

L'EVOLUTION DU COMPORTEMENT DES SYSTEMES OSCILLANTS AVEC L'APPRENTISSAGE

Delignières, D., Nourrit, D., Deschamps, T. & Legros, A.
EA 2991 "Sport, Performance, Santé", Université Montpellier I

Le comportement moteur peut fréquemment être assimilé à un système oscillant, notamment dans le cadre des habiletés cycliques. A condition d'avoir identifié les variables pertinentes, le comportement de ce système peut alors être représenté dans l'espace des phases sous la forme d'un cycle limite. Un tel système peut être modélisé sous la forme d'une équation différentielle de second ordre, comprenant une fonction de raideur, rendant compte de l'élasticité du système, et d'une fonction d'amortissement, rendant compte à la fois des pertes d'énergie par friction et des injections d'énergie nécessaires au maintien du cycle limite.

D'une manière générale, la fonction de raideur comprend un terme linéaire, fonction de la position (c'est-à-dire de la distance à la position de repos), mais également des termes non-linéaires, suggérant des phénomènes locaux de mollissement ou à l'inverse de durcissement de la raideur. La fonction d'amortissement, outre un terme linéaire fonction de la vitesse et représentant les pertes par friction, comprend également des termes non-linéaires le plus souvent caractéristiques des oscillateurs bien connus de Rayleigh ou de van der Pol.

Un certain nombre de travaux récents ont permis de mieux comprendre dans quelles circonstances particulières telle ou telle combinaison de fonctions de raideur et d'amortissement s'avérerait pertinente. Il semble notamment que lorsque certaines contraintes pèsent sur la gestion des points de revirement, un ralentissement local de l'oscillation apparaît, modélisable par l'ajout d'un terme non-linéaire cubique négatif de Duffing ($-x^3$). C'est le cas par exemple s'il existe à ce niveau des exigences de précision spatiale, comme dans les tâches de pointage (Mottet & Bootsma, 1999, Delignières et Villard, 2001), ou des problèmes de réorganisation posturale, comme chez les débutants sur le simulateur de ski (Delignières, Nourrit & Deschamps, 2000). On observe alors fréquemment une restauration finale de la raideur en fin d'oscillation, dont peut rendre compte un terme quintique positif (x^5).

Par contre, lorsque le niveau de contrainte diminue, on observe une linéarisation de la fonction de raideur: c'est le cas lorsque la précision requise d'un mouvement de pointage est faible (Mottet & Bootsma, 1999, Delignières et Villard, 2001, Legros, 2001), ou évidemment lorsque l'apprentissage a permis au sujet de mieux gérer les points de revirement (Delignières, Nourrit, Deschamps, Lauriot & Caillou, 1999 ; Delignières, Nourrit & Deschamps, 2000).

En ce qui concerne l'amortissement, il faut savoir que la fonction de Rayleigh, caractérisée par un pic de vitesse précoce, intervenant dans la première moitié du demi-cycle, contribue également à un ralentissement relatif de l'oscillateur à l'approche du point de revirement suivant. Il est donc logique de retrouver ce type de fonction dans les tâches de pointage difficiles (Mottet et Bootsma, 1999), ou chez les débutants au simulateur de ski (Delignières, Nourrit & Deschamps, 2000).

La fonction d'amortissement de van der Pol a pour particularité de permettre le maintien simultané d'une amplitude maximale et d'une fréquence élevée (alors qu'un oscillateur de Rayleigh tend à réduire son amplitude lorsque la fréquence augmente). Il est dès lors logique d'observer ce type d'amortissement lorsque les exigences de précision dans une tâche de pointage deviennent faibles (Mottet & Bootsma, 1999), ou encore que le sujet est invité à osciller un effecteur à fréquence maximale, sans exigence de précision (Delignières & Villard, 2001; Legros, 2001). De même, c'est logiquement un oscillateur de van der Pol qui rend compte du comportement des experts sur le simulateur de ski, dès lors que les sujets parviennent à associer grande amplitude et fréquence élevée.

L'apprentissage, dans une habileté cyclique, apparaît de ce fait logiquement comme le passage d'une coordination modélisable sous la forme de l'association d'une fonction fortement non-linéaire de Duffing et d'une fonction d'amortissement de Rayleigh, vers un modèle Duffing linéaire + van Der Pol. Le challenge auquel nous sommes actuellement confronté est de caractériser la nature cette transition d'un modèle à l'autre, dans le cadre de la théorie des systèmes dynamiques non-linéaires. Nos travaux sur l'évolution de la coordination lors de l'apprentissage sur le simulateur de ski montrent la linéarisation de la fonction de raideur apparaît de manière abrupte, logiquement accompagnée d'un accroissement brusque de la fréquence d'oscillation (Delignières, Nourrit & Deschamps, 2000). Par contre, la transition de l'amortissement Rayleigh à l'amortissement van der Pol est réalisée de manière plus progressive, au terme d'une période de transition initiée à l'accroissement de la fréquence, et caractérisée par un régime bistable dans lequel le système semble exploiter en alternance, souvent d'un cycle à l'autre, les deux attracteurs.

Enfin, nos travaux montrent que la transition peut apparaître assez tardivement, lorsque la tâche s'avère difficile pour les sujets. Cette résistance des coordinations spontanées constitue un phénomène relativement récurrent dans les tâches sportives (Delignières, Nourrit, Sioud, Leroyer, Zattara & Micallef, 1998). Par contre une simplification de la tâche entraîne une transition plus rapide, parfois lors des tous premiers essais (Nourrit, 2000).

Références :

- Delignières, D., & Villard, S. (2001). *Influence des contraintes de précision et de fréquence sur les fonctions de raideur et d'amortissement dans une tâche d'oscillation manuelle*. Communication présentée aux Journées Nationales d'Etudes de la Société Française de Psychologie du Sport, Toulouse, 30-31 mars 2001.
- Delignières, D., Nourrit, D., & Deschamps, T. (2000). *L'évolution des coordinations motrices au cours de l'apprentissage: continuités et ruptures*. Communication présentée au Congrès International de la Société Française de Psychologie du Sport, Paris, 7-10 Juillet 2000.
- 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.
- Delignières, D., Nourrit, D., Sioud, R., Leroyer, P., Zattara, M. & Micallef, J.P. (1998). Preferred coordination modes in the first steps of the learning of a complex gymnastics skill. *Human Movement Science, 17*, 221-241.
- Legros, A. (2001). *Effets de la fréquence du la dynamique d'un mouvement pendulaire du bras*. Mémoire de DEA STAPS, Université Montpellier I.
- Mottet, D., & Bootsma, R.J. (1999). The dynamics of goal-directed rhythmical aiming. *Biological Cybernetics, 80*, 235-245.
- Nourrit, D. (2000). *L'évolution des coordinations dans l'acquisition des habiletés complexes*. Thèse de doctorat S.T.A.P.S., Université Montpellier I.