

# A l'écoute du corps : émergence d'une nage cohérente induite par des réflexes sensoriels

Herault<sup>1</sup>, Boyer<sup>1</sup>, Thandiackal<sup>2</sup>, Melo<sup>2</sup> & Ijspeert<sup>2</sup>

<sup>1</sup> IMT Atlantique, LS2N, UBL, 44307 Nantes, France

<sup>2</sup> Biorobotics Laboratory EPFL, Lausanne, Switzerland

[johann.herault@imt-atlantique.fr](mailto:johann.herault@imt-atlantique.fr)

Les anguilles, lamproies ou murènes utilisent la nage dite anguilliforme pour évoluer dans des milieux aquatiques contraints. Elles émettent une onde de flexion de la tête vers la queue, accélérant ainsi le fluide vers l'aval. La propagation de l'onde est assurée par la synchronisation des muscles le long du corps dont la coordination repose sur les couplages entre le système nerveux central (cerveaux, moelle épinière) et périphérique (nerfs et ganglions).

Si le cerveau joue le rôle de grand chef d'orchestre, il existe néanmoins des mécanismes alternatifs permettant la coordination des membres. Des expériences *in-vivo* [1] ont montré que la moelle épinière pouvait assurer à elle seule ce rôle. Des réseaux de neurones (réseau locomoteur spinal) situés dans les vertèbres peuvent imprimer une activité rythmique motrice de manière autonome. Ces réseaux sont par ailleurs sensibles aux stimuli externes (pression, température..), bien que leur influence reste encore très mal comprise.

Le laboratoire de Biorobotique à l'EPFL a conçu un robot anguille (Amphibot III) basé sur le principe de la nage anguilliforme. Cette plateforme expérimentale exceptionnelle permet de tester les mécanismes de régulation de la locomotion en implémentant des lois de rétro-action sensorielles [2]. L'idée est de contrôler la locomotion au niveau le plus bas : chaque vertèbre est entraînée par un actionneur, qui est piloté par un réseau locomoteur spinal situé dans cette vertèbre. Ce réseau n'est connecté qu'à un capteur de pression latéral situé sur la vertèbre : les réseaux ne communiquent que grâce au fluide. Ainsi, l'information n'est plus transférée via la moelle épinière, mais grâce au retour sensoriel. On peut alors tester l'influence des réflexes sensoriels sur la locomotion.

Les résultats sont surprenants : émergence d'une synchronisation des vertèbres indépendamment de la phase ou de la fréquence initiales et avec des lésions de vertèbres. Le tout sans communication explicite et directe entre les vertèbres : le retour de pression (les réflexes) suffit à coordonner les différents actionneurs/vertèbres.

Dans cet exposé, j'expliquerai comment l'information est transmise entre les vertèbres via le transport de quantité de mouvement le long du corps du robot. Je montrerai que les conditions de synchronisation sont imposées par les propriétés mécaniques du corps grâce au modèle de Kuramoto. Cet élément révèle que le corps joue un rôle actif prépondérant dans la régulation de la locomotion (stabilité, coordination) et que la morphologie du corps incarne une certaine forme d'intelligence.

## Références

1. GRILLNER, S., (2006). Biological pattern generation : the cellular and computational logic of networks in motion. *Neuron*, 52(5), 751-766.
2. IJSPEERT, AUKE JAN, CRESPI, ALESSANDRO, RYCZKO, DIMITRI, ET AL, *From swimming to walking with a salamander robot driven by a spinal cord model* science, 2007, **315**, no 5817, p. 1416-1420