

L'évolution des coordinations lors de l'apprentissage d'habiletés motrices complexes

Caroline Teulier^(*) et Déborah Nourrit-Lucas^(**)

Cet article présente les principaux résultats d'un programme de recherche mené depuis une dizaine d'années sur l'acquisition des habiletés complexes. Nos résultats montrent que les débutants tendent à adopter dans une tâche nouvelle des comportements assez similaires, que l'on peut interpréter sur la base de principes de synchronisation entre les oscillateurs mis en jeu, évoqués par la théorie dynamique des coordinations motrices. Selon la nature de la tâche, cette homogénéité initiale du comportement est plus ou moins prégnante. Au cours de la pratique, l'adoption du comportement expert est ne se fait pas par une transition abrupte, comme lors de l'apprentissage de coordinations bimanuelles (Zanone et Kelso, 1992), mais semble s'installer de façon plus progressive au terme d'une phase d'intermittence lors de laquelle comportement initial et comportement expert sont exploités en alternance. Ces résultats suggèrent une vision nouvelle du processus d'apprentissage, caractérisée par une possible « coopération » entre le pattern utilisé par les débutants et le pattern expert.

Mots-clés : apprentissage moteur, coordination spontanée, transition de phase.

The evolution of coordination modes during the learning of gross motor skills

This article presents the main results of a ten years research program on the acquisition of gross motor skills. Our results show that beginners tend to adopt similar behaviors in a novel task, that can be interpreted on the basis of synchronization principles evoked by motor coordination dynamic theory. Depending on the nature of the task, this initial "channeling" or homogeneity of behavior could be more or less strong. With practice, the adoption of expert behavior appears not as an abrupt transition as in bimanual coordination learning (Zanone and Kelso, 1992) but rather progressively, after a transition stage during which initial behavior and expert behavior are exploited in alternation. These results suggest a

^(*) EA 2991 Efficience et Déficience Motrice, Université Montpellier I et University of Michigan, Ann Arbor, États-Unis.

^(**) Faculté du Sport et de l'Education Physique – Université d'Orléans

renewed view of the learning process, with a possible "cooperation" between beginner and expert behavioral patterns.

Key words: motor learning, spontaneous coordination, phase transition.

Introduction

Le champ de l'apprentissage moteur, depuis de nombreuses années, véhicule des conceptions très contrastées quant à la manière dont on s'affranchit du comportement novice pour accéder à l'expertise. Les premiers travaux réalisés sur l'apprentissage ont porté sur des tâches extrêmement simples, et ont laissé l'image d'un processus relativement progressif et continu, longtemps modélisé au travers d'une loi puissance du temps (Newell, Mc Donald, et Kugler, 1991). Ces travaux n'ont le plus souvent envisagé l'apprentissage qu'au travers de l'évolution des performances, et la loi puissance dans ce cas décrit simplement une amélioration rapide de la performance en début de pratique, puis plus lente par la suite.

D'autres courants de recherche mettent plutôt l'accent sur les discontinuités marquant l'apprentissage, suivant l'idée que l'établissement du comportement habile est conditionné par une déstructuration préliminaire du comportement débutant. Cette idée est partagée par de nombreux auteurs (Swinnen, Walter, Lee, et Dounskaia, 1996; Walter et Swinnen, 1994), ou Giordan (1993) qui évoque la nécessité de lutter contre les représentations initiales pour installer de nouvelles représentations plus pertinentes au regard de la nature de la tâche.

L'approche dynamique de l'apprentissage moteur se situe dans cette perspective, en considérant que l'apprentissage se construit sur la base des tendances spontanées de coordination, qu'il convient souvent de déstabiliser car elles sont la plupart du temps synonymes de « mauvaises habitudes », pour installer la coordination experte (Walter et Swinnen, 1994). Ceci sous-entend que l'apprentissage serait plutôt un processus discontinu lors duquel apparaîtraient d'importantes réorganisations qualitatives (Newell, 1991).

Zanone et Kelso (1992, 1997), sur la base de travaux réalisés sur l'apprentissage des coordinations bimanuelles, modulent quelque peu cette conception en distinguant deux catégories de situations d'apprentissage : des « situations de coopération » lorsque la coordination à apprendre est proche de la coordination spontanée, et des « situations de compétition » lorsque la tâche à apprendre nécessite la création d'un comportement inédit, non présent à l'origine dans le répertoire du sujet. Dans une situation de convergence, l'apprentissage se ferait de manière progressive par un « glissement » vers la coordination experte, c'est-à-dire une amélioration quantitative du comportement débutant. Dans le second type de situation, les auteurs suggèrent que l'apprentissage pourrait être considéré comme une transition de phase entre la coordination initiale et la coordination à apprendre, ce qui supposerait une modification abrupte du comportement, à un moment donné du processus.

