

Nerf fantôme

Comme la plupart des systèmes multiphysiques, une neuroprothèse (dispositif interagissant avec le système nerveux pour restaurer une fonction défaillante – une recherche de ce mot clef sur le web donne une bonne idée de ce dont il peut s'agir) est un système bouclé. On sait faire aujourd'hui des neuroprothèses capables de commander un muscle en stimulant les nerfs afférents à ce muscle. Cependant, dans l'idéal, une neuroprothèse devrait exploiter des influx nerveux comme signaux de commande et/ou de rétroaction. Or, ça n'est que très partiellement le cas aujourd'hui car le recueil et l'analyse des signaux électriques associés à l'influx nerveux sont des tâches actuellement mal maîtrisées pour deux raisons principales :

- la perception des signaux produits par une unique fibre nerveuse demande, à une distance de l'ordre du millimètre, d'être capable de détecter des niveaux plus faibles que le bruit produit à l'interface entre le métal de l'électrode et le milieu physiologique ;
- au niveau d'un nerf périphérique, la densité de fibres nerveuses est de l'ordre de la dizaine de milliers de fibres (axones) par millimètre carré de section du nerf ; le signal mesuré par une électrode de recueil placée sur un nerf, même petit, représente une image de l'activité de ces milliers de fibres nerveuses.

La levée du premier obstacle relève de la science des matériaux. Celle du second relève du traitement du signal. Afin de valider des algorithmes de traitement du signal que nous avons développés, sans devoir attendre que les spécialistes des matériaux aient résolu le problème du niveau de bruit de l'interface vivant-artificiel, nous avons décidé de construire un nerf fantôme.

Un nerf fantôme est un dispositif physique, dont les caractéristiques physiques sont proches de celles du milieu physiologique, qui mime les phénomènes électriques produits lors de la propagation d'un influx nerveux le long d'un axone.

Les axones auxquels nous nous intéressons sont les axones myélinisés (Cf. le web : axone myélinisé ; conduction saltatoire ; potentiel d'action). Physiquement, l'axone peut être représenté par une gaine isolante « percée » à intervalles réguliers (0,5mm à 1,2mm suivant le type d'axone considéré). Ces ouvertures sont les « nœuds de Ranvier ». Ils sont quasi ponctuels (quelques dizaines de microns) et se comportent comme des sources de courant délivrant des courants (entrant ou sortant) de l'ordre du nano-ampère. Les axones peuvent être très long (de l'ordre du mètre pour un nerf allant de la base de colonne vertébrale au pied, par exemple). Sur une dizaine de centimètres d'un axone, on peut compter entre 80 et 200 nœuds de Ranvier.

Le nerf fantôme que nous voulons réaliser aura des dimensions proches de celles de l'axone réel. En revanche, les niveaux de courant seront environ 20 000 fois plus élevées que les courants réels, ce qui nous permettra d'obtenir des niveaux de tension beaucoup plus mesurables.

Du point de vue temporel, le signal sera échantillonné avec une période de 2,5 μ s. Et l'on souhaite pouvoir simuler le fonctionnement de l'axone pendant une demi seconde (pour des simulations plus longues, on envisagera une répétition périodique).

L'objectif du projet proposé est de développer la partie électronique des générateurs de courant. Il devra disposer de 200 sorties (extensible à 500). Chaque sortie pouvant fournir de -200 μ A à +200 μ A avec une résolution de 12 bits (100nA), échantillonné à 400kHz. La sortie devra pouvoir passer de son courant maximum positif à son courant maximum négatif en 50 μ s. Afin de satisfaire aux contraintes (fortes) sur les débits de données nécessaires, la structure devra être modulaire et hiérarchisée. Les différents modules devront pouvoir être réalisés chez un sous-traitant.