



Proposition de thèse/ PhD proposal ISAE-SUPAERO & LAAS-CNRS

Projet ExoKid'

Interaction patient-exosquelette dans le cadre de la paralysie cérébrale de l'enfant

Directeurs de thèse : G. MICHON (ISAE-SUPAERO) et B. WATIER (LAAS-CNRS)

Contact : guilhem.michon@isae-supaero.fr et bruno.watier@laas.fr

Domaine scientifique : Mécanique du vivant et Robotique

Mots-clés : exosquelette, biomécanique, robotique

Sujet de la thèse :

La paralysie cérébrale a une prévalence à la naissance d'un enfant sur 500, soit environ 1500 nouveaux cas par an en France. Généralement, les paralysies cérébrales sont liées à la prématurité qui engendre des dysfonctionnements cérébraux. L'étude que nous proposons ici se concentre en particulier sur la locomotion de ces enfants. La (ré)éducation, dès le plus jeune âge en profitant de la plasticité cérébrale, est une des clés de la réussite de l'apprentissage. L'utilisation d'une assistance robotisée de type exosquelette, a montré qu'elle permettait à l'enfant d'acquérir une démarche proche de celle de la marche saine après les phases d'apprentissage.

L'idée à terme est de développer un prototype d'exosquelette à l'anthropométrie adaptée à l'enfant. Le public visé étant les jeunes enfants atteints de paralysie cérébrale ; la diversité des pathologies, la disponibilité des patients et des considérations éthiques ont conduit au principe de deux systèmes robotisés, pour parvenir à un concept de « robot dans un robot » :

1. Le premier robot jouant le rôle de l'enfant avec ses divers handicaps,
2. Le deuxième jouant le rôle d'exosquelette.

La finalité de la thèse sera de tester les lois de commande et de contrôle de l'exosquelette sur cet humanoïde pathologique. L'exosquelette, développé par ailleurs, sera commandé en couple pour lui assurer une certaine compliance. L'objectif sera de s'assurer qu'un système mécanique (exosquelette) peut être contrôlé en adéquation avec la dynamique d'un enfant ici simulé par un robot humanoïde, et de l'absence de dangerosité du dispositif. La simulation de la marche pathologique permettra de vérifier que l'exosquelette corrige correctement les défauts en reproduisant un schéma moteur proche d'une marche saine. L'appareillage de l'exosquelette sur un enfant cérébro-lésé ne sera envisagé qu'à long terme après l'approbation des autorités sanitaires.



Dans le cadre de cette thèse, les trois objectifs détaillés qui suivent, à la frontière de la biomécanique, de la robotique et de l'informatique, seront étudiés :

- Étude la dynamique du système musculo-squelettique chez le sujet sain et pathologique.

Les muscles des enfants cérébraux lésés sont sur-sollicités par des informations cérébrales non adéquates et conduisent à des phénomènes combinés d'hypotonie et hypertonie souvent liés au phénomène de spasticité. Il conviendra donc, sur un échantillon d'enfants représentatif, d'étudier la dynamique de la marche « lésée », à comparer à celle d'une personne saine. Pour cela, nous nous appuierons sur le plateau technique d'analyse du mouvement situé au CREPS de Toulouse, qui permet un enregistrement synchronisé de la cinématique tridimensionnelle, de l'activité musculaire par électromyographie et des efforts transmis au sol lors de la marche. En combinant les données cinématique et cinétique nous pourrions alors par un processus classique de dynamique inverse déterminer les torseurs d'action mécanique aux articulations du membre inférieur.

- Modèle de marche dont la dynamique reproduit les mouvements naturels sur jambes humanoïde.

Étant donné la fragilité du public visé et la disparité des pathologies conduisant à une paralysie cérébrale, il sera choisi de reproduire cette marche sur un robot humanoïde de la taille d'un enfant. Cela permet ainsi de s'affranchir de la disponibilité des patients, mais surtout d'être en mesure de reproduire un large spectre de comportements. Il sera choisi une plateforme adaptée à la morphologie d'un enfant et nous utiliserons ici le robot Poppy développé par l'INRIA. Ce robot permettra de simuler la marche quantifiée lors de la première étape.

- Étude de l'interaction d'un exosquelette de réhabilitation sur la dynamique de la marche lésée sur les jambes humanoïdes.

Cette étape, plus cruciale, consistera à étudier l'interaction du robot humanoïde avec un exosquelette. Il s'agira dans un premier temps d'interfacer le prototype d'exosquelette développé par ailleurs, aux jambes du robot humanoïde. L'exosquelette aura pour vocation de corriger la marche pathologique, pour la rendre plus naturelle. La difficulté réside dans la double commande d'un robot dans un robot, via un pilotage mixte en effort et en position assurant à l'ensemble une compliance apte à préserver par la suite l'intégrité du patient. La majorité des exosquelettes classiques considère que les jambes du patient sont totalement inactives ; notre proposition s'en démarque donc nettement et il s'agit ici d'une avancée scientifique majeure du projet.

Le projet de thèse sera mené en collaboration avec l'ISAE-SUPAERO et le LAAS-CNRS (équipe Gepetto) et sera basé à Toulouse.