Ces travaux sur les coordinations bimanuelles ont offert de nouveaux outils de lecture du comportement, et ont permis d'identifier un certain nombre de principes régissant les coordinations motrices. Pour autant, généraliser des résultats obtenus sur ces tâches mettant en jeu peu de segments corporels à des tâches plus globales n'est pas toujours possible, comme le montre la revue de littérature de Wulf et Shea (2002), qui met en avant une divergence des résultats obtenus sur l'apprentissage en fonction de la plus ou moins grande complexité de la tâche, c'est-à-dire du nombre de degrés de liberté mis en jeu. Par exemple, l'hypothèse selon laquelle l'apprentissage d'une habileté sportive totalement nouvelle s'effectuerait selon une transition abrupte du comportement initial vers le comportement expert pourrait s'appliquer dans certains cas, mais il semble difficile de poser cette hypothèse comme une loi générale de l'apprentissage. Poursuivre des investigations sur l'apprentissage d'habiletés globales permettrait d'identifier les différentes formes possibles de ce processus, susceptibles d'apporter un nouvel éclairage aux professionnels du monde sportif et de l'EPS quant à l'intérêt des différentes conditions d'apprentissage en fonction de la nature du processus de transition.

Les connaissances sur l'apprentissage des habiletés complexes restent à l'heure actuelle relativement insuffisantes. Si ce processus semble être plutôt discontinu, la nature de cette discontinuité a été peu explorée, laissant ouverte la question du caractère abrupt ou progressif des réorganisations qualitatives qui semblent marquer l'apprentissage. Par ailleurs, il semble nécessaire de s'interroger sur la nature des relations qu'entretiennent le comportement débutant et le comportement expert : doit-on lutter contre le premier pour accéder au second, ou doit-on s'en servir pour progresser ? Là encore, il n'y a guère de consensus sur cette question.

Cet article rend compte des résultats obtenus dans un programme de recherche spécifiquement dédié à l'étude de l'apprentissage d'habiletés motrices globales (*gross motor skills*) et proches de la motricité sportive. Ce projet est centré sur le concept de coordination, considéré comme essentiel à la compréhension des transformations qualitatives qui caractérisent l'apprentissage dans ce type de motricité. Dans cette approche, la coordination émerge de l'interaction des différentes contraintes qui pèsent sur le système. Elles sont inhérentes à l'environnement (gravité, température), à l'organisme (poids du sujet, maturation) et à la tâche (appareil utilisé, consigne, but ou nature de la tâche) (Newell, 1986). Cette interaction de contraintes spécifie les configurations de réponses adoptables et celles qui ne le sont pas, et son impact varie selon la situation spécifique proposée.

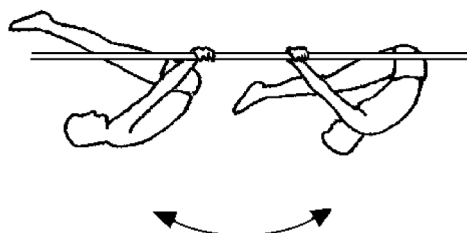
Cet article se centrera sur les connaissances actuelles à propos de la coordination débutante (ou spontanée) et de la coordination experte. Par la suite, le passage de l'une à l'autre sera envisagé en terme de transition de phase. Enfin, la résistance à ce changement de coordination sera discutée.

Les coordinations spontanées

Un premier constat assez étonnant a été la grande homogénéité du comportement adopté par les débutants confrontés à une tâche nouvelle. Ce résultat a notamment été montré dans une expérience portant sur l'apprentissage d'une habileté gymnique aux barres parallèles (Delignières, Nourrit, Sioud, Leroyer, Zattara et Micaleff, 1998) et dans une autre expérimentation utilisant un simulateur de ski (Nourrit, Delignières, Caillou, Deschamps, et Lauriot, 2003). Dans ces deux expérimentations, tous les débutants ont spontanément exploité dès les premiers essais le même type de comportement. Par exemple, dans le travail sur les barres parallèles, les sujets devaient apprendre à réaliser des oscillations amples en suspension mi-renversée (Figure 1). La coordination (phase relative) entre les oscillations pendulaires du centre de gravité par rapport aux mains, et les oscillations verticales du centre de gravité au-dessus de la ligne d'épaule a été analysée au cours des différentes sessions de pratique. Chez les débutants, ces deux oscillateurs adoptaient la même fréquence (coordination avec un rapport de fréquence de 1 : 1), et leurs points de revirement étaient rigoureusement synchronisés (coordination en phase).

