dernières sont difficilement différenciables en conditions de roulement-glissement sur piste en laboratoire pour des formulations de caoutchouc distinctes. Ces résultats ont alors conduit à explorer la pression de gonflage du pneu comme levier de performance complémentaire. Les essais sur le terrain ont ainsi révélé qu'un sur-gonflage s'avère contre-productif, générant un bourrelet de matière qui freine l'avancement du fauteuil. Ceci a permis d'identifier une pression optimale comprise entre 3 et 5 bars. Ce travail apporte une première contribution significative à la tribologie des élastomères sur surfaces souples rugueuses et a permis de traduire des résultats de laboratoire en solutions concrètes, contribuant directement à l'amélioration de la performance des para-athlètes français en compétition.

Summary:

This PhD work is part of the national [Sciences] ^2024 project, whose ambition is to mobilize scientific expertise to enhance the performance of French athletes in preparation for the Paris 2024 Olympic and Paralympic Games. This research adopts a systemic approach, conducted in collaboration with the company Hutchinson and the French Handisport Federation, considering the wheelchair as a mechanical system whose overall performance depends on the optimization of its interfaces with the external environment. This strategy is structured around two main objectives: maximizing propulsion efficiency by increasing grip at the glove/handrim interface during the push phase, and minimizing frictional resistance at the tire/track interface. The research methodology is based on a dialogue between industrial, scientific, and sporting communities. It combines Hutchinson's expertise in elastomer formulation with experimental tribology at LTDS, along with in-operando field measurements performed with members of the French national team. The study of the glove/handrim contact shows that grip control during the push phase is primarily governed by the nature of the elastomer matrix, while the addition of tackifying resins enables fine tuning of this grip as a second-order effect. However, feedback from athletes highlighted that wear is an equally critical performance parameter. While polyisoprene (IR)-based formulations maximize grip, athletes reported very rapid wear, generating rubber debris that negatively affects propulsion quality. Therefore, a compromise between grip and wear must be defined, tailored to each athlete's profile. This choice depends on the disability category (T53 or T54) and the applied pushing force, which influence the severity of mechanical loading, as well as on the race distance. Consequently, IR proves to be a high-performance material for sprinters, as rapid wear is less detrimental over short distances requiring maximum grip. In contrast, an SBR matrix offers the best compromise for middle-distance athletes, providing high grip while exhibiting drastically reduced mass loss and a mild wear pattern. After maximizing wheelchair speed by optimizing propulsion efficiency at the glove/handrim interface, the next challenge is to limit dissipative phenomena at the tire/track interface. Mechanical characterization reveals that Mondo track surfaces have a compliance comparable to that of the developed tire treads. The experimental approach was progressive, starting with fundamental tests on glass discs to enable in situ visualization, followed by laboratory tests on real track surfaces, and finally culminating in field measurements. These investigations demonstrate that rolling on compliant substrates significantly affects the tribological response of the system. Under rolling-sliding conditions on track surfaces in the laboratory, differences between rubber formulations are difficult to distinguish. These findings led to exploring tire inflation pressure as an additional performance lever. Field tests revealed that overinflation is counterproductive, generating a material ridge that hinders forward motion. This allowed identification of an optimal pressure range between 3 and 5 bar. This work provides a first significant contribution to the tribology of elastomers on rough compliant surfaces and has enabled the translation of laboratory findings into practical solutions, directly contributing to the performance improvement of French para-athletes in competition.