

L'EVOLUTION DES COORDINATIONS MOTRICES AU COURS DE L'APPRENTISSAGE: CONTINUITES ET RUPTURES

D. Delignières¹, D. Nourrit^{1,2}, T. Deschamps¹

¹ E.A. "Sport, Performance, Santé", Université Montpellier I, ² Université d'Orléans.

Mots-clés : Apprentissage, modélisation dynamique, bifurcations

Introduction

L'apprentissage moteur a été longtemps conçu comme un processus d'affinement progressif et continu. Cette idée a notamment été portée par les théories cognitivistes, et trouve sa plus claire illustration dans le modèle classique de la loi puissance. Newell (1991) critique sévèrement ces conceptions. Selon lui, l'apprentissage est essentiellement discontinu, non-linéaire. Les descriptions continues ne constituent que des artefacts, liés (1) à la simplicité des tâches expérimentales (limitées le plus souvent à un seul degré de liberté), (2) à la brièveté de l'étude et (3) à la nature strictement chronométrique des variables dépendantes utilisées pour rendre compte de la performance.

On trouve cependant peu d'expérimentations dans la littérature susceptibles de satisfaire simultanément à ces trois objections. Le but de l'expérience présentée ici était d'analyser l'évolution du comportement dans une tâche complexe (le simulateur de ski), sur un terme suffisamment long (13 semaines de pratique). Nos analyses portent sur la modélisation de la dynamique du déplacement de la plate-forme du simulateur.

Dans un travail antérieur (Delignières *et al.*, 1999), nous n'avions pas pu mettre en évidence de modification qualitative majeure au cours de quatre sessions successives de pratique : les sujets impliqués dans l'expérimentation exploitaient une fonction d'amortissement de type *van der Pol*, et ce comportement ne semblait pas altéré par la pratique. La seule évolution notable résidait en une linéarisation progressive de la fonction de raideur, caractérisée lors des premiers essais par une fonction de *Duffing* fortement non-linéaire, perdant progressivement de l'importance au fur et à mesure des sessions. Nous faisons l'hypothèse qu'avec une durée plus longue de pratique, les sujets doivent bifurquer vers un autre type de comportement, exploitant de manière plus efficace les propriétés de l'appareil.

Méthode

Cinq sujets, quatre hommes et une femme (âge moyen 29.2, écart-type 6.3) ont participé à cette expérimentation. Nous avons utilisé un simulateur Skier Edge®, modifié en mono-ski. Les sujets étaient absolument débutants dans la tâche au début de l'expérimentation. Chaque séance de travail était composée de dix essais d'une minute. Trois séances par semaine ont été réalisées, durant 13 semaines, soit en tout 39 séances de travail. La position du chariot du simulateur a été enregistrée en continu au moyen d'un potentiomètre, à une fréquence d'acquisition de 100 Hz. Les séries recueillies ont été traitées selon une adaptation de la *W-method* de Beek et Beek (1988), destinée à la construction de modèles dynamiques de mouvements rythmiques. Cette méthode se base sur l'analyse d'un cycle moyen normalisé (Mottet & Bootsma, 1999), et combine des procédures qualitatives graphiques et des procédures quantitatives pour déterminer la nature des termes à inclure dans le modèle et l'importance de leurs contributions respectives.

Résultats

La modélisation montre que les 5 sujets, dès le début de l'expérimentation ou après quelques essais "chaotiques", adoptent et exploitent de manière relativement stable un comportement d'amortissement de type *Rayleigh*. Au cours de l'expérimentation, tous les sujets transitent de

manière plus ou moins brusque vers un comportement d'amortissement de type *van der Pol* (voir figure 1). Cette transition apparaît dès la septième séance pour le sujet 2, mais pas avant la 21^{ème} pour le sujet 3. La phase de transition est parfois assez longue (voir sujets 1, 3 ou 5), et caractérisée par des comportements d'amortissement moins aisés à modéliser. La transition s'accompagne d'un accroissement brusque de la fréquence d'oscillation, passant d'une valeur de 1 Hz lors des essais la précédant, à une valeur moyenne de 1.4 Hz.

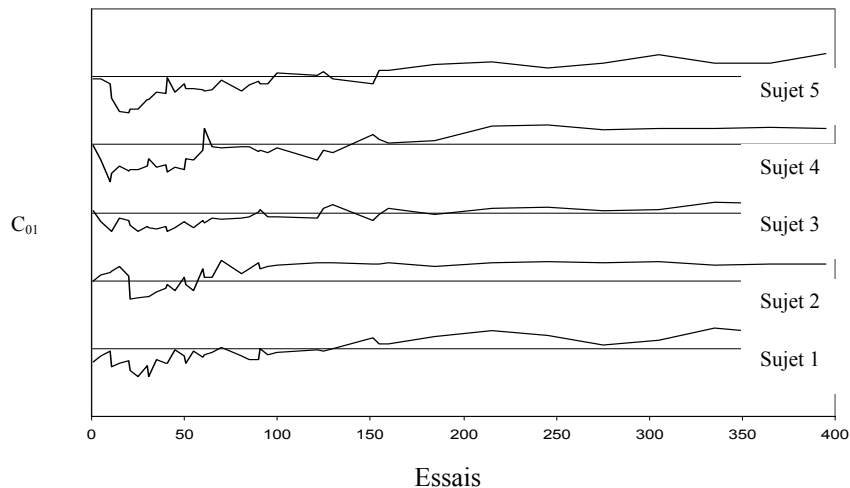


Figure 1 : Séries des coefficients d'amortissement linéaire obtenus lors de l'estimation d'un modèle de type Rayleigh. Lorsque ce coefficient est négatif, le modèle de Rayleigh est stable. Lorsqu'il est positif, les données peuvent généralement être ajustées sur un modèle de type *van der Pol*. La bifurcation apparaît donc au moment où la courbe passe des valeurs positives aux valeurs négatives.

L'évolution de la fonction de raideur est conforme à nos résultats précédents. Les premières sessions sont caractérisées par une fonction de raideur fortement non-linéaire, comprenant notamment des termes de *Duffing* de puissance 3 (négatif) et 5 (positif). La pratique induit une progressive linéarisation de cette fonction, qui semble précéder la bifurcation vers l'amortissement de type *van der Pol*.

Discussion

Cette expérimentation montre clairement que l'apprentissage moteur est un processus marqué par de profondes réorganisations qualitatives du comportement. Nos résultats permettent de distinguer deux étapes, la première correspondant à un comportement spontané, exploité et progressivement optimisé durant quelques semaines, et la seconde renvoyant à l'adoption d'un comportement expert. Le passage d'une étape à l'autre peut être conçu comme une bifurcation, au sens de la théorie des systèmes dynamique, entre deux attracteurs potentiels du système. Une analyse plus précise des essais encadrant et accompagnant la bifurcation devrait nous permettre de mieux comprendre la nature et la fonction de ce type de réorganisation du comportement au cours de l'apprentissage.

Références

- Beek, P.J. & Beek, W.J. (1988). Tools for constructing dynamical models of rhythmic movement. *Human Movement Science*, 7, 301-342.
- Delignières, D., Nourrit, D., Deschamps, T., Lauriot, B. & Caillou, N. (1999). Effects of practise and tasks constraints on stiffness and friction functions in biological movements. *Human Movement Science*, 18, 769-793.
- Mottet, D., & Bootsma, R.J. (1999). The dynamics of goal-directed rhythmical aiming. *Biological Cybernetics*, 80, 235-245.
- Newell, K.M. (1991). Motor Skill Acquisition. *Annual Review of Psychology*, 42, 213-237.