FIGURE 1

Les oscillations en suspension mi-renversées aux barres parallèles
(d'après Delignières *et al.*, 1998)



Cette homogénéité inter-individuelle du comportement était un résultat assez surprenant, dans la mesure où le comportement du débutant est souvent décrit comme chaotique, imprévisible, différent d'un individu à l'autre. Ces deux expérimentations ont montré que les comportements adoptés semblaient obéir aux principes généraux de synchronisation entre les oscillations des principaux segments impliqués dans la coordination. En d'autres termes, les coordinations spontanées pouvaient être analysées comme les coordinations les plus simples possibles, c'est-à-dire les plus économiques en termes de contrôle. En effet, dans le cas d'une synchronisation, le système nerveux central peut gérer le mouvement en se focalisant uniquement sur les points de revirements des oscillateurs (Swinnen, Dounskaia, Walter, et Serrien, 1997), diminuant ainsi le coût du contrôle du mouvement. Les résultats de ces études ont confirmé que dans le cadre des habiletés complexes, on retrouvait le principe de synchronisation absolue des phases et des fréquences (Beek, Peper, et van Wieringen, 1992 ; Kelso et Jeka, 1992 ; Vereijken, 1991), qui régit l'adoption préférentielle

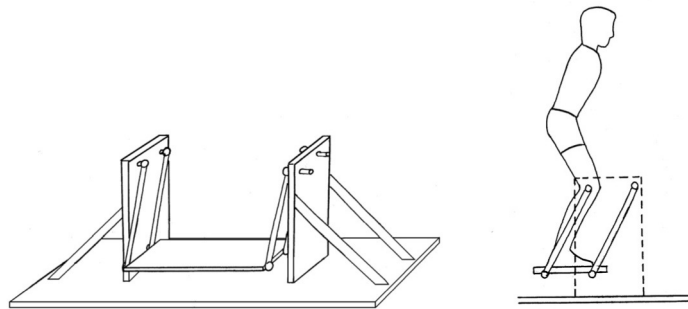
des patterns en phase et en anti-phase dans les tâches de coordination bimanuelle (Kelso, 1995).

Un travail plus récent a incité néanmoins à relativiser ce principe (Teulier et Delignières, 2007). Les sujets devaient apprendre à osciller de manière fluide d'avant en arrière sur une balançoire expérimentale (Figure 2), ce qui permettait aux sujets de gérer plus facilement leur équilibre sur la plateforme comparé aux oscillations latérales. Cette étude a révélé une grande variabilité qualitative du comportement des débutants, tant au niveau inter-individuel qu'au niveau intra-individuel. La coordination entre les mouvements de la balançoire et les mouvements de flexion/extension du corps pouvait prendre des formes variables d'un individu à l'autre (en termes de rapport de fréquence ou de décalage de phase), mais également chez un même individu lors des cycles successifs composant un même essai.

FIGURE 2

La balançoire expérimentale.

Dans cette expérience, le sujet effectuait des oscillations antéro-postérieures



L'idée d'une forte convergence des comportements adoptés par les débutants semble donc devoir être relativisée en fonction des contraintes de la tâche. Il semble que dans certains cas, les contraintes constitutives du système canalisent fortement l'émergence des coordinations vers une solution obligée (comme une consigne spécifiant la coordination à apprendre). Dans d'autres cas, les contraintes semblent moins canaliser les possibilités d'action (par exemple quand l'équilibre peut être géré par plus de degrés de liberté), et autorise l'adoption de modes de coordination plus diversifiés. Les sujets semblent alors pouvoir explorer plus librement l'espace de travail à la recherche des solutions pertinentes (Newell, 1986; Newell, Kugler, Van Emmerik, et McDonald, 1989).

