

Le sport pour tous.

Rendre accessible la pratique d'une activité sportive à tous et en particulier aux personnes à mobilité réduite est un enjeu majeur de santé et d'insertion sociale. Si de nombreux progrès ont été réalisés il reste beaucoup à faire. Grâce à l'électrostimulation musculaire cet objectif deviendrait plus facilement atteignable.

Ce procédé de stimulation des muscles par l'émission d'ondes électriques modulées permet de réaliser un mouvement précis sans l'intervention du système nerveux. Rendre son application, par exemple dans le cyclisme facile et autonome participera indéniablement à rendre la pratique du vélo accessible aux personnes atteintes d'un handicap moteur.

Positionnement thématique (ÉTAPE 1) :

- *MATHEMATIQUES (Analyse)*
- *INFORMATIQUE (Informatique pratique)*
- *PHYSIQUE (Physique Ondulatoire)*

Mots-clés (ÉTAPE 1) :

Mots-clés (en français)	Mots-clés (en anglais)
<i>Réseau de neurones</i>	<i>Artificial neural network</i>
<i>Apprentissage par renforcement</i>	<i>Reinforcement Learning</i>
<i>EMS (stimulation musculaire électrique)</i>	<i>Electric muscle stimulation</i>
<i>Méthode acteur critique</i>	<i>Actor critic method</i>
<i>Automatisme</i>	<i>Automatism</i>

Bibliographie commentée

La stimulation musculaire électrique (EMS) est un procédé technique consistant en l'émission d'impulsions électriques contrôlées vers les muscles du patient pour déclencher des contractions musculaires bien précises et déclencher un mouvement. Les impulsions sont générées par un appareil externe et délivrées par des électrodes collées sur la peau du patient à proximité des muscles visés. Ces impulsions ont pour but d'imiter les impulsions nerveuses provoquant la contraction naturelle des muscles, ce qui est très profitable lorsque le patient est atteint d'un handicap moteur rendant la transmission naturelle impossible. Cette technologie est mise en

avant en 1983 lorsque Nan Davis, étudiant paraplégique de l'université de Wright State 'marche' seul pour aller récupérer son diplôme de fin d'étude grâce à un système FES, histoire qui a inspiré la réalisation d'un film sur le sujet.[6]

L'une des applications les plus importantes de cette technologie est le FES Bike. Le principe est simple ; simuler un mouvement de pédalier à l'aide d'impulsions électriques émises par un système central d'impulsion placé sur le vélo et d'électrodes placées sur le corps du patient [5]. Cette application particulière est le cœur de ce sujet de TIPE. Le FES Bike a connu de nombreux progrès ces dernières années et a sûrement permis de grandes avancées pour une meilleure réintégration des personnes à mobilité réduite dans la vie sociale. Par ailleurs, son utilisation s'est étendue au monde du sport à haut niveau, venant créer de nouvelles perspectives. En effet, en 2016, Vence Bergeron (chercheur à l'ENS Lyon) et son équipe ont mis au point un vélo de course dont le fonctionnement repose sur l'électrostimulation qui a permis à l'équipe de chercheurs de participer au cybathlon de 2016, une course de vélo pour personnes atteintes d'un handicap moteur.[1]

Ces progrès marquent clairement l'importance de cette technologie. Cependant, de nombreuses questions se posent ; est-elle vraiment viable dans la vie de tous les jours ? Comment la rendre utilisable au grand public ? Ces questions constituent des défis auxquels devra répondre le FES Bike. En effet, malgré les grandes réussites de ce projet, il est indéniable que le FES Bike reste très peu utilisable de tous de façon quotidienne et autonome à cause de la complexité du calibrage de la politique de stimulation propre à chaque patient, mais aussi à chaque situation. [3]

Une solution proposée est l'utilisation de l'apprentissage par renforcement et des réseaux de neurones pour pallier ce problème. L'apprentissage par renforcement est une méthode d'automatisation d'agents, initiée d'abord par Richard Bellman en 1957, puis par Chris Watkins en 1989, permettant dans notre situation au système de contrôle des impulsions d'apprendre en temps réel et d'adapter les modèles d'impulsions à l'environnement et à l'utilisateur pour les rendre optimales. Cela permet à n'importe quelle personne d'utiliser le FES Bike dans n'importe quelle situation de manière autonome, sans calibrage préalable. La méthode mise en avant dans ce sujet est la méthode acteur critique.[4][7]

Problématique retenue

Mettre en évidence en quoi la FES, associée à des méthodes d'apprentissage par renforcement, peut permettre de rendre accessible la pratique d'une activité sportive quotidienne et autonome aux personnes atteintes d'un handicap moteur : étude particulière du FES Bike.

Objectifs du TIPE du candidat

- 1) Je vais d'abord expliquer brièvement le fonctionnement du FES bike.

- 2) Par la suite, je vais mener une étude théorique des méthodes d'apprentissage par renforcement et mettre en évidence leur importance.
- 3) Je vais proposer un code python d'apprentissage par renforcement, se basant sur la méthode acteur critique, pour permettre de rendre un système complexe autonome ; ici le FES bike.
- 4) Je vais étudier les résultats obtenus grâce au programme et les discuter.

Références bibliographiques (ÉTAPE 1)

- [1] CNRS : CIRCLES, un vélo à électrostimulation pour tétraplégiques | INVENTIONS, la saga continue : <https://www.youtube.com/watch?v=uzvLZWmK6HE>
- [2] NAT WANNAWAS : Neuromechanics-based Deep Reinforcement Learning of Neurostimulation Control in FES cycling : <https://www.semanticscholar.org/reader/3f8289c0ad604d586b1e8c6b66177858216143b7>
- [3] TIAGO COELHO-MAGALHÃES : A Novel Functional Electrical Stimulation-Induced Cycling Controller Using Reinforcement Learning to Optimize Online Muscle Activation Pattern : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9741342/#app1-sensors-22-09126>
- [4] L42PROJECT : Apprentissage par renforcement : https://www.youtube.com/playlist?list=PLALfJegMRGp3_H_eiOoxqkCEKnSsAf9cg
- [5] CYBATHLON ZURICH : Functional Electrical Stimulation Bike Race : <https://cybathlon.ethz.ch/en/event/disciplines/fes?id=51>
- [6] THE CHRISTOPHER & DANA REEVE FOUNDATION : Functional Electrical Stimulation : <https://www.christopherreeve.org/todays-care/living-with-paralysis/rehabilitation/functional-electrical-stimulation/>
- [7] NIMISH SANGHI : Deep Reinforcement Learning with Python : [file:///C:/Users/mouss/AppData/Local/Microsoft/Windows/INetCache/IE/1MHJRQ4T/Sanghi_N._Deep_Reinforcement_Learning_with_Python...2021\[1\].pdf](file:///C:/Users/mouss/AppData/Local/Microsoft/Windows/INetCache/IE/1MHJRQ4T/Sanghi_N._Deep_Reinforcement_Learning_with_Python...2021[1].pdf)