

ANALYSE DE LA COORDINATION DE MOUVEMENTS CYCLIQUES ET SIMULTANES DES MEMBRES INFÉRIEURS ET SUPÉRIEURS

Brice LAURIOT & Didier DELIGNIERES

Université de Montpellier I. Faculté des sciences et du sport

Introduction

Cette étude s'inscrit dans un programme de recherche qui vise à comprendre les mécanismes de l'apprentissage. Lorsqu'un sujet est confronté pour la première fois à une tâche, il va spontanément adopter un certain mode de coordination. Le but est de distinguer et de prédire quels modes de coordination le sujet va adopter. Notre approche s'appuie sur les théories dynamiques, qui permettent d'étudier l'évolution et la stabilité de coordinations complexes.

Une part importante des études sur les coordinations de mouvements cycliques ont été menées autour de tâches bimanuelles (Newell, 1986, Kelso & Schoner, 1988 et Zanone & Kelso, 1992). Ce qu'on attend de l'activité simultanée des membres inférieurs et des membres supérieurs, c'est de rendre compte d'une activité motrice globale et complexe, comme on peut en rencontrer dans les activités sportives. Muzii, Lamm Warburg et Gentile (1984) et Whitall et Getchell (1996) se sont intéressés aux modes de coordination apparaissant entre la marche et la frappe de mains. Ils observent en majorité des décalages de phases de 180° et 90° entre les frappes et la marche. Les auteurs pensent que le mode de coordination "synchronisation absolue" est un attracteur. Si à un moment donné la marche et les frappes se synchronisent, la coordination adoptée au début est abandonnée pour ce mode (effet magnétique de Von Holst, 1973).

Dans les deux études décrites ci-dessus, la coordination est analysée en terme de décalage de phases. Mais on peut aussi se baser sur la nature des rapports de fréquence, autrement dit le type de couplage. On peut donc émettre l'hypothèse que dans une tâche multisegmentaire, la majorité des sujets va se caler sur des rapports de fréquence simples (1:1; 1:2) entre membres supérieurs et membres inférieurs (Peper, Beek & Van Wieringen, 1991) et qu'ils vont conserver ce rapport quelle que soit la vitesse de marche. De plus nous pensons que la vitesse de marche va avoir une influence sur la stabilité des rapports de fréquence. C'est-à-dire que plus la vitesse de marche sera grande, plus les rapports de fréquence seront stables.

Méthode

18 sujets (4 femmes, 14 hommes, âge moyen: 24 ans, écart type: 3) ont participé à cette expérience. La tâche consistait à tourner une manivelle et marcher à différentes vitesses sur un tapis roulant motorisé. Elle s'est déroulée en trois temps: a) le sujet tournait la manivelle de manière spontanée, b) le sujet marchait sur le tapis roulant à la vitesse de 3,5 km/h, c) le sujet marchait et tournait la manivelle en même temps pendant deux minutes, alors que la vitesse augmentait de 1 km/h toutes les trente secondes.

Les mesures indépendantes a) et b) ainsi que les quatre vitesses de marches testées (3,5 km/h; 4,5 km/h; 5,5 km/h; 6,5 km/h) représentent les variables indépendantes. Le mouvement périodique de la hanche et la rotation de la manivelle représentent les deux principaux

oscillateurs de cette tâche. On mesure les fréquences des oscillations et on calcule les écarts-types.

Résultats

Le traitement des moyennes débouche sur des tendances de groupes. n faut donc relativiser les résultats par rapport à la spécificité de chacun des sujets. L'analyse de variance à mesures répétées (Tableau 1) ne montre pas d'effet de la vitesse sur la stabilité des rapports de fréquence et sur les fréquences de rotations de manivelle. La fréquence de marche augmente de manière prévisible, c'est à dire linéairement. Fait plus inattendu, la stabilité de la fréquence de marche augmente linéairement avec la vitesse alors que l'on se rapproche de la transition marche course.

Tableau 1 *Résultats des analyses de variance*

	ddl	F	p	moyenne				
				ind	3.5 km/h	4.5 km/h	5.5 km/h	6.5 km/h
marche (Hz)	F(4,68)	113.921	0.000*	0.897	0.907	0.965	1.047	1.131
sd marche	F(4,68)	9.793	0.000*	0.035	0.024	0.022	0.016	0.019
manivelle (Hz)	F(4,68)	0.624	0.647	1.623	1.596	1.560	1.627	1.686
sd manivelle	F(4,68)	1.440	0.230	0.041	0.049	0.047	0.056	0.059
rapport	F(4,68)	4.833	0.002*	1.831	1.767	1.629	1.561	1.503
sd rapport	F(3,51)	0.685	0.565		0.204	0.109	0.125	0.127

*différence significative pour $p < 0.05$.