Les coordinations expertes

Selon Bernstein (1967), une des caractéristiques essentielles du comportement expert est l'efficacité énergétique, obtenue grâce à une exploitation optimale des forces réactives du système. Par exemple, dans l'expérience de

Delignières *et al.* (1998) sur les barres parallèles, pour agir sur la dynamique du mouvement, le gymnaste doit moduler son moment d'inertie par rapport à l'axe de rotation, grâce à une ouverture et une fermeture du corps. Chaque balancer comprend une phase ascendante, durant laquelle le travail de la gravité est résistant et une phase descendante durant laquelle la gravité exerce un travail moteur. Les résultats obtenus montrent que l'expert exploite la gravité durant la phase descendante des balancers (correspondant au passage d'un point de revirement à la verticale basse) en augmentant la distance entre le centre de gravité et l'axe de rotation. En contrepartie, il tentera de diminuer le travail résistant de la gravité durant la phase ascendante en réduisant la distance entre le centre de gravité et l'axe de rotation. Ainsi, deux oscillations verticales du centre de gravité viennent se greffer sur l'oscillation pendulaire. Cette adaptation optimale du comportement chez les experts nécessite donc une coordination infiniment plus complexe (rapport de fréquence de 2 :1 avec un décalage de phase de 90° entre les deux oscillateurs décrits précédemment) que celle adoptée par le débutant (rapport de fréquence de 1 :1 et décalage de phase de 0°).

De même, sur le simulateur de ski, les sujets ont fini par adopter après une longue période de pratique un comportement accompagnant parfaitement le renvoi des élastiques de l'appareil, et assurant ensuite leur remise en tension (Nourrit *et al.*, 2003). D'une manière générale, le comportement expert se révèle extrêmement stable au niveau intra-individuel (Higgins et Spaeth, 1972; Nourrit, Caillou, Deschamps, Lauriot, et Delignières, 1999; Viviani et Terzuolo, 1980), et extrêmement consistant au niveau inter-individuel (Delignières *et al.*, 1998; Temprado, Della-Grasta, Farrell, et Laurent, 1997).

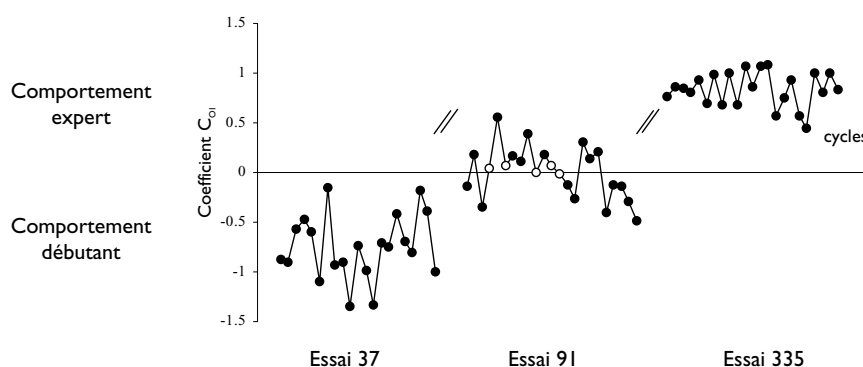
La transition entre comportement débutant et comportement expert

Si la nature des comportements débutants et experts est assez bien connue dans de nombreuses tâches, notamment grâce à des comparaisons expert-novice (voir par exemple Temprado, Della-Grasta, Farrell, et Laurent, 1997) ou des protocoles d'apprentissage avec pré-test et post-test, on possède beaucoup moins d'informations sur la manière dont l'individu passe de l'un à l'autre au cours de l'apprentissage. Il est nécessaire, pour comprendre ce processus, de pister essai par essai l'évolution des coordinations tout au long de l'apprentissage.

Nourrit *et al.* (2003) ont cependant réalisé l'expérience lors de leur travail sur le simulateur de ski, et ont suivi l'évolution des comportements d'amortissement lors de 390 essais de une minute, répartis sur 13 semaines de pratique lors desquelles les sujets devaient osciller de manière ample. Cette expérience a montré que la transition du comportement débutant au comportement expert ne présentait pas un caractère abrupt mais se déroulait sur une période pouvant occuper plusieurs semaines de pratique. Pour autant, la transition d'un comportement à l'autre ne s'effectuait pas au moyen de l'adoption de compor-

tements intermédiaires. Cette phase de transition était en fait caractérisée par l'exploitation alternée des deux modes de coordination, y compris d'un cycle à l'autre à l'intérieur du même essai. La figure 3 rend compte de ce phénomène, au travers de l'évolution de l'indice d'amortissement, caractéristique de la manière dont le sujet injecte de l'énergie dans le système. Lors des premiers essais le comportement adopté présente une grande homogénéité inter-individuelle, et est caractérisé par des valeurs négatives de cet indice d'amortissement. On retrouve une même homogénéité dans les étapes tardives de l'apprentissage, mais cette fois les valeurs de l'indice sont positives, indiquant que le comportement a été qualitativement modifié. La phase intermédiaire est au contraire caractérisée par une alternance de valeurs positives et négatives, indiquant que les deux comportements cohabitent dans une alternance répétée.