Une des thématiques transverses de l'ISAE-SUPAERO concerne l'étude de la dynamique du vivant, d'une part pour sa compréhension et d'autre part pour le transfert vers le monde de l'aéronautique et du spatial (bio-inspiration, voire bio-mimétisme). Par exemple, des études dédiées au fonctionnement de l'équilibre et auditive de l'oreille interne ont menées à la réalisation de dispositifs de contrôle vibratoire des structures.

Le groupe GEPETTO est une équipe du LAAS-CNRS spécialisée dans l'étude des mouvements anthropomorphes, et possède une grande expérience sur l'étude du mouvement humain et la génération de mouvements des robots humanoïdes. Basé à Toulouse, le groupe GEPETTO s'occupe des robots HRP-2 et Pyrene qui sont les robots humanoïdes parmi les plus performants au monde.

ExoKid 'project

Patient-exoskeleton interaction in the context of cerebral palsy in children

Thesis supervisors: G. MICHON (ISAE-SUPAERO) and B. WATIER (LAAS-CNRS)

Contact: guilhem.michon@isae-supaero.fr and bruno.watier@laas.fr

Scientific field: Mechanics of life and Robotics

Keywords: exoskeleton, biomechanics, robotics

Subject of the thesis:

Cerebral palsy has a prevalence at birth of one child out of 500 that is about 1500 new cases per year in France. Generally, cerebral palsy is linked to prematurity, which causes brain dysfunction. The study we are proposing here focuses on the locomotion of these children. (Re)education, from an early age by taking advantage of brain plasticity, is one of the keys to successful learning. The use of robotic assistance of the exoskeleton type, has shown that it allows the child to acquire an approach similar to that of healthy walking after the learning phases.

The ultimate idea is to develop an exoskeleton prototype for anthropometry adapted to children. The target audience is young children with cerebral palsy. The diversity of pathologies, the availability of patients and ethical considerations led to the principle of two robotic systems, to achieve a concept of "robot in a robot":

1. The first robot playing the role of the child with his various handicaps,
2. The second playing the role of exoskeleton.

The purpose of the thesis will be to test the control laws and control of the exoskeleton on this pathological humanoid. The exoskeleton, developed elsewhere, will be ordered in pairs to guarantee a certain compliance. The goal will be to ensure that a mechanical system (exoskeleton) can be controlled in line with the dynamics of a child here simulated by a humanoid robot, and the lack of dangerousness of the device. The pathological walk simulation will verify that the exoskeleton adequately corrects the defects by reproducing a motor pattern close to a healthy walk. The equipment of the exoskeleton on a cerebro-injured child will only be considered in the long term after the approval of the health authorities.

As part of this thesis, the three detailed objectives that follow at the frontier of biomechanics, robotics and computer science will be studied:

- Study the dynamics of the musculoskeletal system in healthy and pathological subjects.

The muscles of the injured cerebral children are over-solicited by inadequate cerebral information and lead to combined phenomena of hypotonia and hypertonia often related to the phenomenon of spasticity. A representative sample of children should therefore study the dynamics of the "injured" walk, compared to that of a healthy person. For this, we will rely on the technical platform of motion analysis located at CREPS Toulouse, which allows a synchronized recording of three-dimensional kinematics, muscle activity by electromyography and efforts transmitted to the ground during walking. By combining the kinematic and kinetic data we will then be able, through a classical inverse dynamic process, to determine the mechanical constraints at the joints of the lower limbs.

- Walking model whose dynamics reproduce natural movements on humanoid legs.

Given the fragility of the target audience and the disparity of pathologies leading to cerebral palsy, it will be chosen to reproduce this step on a humanoid robot the size of a child. This allows to overcome the availability of patients, but especially to be able to reproduce a wide range of behaviors. It will be chosen a platform adapted to

the morphology of a child and we will use here the robot Poppy developed by INRIA. This robot will simulate the quantified walk during the first step.

- Study of the interaction of a rehabilitation exoskeleton on the dynamics of injured walking on humanoid legs.

This step, more crucial, will be to study the interaction of the humanoid robot with an exoskeleton. It will initially interfere with the exoskeleton prototype developed elsewhere, at the legs of the humanoid robot. The exoskeleton will have the vocation to correct the pathological march, to make it more natural. The difficulty lies in the double control of a robot in a robot, via a combined control in effort and position assuring the assembly a compliance able to preserve the integrity of the patient. The majority of classical exoskeletons consider that the patient's legs are totally inactive; our proposal stands out clearly and this is a major scientific breakthrough of the project.

The thesis project will be conducted in collaboration with ISAE and LAAS-CNRS (Gepetto team) and will be based in Toulouse.

One of the transversal themes of ISAE-SUPAERO concerns the study of the dynamics of the living, on the one hand for its understanding and on the other hand for the transfer to the world of aeronautics and space (bio-inspiration, even bio-mimicry). For example, studies dedicated to the functioning of the equilibrium and hearing of the inner ear led to the realization of vibratory control devices of the structures.

The group GEPETTO is a LAAS-CNRS team specialized in the study of anthropomorphic movements, and has a great experience on the study of human movement and the generation of movements of humanoid robots. Based in Toulouse, the GEPETTO group deals with the HRP-2 and Pyrene robots, which are the most successful humanoid robots in the world.