

Pendule inversé

Le modèle de pendule inversé permet t il de créer une prothèse de cheville ?

Mots-clés : Équilibre, asservissement, prothèse, pendule inversé

Commentaire :

Le principe d'équilibre debout réside dans l'action des chevilles sur le pied et de sa réaction sur le reste du corps. La réussite du maintien de l'équilibre repose donc sur les sens que le sujet a acquis lors de son apprentissage de la marche. Dans certains cas ces sens sont défaillants car les muscles ne fournissent pas la force requise afin de garder l'équilibre, on retrouve cela notamment dans les populations de personnes âgées [1] et dans d'autres le sujet ayant subi une amputation de la jambe ne peut compter que sur l'appui d'une prothèse afin de se maintenir debout.

Le cas de la prothèse me semble plus accessible dans le cadre d'un TIPE de PSI car on peut chercher à étudier comment une prothèse active doit se comporter pour faire garder l'équilibre à son utilisateur. A différencier d'une prothèse passive qui est d'abord cosmétique et n'est pas commandée la prothèse active est intelligente et permet à son utilisateur de récupérer un certain contrôle sur le membre remplacé à l'aide de capteurs et d'actionneurs.

Dans le cas d'une prothèse transtibiale c'est à dire qui substitue la jambe depuis le genou, l'utilisateur doit pouvoir garder une stabilité posturale autrement dit un équilibre. Pour cela ont été créées des prothèses passive consistant à remplacer la cheville par une rotule, mais il existe de la même manière des prothèses transtibiales active qui doivent réguler la posture de l'utilisateur à partir des données de pressions de la voûte plantaire artificielle.

Le principe de l'équilibre réside dans la dualité entre le centre de masse du corps et le centre de pression sur lequel s'applique la résultante des forces de réaction du sol. Pour garder l'équilibre on bouge le centre de pression en fonction de la position du centre de masse [2].

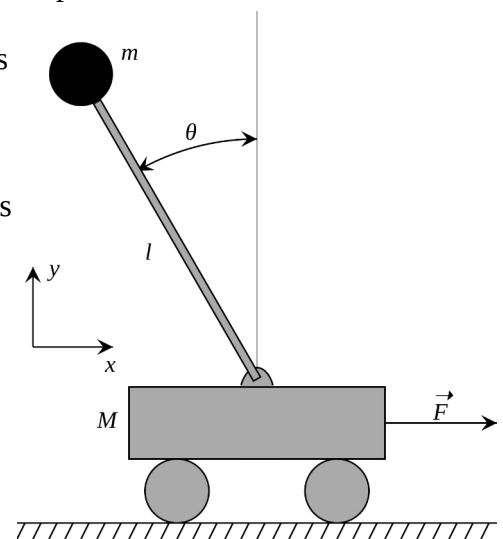
Un des modèle envisagé pour représenter la jambe et son équilibre dans le plan sagittal (plan qui sépare la gauche du corps de la droite du corps) est le pendule inversé, on définit le centre de masse comme la masse du pendule et le centre de pression comme le pivot du pendule, ainsi en modifiant la pression exercée par le pied sur le sol on peut bouger le pivot du pendule et tenter de maintenir à la verticale la masse (voir figure ci-contre).

Ce modèle à déjà été validé cinématiquement mais ne reste pas satisfaisant cinétiquement [3], mais on peut tout de même se demander si basé sur ce modèle on peut parvenir à un asservissement de la cheville artificielle d'une prothèse transtibiale permettant la station debout à son utilisateur ou plus simplement si le modèle de pendule inversé est suffisant pour être appliqué dans la création d'une prothèse de cheville ?

Une première idée serait simplement de bouger la base à une vitesse proportionnelle à l'angle de décalage afin de réguler la position du pendule :

$$v = \theta \times k$$

Où k est un coefficient.



Une première expérience consisterait alors à valider cet asservissement et à l'améliorer par la suite. Réaliser une simulation pourrait aussi s'avérer utile, j'ai aussi réalisé un programme python pour pouvoir manipuler un tel pendule mais mon résultat n'est pas totalement satisfaisant. Une étude de la dynamique du pendule inversé est aussi nécessaire pour la suite.

Bibliographie :

- [1] : Thomas Cattagni, Gil Scaglioni, Christophe Cornu, Gilles Berrut, Alain Martin, 2015. Gériatrie et Psychologie Neuropsychiatrie du Vieillessement Volume 13 Numéro 4. Jhon Libbey Eurotext, pages 363-380.
- [2] : Thierry Paillard, 2016. Postures et équilibrations humaines. De Boeck supérieur, pages 11,12,
- [3] : David F Rusaw, Simon Ramstrand, Validation of the Inverted Pendulum Model in standing for transtibial prosthesis users 2015. PMID :26472063, Pubmed.gov.