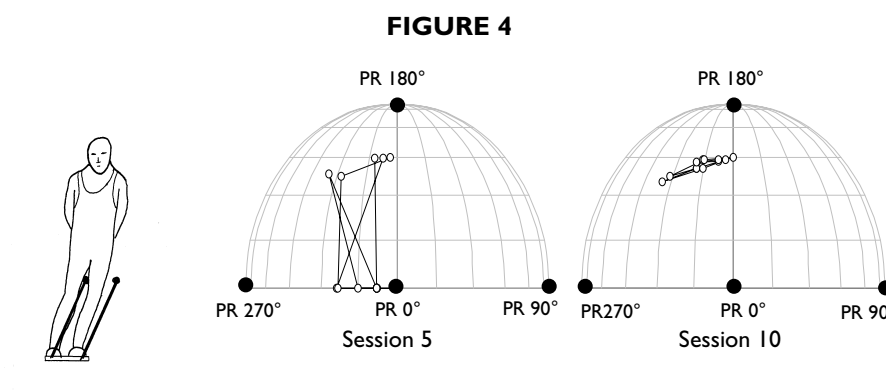
FIGURE 3
Analyse cycle à cycle du comportement d'amortissement,
lors de 3 essais caractéristiques sur le simulateur de ski



L'indice mesuré ($C_{01\text{Rayleigh}}$) signe par des valeurs négatives un amortissement de type Rayleigh, et par des valeurs positives un amortissement de type van der Pol (pour plus de détails sur ces comportements d'amortissement, voir Nourrit *et al.*, 2003). Le premier échantillon (essai 37) renvoie à la phase initiale de l'apprentissage : le participant exploite de manière consistante un amortissement de type Rayleigh. Le dernier échantillon (essai 335) est caractéristique de la dernière phase, au cours de laquelle le sujet exploite de manière consistante et stable un amortissement de type van der Pol. L'échantillon médian (essai 91) est typique de la phase de transition : le sujet alterne, souvent d'un cycle à l'autre, entre les deux types d'amortissement.

Afin de confirmer ce résultat, une nouvelle expérimentation utilisant la balançoire expérimentale présentée précédemment a été réalisée. Dans cette expérience les sujets devaient apprendre à réaliser des oscillations latérales (voir Figure 4), durant dix sessions de 10 essais. Le comportement le plus efficace consistait dans cette tâche à exercer une poussée sur la balançoire à chaque fois qu'elle atteignait une position de déviation maximale, afin de la ramener en position centrale. La coordination attendue en fin d'apprentissage était donc une coordination présentant deux mouvements de flexion/extension du corps (soit deux forçages ou injection d'énergie) pour une oscillation complète de la

balançoire. Après dix sessions de pratique, les sujets avaient tous adopté ce mode de coordination expert. Comme sur le simulateur de ski, l'adoption de ce comportement a été précédée par une phase durant laquelle les sujets exploitaient alternativement ce mode de coordination en 2 :1 avec un mode de coordination plus simple, où un seul forçage était réalisé, représentant une seule flexion/extension du corps produite soit au point de revirement droit, soit au point de revirement gauche.



Dans cette expérience, le sujet réalisait sur la balançoire (voir figure 2) des oscillations latérales. Les deux demi-sphères rendent compte des coordinations produites lors de deux essais, l'un en 5^e session, et l'autre en 10^e session. Les points situés à l'équateur signent un forçage unique au voisinage du point de revirement gauche. Un forçage unique au voisinage du point de revirement droit serait révélé par des points situés au pôle. Les points situés dans la zone tempérée révèlent quant à eux l'adoption d'une coordination en 2 :1, avec un forçage sur chaque point de revirement. La Session 5 est typique d'une alternance entre deux types de coordination, la coordination initiale (1 :1) et la coordination experte (2 :1)

Ces résultats suggèrent une vision tout à fait nouvelle des discontinuités marquant l'apprentissage. Il semble en fait que durant cette période de transition, les sujets utilisent le comportement initial comme une sorte de « tête de pont », permettant l'exploration de nouveaux comportements, en offrant à tout instant une solution de repli. Cette alternance permet en quelque sorte une exploration sécurisée du comportement expert, le sujet pouvant à tout moment revenir au comportement initial qu'il maîtrise de manière satisfaisante.

