

Mots clés : Robotique, Modélisation multiphysique, Contrôle-commande, Simulation

Résumé : Cette thèse CIFRE s'inscrit dans le domaine de la robotique industrielle et traite de la modélisation multiphysique des systèmes robotiques à comportement non linéaire, avec une application spécifique aux robots cartésiens. Dans un contexte industriel exigeant davantage de précision, de rapidité et d'efficacité énergétique, la compréhension des phénomènes dynamiques complexes devient indispensable. Les approches de modélisation classiques, souvent fondées sur l'hypothèse de structures parfaitement rigides, montrent leurs limites face aux effets vibratoires, aux interactions mécaniques et aux non-linéarités propres aux systèmes réels.

L'objectif principal de cette recherche est de développer une approche de modélisation multiphysique cohérente et progressive permettant d'analyser le comportement dynamique d'un robot cartésien industriel. Cette approche prend en compte la flexibilité des structures, les interactions entre les actionneurs et le bâti, ainsi que les effets dynamiques non linéaires. À cette fin, un modèle complet du robot a été élaboré dans l'environnement Simscape, intégrant conjointement les aspects mécaniques, électriques et de commande. Ce modèle assure une cohérence globale entre les différents domaines physiques tout en reliant la modélisation structurelle à la commande du système.

La méthodologie repose sur une modélisation hiérarchique à plusieurs niveaux de complexité : du modèle rigide jusqu'aux modèles flexibles et hybrides. Cette démarche permet d'évaluer l'impact de la flexibilité et des phénomènes vibratoires sur la précision du positionnement et le suivi de trajectoire. Le modèle dynamique a été validé expérimentalement à l'aide de mesures réalisées sur un robot cartésien industriel équipé d'un tracker laser, permettant une comparaison directe entre simulations et observations réelles.

Dans un second temps, la thèse étudie l'influence des lois de commande non linéaires sur le comportement dynamique du robot. Deux stratégies ont été implémentées et comparées : la commande par couple calculé (Computed Torque Control – CTC) et la commande par modes glissants (Sliding Mode Control – SMC). Leurs performances ont été évaluées sur les axes de translation X, Y et Z à travers des simulations temporelles et des analyses fréquentielles. Les résultats obtenus mettent en évidence l'influence notable du choix de la loi de commande sur la réponse vibratoire, la robustesse du suivi de trajectoire et la consommation énergétique.

En conclusion, ces travaux démontrent l'intérêt de la modélisation multiphysique comme outil d'analyse et d'aide à la décision pour la conception et le pilotage des robots industriels. Cette approche permet de prédire des comportements dynamiques complexes, d'optimiser les stratégies de commande, et de contribuer ainsi au

développement de robots plus précis, plus stables et plus économies en énergie, adaptés aux exigences actuelles de l'industrie.