

Proposition de sujet de stage (Master 2 ou 3A Ingénieur)

**Titre :** Simulation d'un réseau de neurones spinal couplé à un modèle biomécanique de bras en vue d'améliorer le contrôle des neuroprothèses.

**Structure d'accueil :** Ce stage s'effectuera à l'INICIA (Institut des Neurosciences Cognitive et Intégrative d'Aquitaine) au sein de l'équipe HYBRID ( <https://www.bordeaux-neurocampus.fr/team/hybrid-sensorimotor-performance/>)

**Contexte :** Nous avons développé une modélisation du fonctionnement des réseaux sensorimoteurs de la moelle épinière et des commandes descendantes (sous forme de « step commands »). Ces « step commands » consistent en deux étapes : 1°) préparation des réseaux médullaires (SET) et 2°) lancement du mouvement (GO). Les commandes SET permettent de régler la forces des synapses des réseaux médullaires ainsi que le niveau d'activité des neurones (sans toutefois produire de mouvement). Les commandes GO activent certains interneurons propriospinaux ainsi que divers interneurons (Renshaw, Ia, Ib) et lancent le mouvement.

Le modèle apprend par lui-même à contrôler un bras humain (modélisé) pour produire des flexions du coude de diverses amplitudes dans une gamme de vitesses prédéfinie. Il apprend à la manière des enfants : par essais erreurs. Il faut bien comprendre que le contrôle de muscles n'a rien d'évident de par leurs propriétés complexes (élasticité, viscosité et amortissement). Mais ce sont précisément ces propriétés que les centres nerveux utilisent (en contrôlant les boucles sensorimotrices) pour produire des mouvements harmonieux répondant au minimum jerk.

Cette modélisation fonctionne bien et permet de trouver les commandes descendantes produisant un mouvement donné. L'ensemble de ces mouvements répond aux critères demandés (minimum jerk, pas de co-activation pendant la phase de préparation etc.).

Le but ultime de ces modélisations est d'extraire les modes de contrôle biologique pour en faire des neuro-contrôleurs utilisés pour piloter un bras robotique (ou une prothèse) utilisant des actionneurs ayant les propriétés des muscles (élasticité, viscosité et amortisseur). Nous pensons qu'une telle prothèse serait plus à même de produire des mouvements biologiquement plausibles.

Cependant pour l'instant le modèle fonctionne sans gravité ( $g=0$ ), car nous ne voulions pas que le freinage en fin de mouvement soit produit par la gravité mais bien contrôlé par la commande nerveuse du réseau de neurones. De plus, dans les commandes Gamma contrôlant la sensibilité des fuseaux neuromusculaires, nous n'avons modélisé que des Gamma statiques, les Gamma dynamiques étant absents.

**Objectifs spécifiques :**

- 1) Le premier but du stage est d'introduire des commandes **gamma dynamiques** au code actuel dans le but d'observer les conséquences de ces commandes sur le répertoire comportemental.
- 2) Le deuxième but du stage est d'introduire la contrainte gravitaire dans le modèle et de comparer les commandes nécessaires à la flexion du coude avec celles utilisées dans les mouvements d'extension.

**Bibliographie :**

**Cattaert D, Guémann M, Chung B, Oudeyer P-Y, Edwards D, de Ruyg A** (2022) Behavioral exploration of musculoskeletal systems integrating spinal regulations for natural and artificial controls. *International Society of Electrophysiology and Kinesiology*, June 22-25, Québec City, Canada.

**Raphael G, Tsianos GA, and Loeb GE.** Spinal-like regulator facilitates control of a two-degree-of-freedom wrist. *J Neurosci* 30: 9431-9444, 2010.

**Flash T, and Hogan N.** The coordination of arm movements: an experimentally confirmed mathematical model. *J Neurosci* 5: 1688-1703, 1985.

**Contact :** Adresser CV et lettre de motivation par courriel à [florent.paclet@u-bordeaux.fr](mailto:florent.paclet@u-bordeaux.fr) et [daniel.cattaert@u-bordeaux.fr](mailto:daniel.cattaert@u-bordeaux.fr)

**Début du stage :** entre Janvier et Mars 2024

**Durée :** 4 à 6 mois

**Gratification** selon les mois en présence (conventionné) :

	Mois	Année	Nombre de jours de présence	Nombre d'heures	Plafond horaire	Gratification mensuelle
1er mois	Février	2024	21	147	27,00€	595,35€
2e mois	Mars	2024	21	147	27,00€	595,35€
3e mois	Avril	2024	21	147	27,00€	595,35€
4e mois	Mai	2024	19	133	27,00€	538,65€
5e mois	Juin	2024	20	140	27,00€	567,00€
6e mois	Juillet	2024	23	161	27,00€	652,05€