Par ailleurs, la phase initiale de l'apprentissage, au cours de laquelle le comportement initial est exploité de manière exclusive, est marquée par une certaine évolution paramétrique de la coordination, qui semble destinée à en permettre l'utilisation en alternance avec le comportement expert. Delignières *et al.* (1998) ont par exemple observé lors de l'expérimentation sur les barres parallèles, que l'un des sujets, particulièrement performant au niveau de l'amplitude des oscillations, tendait en fin d'expérience, tout en continuant à exploiter une coordination en 1 :1, à décaler progressivement le forçage du point de revirement arrière (phase 0°) au passage en verticale basse (phase 90°). Cette évolution du comportement initial aurait pu déboucher sur une exploitation alternée des coordinations 1 :1 et

2 :1, préparant l'adoption définitive de la coordination experte (Delignières *et al.*, 1998). Un travail en cours tente de tester cette hypothèse.

De même, lors de l'expérimentation sur le simulateur de ski, l'initiation de la phase de transition était systématiquement marquée par un accroissement de la fréquence des oscillations : cette évolution semble avoir pour effet de permettre l'exercice simultané des deux modes de coordination lors de la phase de transition (Figure 5). Il semble que tout en continuant à exploiter son premier comportement, la dérive progressive de celui-ci permette l'émergence du second.

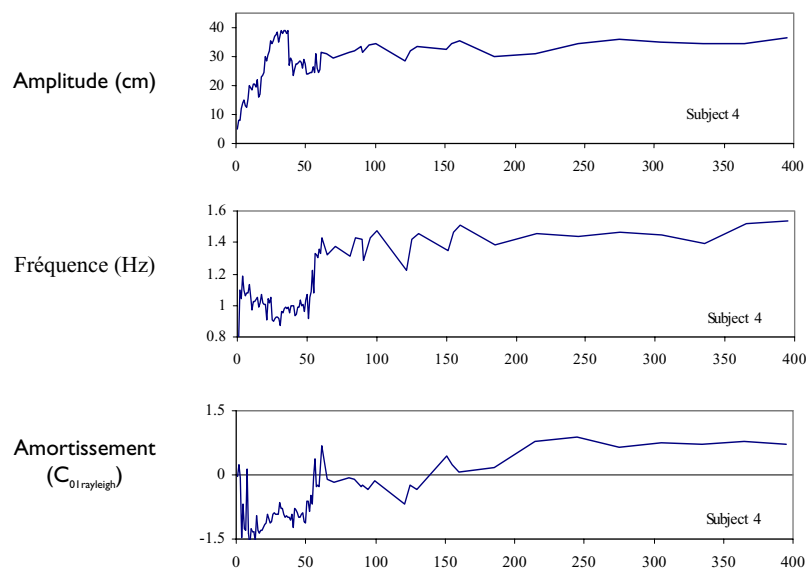
La résistance au changement de la dynamique intrinsèque

Un second résultat important de ces travaux sur les barres parallèles et le simulateur de ski est la grande résistance au changement des coordinations des débutants. Lors de l'expérimentation sur les barres parallèles, aucun participant n'avait significativement modifié son mode de coordination, malgré 8 sessions de pratique de 10 essais chacune (Delignières *et al.*, 1998). Sur le simulateur de ski, une modification du comportement et un abandon des coordinations initiales ont été observés, mais ce processus n'a été initié qu'au bout de 50 essais de une minute pour les sujets les plus précoces, et il a fallu attendre 150 essais chez le sujet le plus lent (Nourrit *et al.*, 2003). Cependant il faut noter que cette expérimentation a utilisé une version particulièrement délicate de simulateur (le dispositif initial ayant été converti en mono-ski).

Il ne faut cependant pas conclure de ces résultats qu'il ne se passe rien dans cette première phase de l'apprentissage : en effet, une amélioration très rapide de variables de performance telles que l'amplitude des oscillations est observée. Il semble en fait que les débutants parviennent à exploiter efficacement leurs modes spontanés de coordination pour satisfaire aux exigences de la tâche. Cette exploitation première, si elle se révèle efficace reste cependant peu efficiente sur le plan énergétique. Cette observation est cependant importante, car elle invite à ne pas confondre l'amélioration des performances, qui peut correspondre à une simple adaptation aux contraintes de la tâche, et l'apprentissage, qui renvoie à l'adoption de modes de coordination nouveaux.

Enfin l'inertie des coordinations initiales paraît dépendante de la tâche étudiée, et notamment de sa difficulté. Lors d'un second travail sur le simulateur de ski, utilisant la version traditionnelle de la tâche, moins contraignante car laissant les deux pieds indépendants, Teulier, Nourrit et Delignières (2006) ont montré que l'abandon du comportement initial pouvait apparaître dès la première semaine de pratique.

