

## **Sujet de Recherche (PostDoc)** **Les topos de l'action anthropomorphe.**

Ce sujet de recherche porte sur l'étude des géométries qui sont à l'œuvre dans le cerveau, en harmonie avec l'ensemble du système nerveux, et l'ensemble du corps, afin de mieux gérer la complexité des interactions avec le monde, complexité due au monde aussi bien qu'à l'organisme vivant et à ses composantes. L'étude fait écho au travail du roboticien. En effet, un problème essentiel en robotique est celui d'exprimer les actions réalisées dans le monde physique en termes de commandes motrices pour la machine. Le robot commande des modifications de ses propres configurations dans un espace, qui correspond à ses propres paramètres internes, à des algorithmes choisis pour lui ou élaborés au fur et à mesure en tenant compte de ses propres contraintes physiques.

A titre d'exemple, dans le domaine de la vision, il a été montré que le cerveau réussit à extraire une forme de couleur des surfaces invariante par rapport aux éclairages. La maximisation d'information qui en résulte repose sur la création d'un espace des couleurs géométrisé, c'est-à-dire admettant des transformations composables et réversibles d'un type particulier. Chez l'homme le groupe de ces transformations des couleurs est le groupe affine en dimension trois. Le même groupe affine intervient également, de façon cachée, dans la préparation et l'exécution des mouvements de la main qui dessine ou du centre de gravité du corps qui marche.

Une nouvelle idée proposée par Alain Berthoz et Daniel Bennequin est que le cerveau fait appel à un type de géométries plus général que celui des exemples qui précèdent, pour préparer, exécuter, contrôler et adapter les mouvements du corps en accord avec des déplacements dans le monde. La nouveauté du point de vue du modèle mathématique, est le remplacement des ensembles usuels par des éléments dans un topos, c'est-à-dire des diagrammes d'ensembles, sur un canevas donné (éventuellement modulable aussi). L'idée est que non-seulement la représentation mentale des objets ou des mouvements physiques est conditionnée (et augmentée) par des géométries, comme dans les exemples qui précèdent, mais qu'il en va de même pour la représentation mentale des postures et des gestes liés aux segments du corps agissant. Il ne s'agit pas là simplement de prendre en compte les mouvements du corps qui engendrent les déplacements dans l'espace et les interactions du corps avec des objets. Il s'agit de décrire et comprendre un diagramme d'espaces virtuels et de transformations virtuelles de ces espaces, qui définissent le schéma corporel et les mouvements virtuels du corps, dans des géométries convenables. Ces géométries offrent une manière de s'informer sur le monde et de préparer les mouvements. Cet ensemble de topos géométriques doit être considéré lui-même comme une géométrie du mouvement ou de l'implication du corps dans les mouvements.

Dans ce projet, nous proposons :

- 1) de chercher dans quelle mesure les robots qui existent ont créé d'eux-mêmes des géométries, pour réaliser et adapter leurs solutions aux problèmes de sélection des actions, spontanément ou avec l'aide de leurs constructeurs, de comparer à des mouvements humains ;
- 2) de chercher si des géométries dans ce sens pourraient être mises en œuvre afin d'améliorer le fonctionnement des algorithmes ou leurs adaptations. Nous proposons de commencer cette tâche sur des exemples de réalisations et de programmations du robot HRP2.

La méthode suivie consistera à examiner les solutions apportées par les roboticiens et par le robot (HRP2) à des problèmes inverses concrets, par exemple a) toucher ou attraper un objet rigide en devant faire un déplacement des pieds ; b) marcher en évitant un obstacle. Dans ces exemples les solutions aux tâches séparées seront comparées aux tâches composées. Si possible, nous comparerons également ces actions avec celles qu'effectuent des humains pour les mêmes tâches. 1) Déchiffrement des plans de commande, examen des données sur les fonctions de coût ; 2) identification des caractéristiques cinématiques des mouvements du corps et des articulations, identification des préférences dans la conjugaison des tâches ; 3) mesures de tensions, de forces

et de couples mis en jeu ; 4) étude des temps des mouvements en relation avec les trajectoires et avec les transformations du corps, en particulier chez les humains, et comparaison avec le robot, car une des fonctions connues des géométries est d'adapter les vitesses d'exécution aux mouvements géométriques.

La recherche sera conduite au LAAS-CNRS à Toulouse dans l'équipe Gepetto (J.P. Laumond). Elle se déroulera en partenariat avec le Collège de France (A. Berthoz) et l'université de Paris 7 (D. Bennequin).

Le profil recherché est celui d'un mathématicien prêt à conduire une recherche pluridisciplinaire en robotique et neuroscience.

**Contacts** : alain.berthoz@college-de-france.fr, bennequin@math.univ-paris-diderot.fr, jpl@laas.fr

### **Bibliographie**

- D. Bennequin, A. Berthoz, *Several Geometries for Movement Generation*, in *Geometric and Numerical Foundations of Movements*, J.P. Laumond, N. Mansard, J.B. Lasserre Eds, STAR Series 117, Springer, 2017.
- Berthoz, *Le sens du mouvement*, Odile Jacob, 1997.
- Berthoz, *La simplicité*, Odile Jacob, 2009.
- J.P. Laumond, *Simplicité et Robotique : vers un génie de l'action incorporée*, in *Complexité-Simplicité*, J.L. Petit, A. Berthoz Eds, Collection "Les Conférences du Collège de France", 2014.
- J.P. Laumond, N. Mansard, J.B. Lasserre, *Optimization as Motion Selection Principle in Robot Action*, Communications of the ACM, Vol. 58, N. 5, 2015.