Les données individuelles révèlent que 1/3 des sujets adoptent un rapport de fréquence unique du début à la fin de leur passation. C'est à dire que la fréquence de la manivelle augmente avec la fréquence de marche, c'est le mode de coordination "couplage absolu". La fréquence de la marche semble exercer une force de couplage sur la fréquence de rotation de la manivelle.

On classe les autres sujets selon deux autres modes de coordination. Le mode "couplage partiel" regroupe les sujets dont la fréquence de manivelle ne suit pas l'augmentation de la fréquence de marche, mais dont les rapports de fréquence semblent suivre les bifurcations de l'arbre de Farey (Cvitanovic, Shairman & Soderberg, 1985). L'arbre de Farey est un modèle mathématique qui permet de classer les rapports rationnels (nombre entier/nombre entier) en niveaux de complexité. Le mode "sans couplage" concerne les sujets dont l'évolution de la coordination semble imprévisible.

Discussion

L'apparente stabilité de la tâche manuelle nous préoccupe ici. Cela va dans le sens opposé des études précédentes, puisqu'il n'y aurait pas de couplage entre ces deux tâches multisegmentaires et simultanées. Pourtant les classifications de Muzii *et al.* (1984) Whitall *et al.* (1996) font apparaître un grand nombre de coordinations spontanées synchronisées. L'expérience de Muzii *et al.* (1996) montre la difficulté rencontrée par les sujets pour sortir de ce couplage. La classification que nous proposons montre en fait que la vitesse de marche affecte aussi la fréquence de manivelle de manières différentes selon les sujets. Les coordinations ne suivent pas toutes le mode couplage absolu, qui est quand même représenté par un tiers des comportements observés. De plus pour l'ensemble de ces sujets, les rapports adoptés sont de faibles ordres (plus un rapport est de faible ordre ou faible niveau de complexité plus ils est simple). On peut penser qu'il existe une relation étroite entre la force de couplage de deux oscillateurs et la simplicité du rapport (Pepper *et al.*, 1991)

Cette étude exploratoire ouvre cependant un vaste terrain d'expérimentations, notamment au niveau des autres modes de coordination observés. Un des objectifs futurs est de forcer le couplage des deux tâches, c'est-à-dire de trouver ce qui facilite la production de rapports simples et très stables. Il est aussi important d'explorer le comportement de certains sujets: par quoi le sujet est-il guidé pour produire une coordination autre que le mode couplage absolu? Le protocole de cette étude doit donc subir certaines modifications, pour apporter de plus amples informations sur les coordinations émergentes lors de la première confrontation à une tâche.

Bibliographie

- Cvitanovic, P., Shraiman, B., & Soderberg, B. (1985). Scaling laws of mode locking in circle maps. *Physica Scripta*, 32, 263-270.
- Kelso, J.A.S., & Shoner, G. (1988). Self-organization of coordinative movement patterns. *Human Movement Science*, 7, 27-46.
- Newell, K.M. (1986). Constraints on the development of coordination. In M.G. Wade and H. T.A. Whithing (Eds), *Motor Development in Children: Aspects of Coordination and control* (pp. 341-360). Dordrecht: Nijhoff.
- Muzii, R.A., Lamm Warburg, C., & Gentile, A.M. (1984). Coordination of the upper and lower extremities. *Human Movement of Science*, 3, 337-354.
- Peper, C.E., Beek, P.J., & Van Wieringen, P.C. W. (1991). Bifurcations in polyrhythmic tapping: in search of Farey principles. In: Requin, J., Stelmach G.E. (Eds), *Tutorials in motor neuroscience* (pp. 413-431) Dordrecht: Kluwer .
- Von Holst, E. (1973). *The behaviorai physiology of animals and man: the collected papers of Erich Von Holst Vol. 1* (R. Martin, Trans.). London: Mthuen. (Original work published 1937).
- Whitall, J., & Getchell, N. (1996). Mutilimb coordination patterns in simultaneous, dissimilar upper and lower limb tasks. *Human Movement Science*. 15, 129-155.
- Zanone, P.G., & Kelso, J.A.S. (1992). Evolution of Behavioral Attractors with Learning: Nonequilibrium Phase Transitions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18. 403- 421.