FIGURE 5



Cette figure représente l'évolution de l'amplitude (en cm, en haut), de la fréquence (en Hz, au milieu) et du comportement d'amortissement (coefficient $C_{01Rayleigh}$, voir figure 3, en bas), lors des 390 essais de l'expérimentation sur le simulateur de ski, pour un sujet représentatif (Nourrit *et al.*, 2003). L'amplitude atteint son niveau maximum au bout d'une trentaine d'essais. Il faut attendre le cinquantième essai pour que le sujet entre dans la phase de transition qui l'amènera à adopter définitivement le comportement expert, vers le 200^e essai (graphique du bas). On peut noter un accroissement brutal de la fréquence, vers l'essai 50, contemporain à l'entrée dans la phase de transition.

Une vision nouvelle du processus d'apprentissage

Finalement, ces différentes expériences ont montré qu'il ne semble pas exister de voie unique d'apprentissage. En effet, celui-ci semble conditionné par l'interaction des contraintes qui pèsent sur le système (contraintes liées à la tâche, à l'environnement ou à l'organisme, Newell, 1986). En effet, une tâche ou un environnement très contraignants vont amener les débutants à l'adoption d'un comportement unique, sauf si l'expérience du sujet lui permet de dépasser ces contraintes (comme les sujets tri-stables dans les coordinations bimanuelles, voir Zanone et Kelso, 1997). A contrario, si les contraintes sont faibles les sujets pourront explorer assez librement l'espace de travail perceptivo moteur (Newell *et al.*, 1989). Plus précisément, le poids des contraintes va faire varier l'échelle de temps de l'apprentissage. De fortes contraintes amènent à une longue résistance des coordinations spontanées (comme dans l'expérience aux barres parallèles), retardant plus ou moins longtemps l'apparition de la phase de

transition. De la même manière on peut penser que la durée de la phase de bi-stabilité va dépendre de la résistance des coordinations spontanées (et/ou des contraintes qui pèsent sur le système). En effet, sur la balançoire où les coordinations évoluent très vites, la phase de transition est assez rapide alors que sur le simulateur de ski modifié, elle peut durer sur une cinquantaine d'essais. Sur les versions basiques du simulateur, Vereijken (1991) et Nourrit (2000) montrent que les changements s'opèrent dès les premières sessions. Il est probable que dans ces deux expériences, les contraintes imposées par la tâche au niveau de la gestion de l'équilibre sont moindres que dans le simulateur de « mono-ski » de Nourrit *et al.* (2003). Ainsi l'augmentation de contraintes liées à la gestion de l'équilibre pourrait expliquer la longueur de la période d'acquisition sur le simulateur de mono-ski.

Le poids des contraintes pourraient donc influencer sur le temps d'apprentissage et sur la nature plus ou moins abrupte de la transition : une tâche peu contraignante peut amener les sujets à transiter rapidement, alors qu'une tâche plus contraignante fera apparaître une période de bi-stabilité plus longue permettant au sujet d'explorer la coordination experte peu stable et de se réfugier dans sa coordination stabilisée quand il en ressent la nécessité. Ceci pourrait expliquer la grande variabilité relevée dans la littérature à propos de la discontinuité de l'apprentissage.

De plus, de manière assez paradoxale, il semble exister une sorte de *coopération* entre la coordination initiale et la coordination experte, la première préparant en quelque sorte l'émergence de la seconde, qui finira par la supplanter. Cette vision de l'apprentissage contraste avec nombre de propositions antérieures, qui considéraient plutôt l'émergence des coordinations nouvelles comme devant s'imposer contre les tendances spontanées du système (Walter et Swinnen, 1994 ; Zanone et Kelso, 1992).

Ces hypothèses de coopération et d'évolution de la coordination débutante en fonction des contraintes doivent être mises à l'épreuve sur des tâches imposant des systèmes de contraintes différents pour attester de leur pertinence et déboucher sur une théorie plus complète de l'acquisition des habiletés motrices complexes.

Bibliographie

- BEEK, P. J., PEPPER, C. E., et VAN WIERINGEN, P. C. W. (1992). Frequency locking, frequency modulation, and bifurcations in dynamic movement systems. In G. E. STELMACH ET J. REQUIN (Eds.), *Tutorials in Motor Behavior II* (p. 599-622). Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
- BERNSTEIN, N. A. (1967). *The co-ordination and regulation of movements*. (Oxford: Pergamon Press ed.).

