



## **Les caractéristiques temporelles et l'invariance du mouvement résultent de plusieurs géométries**

**Alain Berthoz**

---



### **Édition électronique**

URL : <https://journals.openedition.org/lettre-cdf/344>

DOI : [10.4000/lettre-cdf.344](https://doi.org/10.4000/lettre-cdf.344)

ISBN : 978-2-7226-0094-2

ISSN : 2109-9219

### **Éditeur**

Collège de France

### **Édition imprimée**

Date de publication : 1 décembre 2009

Pagination : 10

ISSN : 1628-2329

### **Référence électronique**

Alain Berthoz, « Les caractéristiques temporelles et l'invariance du mouvement résultent de plusieurs géométries », *La lettre du Collège de France* [En ligne], 27 | décembre 2009, mis en ligne le 24 juin 2010, consulté le 17 août 2022. URL : <http://journals.openedition.org/lettre-cdf/344> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/lettre-cdf.344>

---

## PHYSIOLOGIE DE LA PERCEPTION ET DE L'ACTION



Pr Alain Berthoz

### Les caractéristiques temporelles et l'invariance du mouvement résultent de plusieurs géométries

Le mouvement humain possède plusieurs propriétés remarquables : la durée d'un mouvement est quasiment indépendante de son amplitude (le principe d'isochronie), la vitesse instantanée dépend de la courbure du mouvement (propriété dont rend compte la loi de la puissance deux-tiers) et les mouvements complexes sont composés à partir d'éléments plus simples (principe de la composition). À ce jour, aucune théorie n'a encore réussi à rendre compte de toutes ces propriétés et la nature des primitives sous-jacentes du mouvement reste inconnue. Reste également inconnue la manière dont le cerveau choisit la durée d'un mouvement. Ici, pour rendre compte des caractéristiques temporelles du mouvement, nous présentons une nouvelle théorie fondée sur l'invariance du mouvement par rapport à des transformations géométriques. Nous proposons que la durée du mouvement et le principe de composition résultent de la coopération entre les géométries euclidienne, équi-affine et complètement affine. Nous considérons plusieurs types de transformations. Les transformations euclidiennes préservent les longueurs et les angles ; les transformations affines, moins contraignantes, préservent le parallélisme entre les droites, tandis que les transformations équi-affines préservent à la fois le parallélisme et les aires. Chaque géométrie possède une mesure canonique de distance le long de la courbe, un paramètre invariant de longueur d'arc. Les caractéristiques temporelles du mouvement sont prescrites de manière continue par le cerveau en combinant différents « temps géométriques », chaque « temps » étant supposé proportionnel à la mesure de distance de la géométrie correspondante.

Nous suggérons que pour les mouvements continus, la durée effective du mouvement reflète une mixture tensorielle particulière de ces paramètres canoniques. Près des singularités géométriques, des combinaisons

spécifiques sont sélectionnées pour compenser l'expansion ou la compression du temps dans les paramètres individuels. La théorie a été formulée mathématiquement en utilisant la méthode du repère mobile de Cartan : les mouvements sont construits en utilisant une série de repères (de Cartan) instantanés. Les prédictions de la théorie sont compatibles avec les observations expérimentales portant sur le dessin et la marche humains. Elles ont été testées sur trois ensembles de données : le dessin de courbes elliptiques, la locomotion et le dessin de formes complexes (feuilles de trèfle, lemniscates et limaçons). Nous avons observé que la géométrie équi-affine jouait un rôle dominant dans ces tâches et qu'elle était complétée par la géométrie affine dans le dessin et par la géométrie euclidienne dans la locomotion. La théorie proposée a des implications d'une portée considérable par rapport aux représentations neurales du mouvement, à la fois pour la production et la perception de l'action. Nous discutons plus en détail des implications de cette théorie : l'origine de la dominance de la géométrie équi-affine, la possibilité que le cerveau utilise différentes mixtures de ces géométries pour encoder la durée et la vitesse du mouvement et l'ontogénie de telles représentations.

L'idée que le cerveau travaille dans des géométries non euclidiennes avait été proposée pour la vision mais ici on montre les liens fondamentaux entre percevoir et agir. De plus on montre que des lois générales simplificatrices sous-tendent des comportements aussi différents que dessiner avec le doigt et déambuler dans l'espace. Ceci peut aussi avoir des implications aussi bien en robotique que dans la compréhension de pathologies des systèmes sensorimoteurs. ■



séance de prise de vues pour l'analyse du mouvement, Collège de France, UMR CNRS/Collège de France

Référence :

Bennequin D., Fuchs R., Berthoz A., Flash T. « Movement Timing and Invariance Arise from Several Geometries », *PLoS Comput Biol*, 5(7): e1000426, 2009.