- DELIGNIÈRES, D., NOURRIT, D., SIOUD, R., LEROYER, P., ZATTARA, M., et MICALEFF, J.-P. (1998). Preferred coordination modes in the first steps of the learning of a complex gymnastics skill. *Human Movement Science*, 17(2), 221-241.
- GIORDAN, A. (1993). De l'usage des conceptions dans les apprentissages. In G. Bui-Xuan et J. Gleyse (Eds.), *Enseigner l'Education Physique et Sportive* (p. 240-241). Clermont-Ferrand: AFRAPS.
- HIGGINS, J. R., et SPAETH, R. K. (1972). Relationship between consistency of movement and environmental condition. *Quest*, 17, 61-69.
- KELSO, J. A. S. (1995). *Dynamic patterns. The self-organization of brain and behavior*. Cambridge, Mass: MIT Press.
- KELSO, J. A. S., et JEKA, J. J. (1992). Symmetry breaking dynamics of human multi-limb coordination. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 645-668.
- NEWELL, K. M. (1986). Constraints on the development of coordination. In M. G. Wade et H. T. A. Whiting (Eds.), *Motor Development in Children: Aspects of Coordination and Control* (p. 341-360). Dordrecht: Nijhoff.
- NEWELL, K. M., KUGLER, P. N., VAN EMMERIK, R. E. A., et McDONALD, P. V. (1989). Search strategies and the acquisition of coordination. In S. A. Wallace (Ed.), *Perspectives on the Coordination of movement* (p. 85-122). North-Holland: Elsevier.
- NEWELL, K. M., MC DONALD, P. V., et KUGLER, P. N. (1991). The perceptual-motor workspace and the acquisition of skill. In J. Requin et G. E. Stelmach (Eds.), *Tutorials in Motor Neuroscience* (p. 95-108). Dordrecht: Martinus Nijhoff.
- NOURRIT, D., CAILLOU, N., DESCHAMPS, T., LAURIOT, B., et DELIGNIÈRES, D. (1999). *Expertise et invariance spatio-temporelle: une comparaison experts-novices en bowling*. Paper presented at the VIII^e Congrès International des Chercheurs en Activités Physiques et Sportives, Macolin, 31 Octobre-3 Novembre 1999.
- NOURRIT, D., DELIGNIÈRES, D., CAILLOU, N., DESCHAMPS, T., et LAURIOT, B. (2003). On discontinuities in motor learning: a longitudinal study of complex skill acquisition on a ski-simulator. *Journal of Motor Behavior*, 35(2), 151-170.
- SWINNEN, S., WALTER, C. B., LEE, T. D., et DOUNSKAIA, N. (1996, May 28-31). *The organization and control of new patterns of interlimb coordination against the backdrop of preexisting preferred coordination modes*. Paper presented at the First Annual Congress of the European College of Sport Sciences, Nice.
- SWINNEN, S. P., DOUNSKAIA, N., WALTER, C. B., et SERRIEN, D. J. (1997). Preferred and Induced Coordination Modes During the Acquisition of Bimanual Movements With a 2:1 Frequency Ratio. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23(4), 1087-1110.
- TEMPRADO, J., DELLA-GRASTA, M., FARRELL, M., et LAURENT, M. (1997). A novice-expert comparison of (intra-limb) coordination subserving the volleyball serve. *Human Movement Science*, 16(5), 653-676.
- TEULIER, C., et DELIGNIÈRES, D. (2007). The nature of the transition between novice and expert behavior during learning to swing. *Human Movement Science*, 26, 376-392.
- TEULIER, C., NOURRIT, D., et DELIGNIÈRES, D. (2006). The evolution of oscillatory behavior during learning on a ski-simulator. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 77, 464-475.

- VEREIJKEN, B. (1991). *The dynamics of skill acquisition*. Free University of Amsterdam, Amsterdam.
- VIVIANI, P., et TERZUOLO, C. (1980). Space-time invariance in learned motor skill. In G. E. Stelmach et J. Requin (Eds.), *Tutorials in Motor Behavior* (p. 525-533). Amsterdam: North-Holland.
- WALTER, C. B., et SWINNEN, S. P. (1994). The formation of "bad habits" during the acquisition of coordination skills. In H. H. S. Swinnen, J. Massion and P. Casaer (Ed.), *Interlimb coordination: Neural, dynamical and cognitive constraints*. (p. 491-513). New York: Academic Press.
- WULF, G., et SHEA, C. H. (2002). Principles derived from the study of simple skills do not generalize to complex skill learning. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(2), 185-211.
- ZANONE, P. G., et KELSO, J. A. (1992). Evolution of behavioral attractors with learning: nonequilibrium phase transitions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18(2), 403-421.
- ZANONE, P. G., et KELSO, J. A. (1997). Coordination dynamics of learning and transfer: collective and component levels. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23(5), 1454-1480.