

Delignières, D. (2004). L'acquisition des coordinations complexes : l'approche dynamique. In J. La Rue & H. Ripoll (Eds), *Manuel de Psychologie du Sport, tome 1* (pp. 395-407). Paris: Editions Revue EPS.

L'ACQUISITION DES COORDINATIONS COMPLEXES.

Didier Delignières

EA 2991- Université Montpellier I

Le but de ce chapitre est de présenter des données récentes sur l'apprentissage des coordinations motrices, données principalement issues de l'approche dynamique. Il s'agit ici de mettre de l'ordre dans une littérature qui à l'heure actuelle n'a reçu que des synthèses partielles. La problématique de l'apprentissage est ici située dans le cadre de la théorie des systèmes dynamiques, introduite par ailleurs, et des perspectives appliquées sont envisagées, au niveau de l'intervention d'un entraîneur ou d'un enseignant, destinées à favoriser une acquisition plus rapide ou plus durable.

La majeure partie des travaux classiques sur l'apprentissage moteur ont porté sur l'évolution, avec la pratique et en fonction des conditions de pratique, des performances du sujet, évaluées soit en termes chronométriques (temps de réaction, temps de mouvement), soit en termes de précision (erreur constante, erreur absolue). Rares sont les recherches qui se sont intéressées à l'évolution du mouvement lui-même, de sa forme, c'est-à-dire de la coordination motrice. Un certain nombre d'auteurs, dans le cadre de l'approche dynamique, ont cependant tenté d'analyser plus particulièrement ce problème.

La nature de l'apprentissage

Il nous semble intéressant, pour introduire le problème, d'évoquer un travail réalisé en 1992 par Zanone et Kelso, à propos de tâches de coordination bi-manuelle (nous renvoyons le lecteur à la partie 2.2.1.4., s'il n'est pas familier avec les concepts de base de l'approche dynamique). Ces auteurs ont étudié l'apprentissage d'un décalage de phase de 90° entre les mouvements des deux index (comportement correspondant à un répellant naturel du système). Cette expérience a montré qu'avec la pratique, les sujets étaient capables de réaliser cette coordination non naturelle. De plus, cette coordination une fois acquise devient stable, et tend à attirer le comportement des sujets lorsqu'ils tentent une coordination voisine (par exemple une coordination à 75° de décalage de phase): l'apprentissage débouche donc sur le "creusement" d'un nouvel attracteur, au niveau de la coordination requise. L'expérience montre également qu'une autre coordination, non pratiquée, s'est stabilisée: il s'agit de la coordination à 270° de décalage de phase, qui constitue la réplique en miroir de la coordination apprise. Enfin, on assiste à une déstabilisation transitoire de la coordination antiphase, qui constituait pourtant l'un des attracteurs intrinsèques du système.

Cette expérience montre que l'apprentissage ne se résume pas à l'acquisition d'une coordination spécifique, mais modifie l'ensemble du paysage des attracteurs, c'est-à-dire la dynamique du paramètre d'ordre. Cette propriété permet une lecture nouvelle des phénomènes de transfert, positifs et négatifs, dans le processus d'apprentissage:

l'acquisition d'une coordination nouvelle peut avoir pour résultat la déstabilisation de coordinations naturelles ou précédemment apprises, mais en retour elle peut faciliter l'exercice de coordinations non pratiquées jusqu'alors.

D'autres enseignements peuvent être tirés de ces expérimentations. On peut noter tout d'abord que l'apprentissage est le résultat de la pratique: ce n'est qu'après un nombre conséquent d'essais que les sujets parviennent à stabiliser la nouvelle coordination. Cette stabilisation requiert de l'effort et suppose la répétition.

La maîtrise progressive des degrés de liberté du système.

Nous avons évoqué dans une partie précédente le problème des degrés de liberté, fondement des critiques de Bernstein à l'égard des théories prescriptives (voir partie 2.2.1.4.). Ce problème des degrés de liberté est fondamentalement un problème de redondance: dans une activité complexe, le système présente davantage de degrés de libertés qu'il en est nécessaire pour réaliser la tâche. Selon Bernstein, l'apprentissage est le processus par lequel le sujet parvient peu à peu à maîtriser ses degrés de liberté, c'est-à-dire de les transformer en un système plus simple, et contrôlable.

Bernstein a proposé une description du processus d'apprentissage en trois étapes, marquées successivement par le contrôle, la libération, puis l'exploitation des degrés de liberté (Bernstein, 1967; Vereijken & Bongaardt, 1998).

Le contrôle initial des degrés de liberté.

Une solution initiale au problème de la redondance des degrés de liberté est d'en "geler" un certain nombre. Ce gel peut passer soit par une fixation articulaire d'une partie du corps, soit par le couplage temporaire entre deux ou plusieurs degrés de liberté (par exemple en mobilisant en phase deux articulations). Cette stratégie permet au sujet de ne conserver que quelques paramètres libres, et par là de résoudre dans un premier temps le problème du contrôle. Cette stratégie va en outre permettre au sujet d'apporter une première réponse à la tâche.

La stratégie de fixation articulaire a mise en évidence par quelques expérimentations. Notamment Newell et van Emmerick (1989) analysent la cinématique des articulations du membre supérieur, lorsque des sujets tracent leur signature sur un tableau avec la main non dominante (on considère dans ce cas qu'ils sont débutants). Ce travail met en évidence un blocage articulaire rigide du poignet et du coude. La signature est en fait réalisée uniquement avec l'épaule. De même Arutyunyan, Gurfinkel et Mirskii (1968), analysant le comportement de tireurs débutants, mettent en évidence d'importantes fixations articulaires: ici encore c'est principalement l'articulation de l'épaule qui assure l'essentiel du mouvement. Cette stratégie des débutants leur permet de concentrer les problèmes de contrôle sur un seul degré de liberté articulaire. Le mouvement réalisé manque évidemment de souplesse, de fluidité, mais le problème de redondance des degrés de liberté est dans un premier temps résolu.

Le couplage spontané des degrés de libertés a été également largement étudié, et apporte des éclairages essentiels à la compréhension du comportement des débutants. Rappelons que l'approche dynamique suggère qu'un système complexe, confronté à un ensemble donné de contrainte, tend à adopter certains comportements, que l'on appelle les coordinations préférentielles, ou spontanées. Ces coordinations constituent les attracteurs de la dynamique intrinsèque du système. On a vu par exemple que dans la tâche d'oscillations bimanuelles de Kelso, Holt, Rubin et Kugler (1981), ces attracteurs étaient les coordinations en phase et en anti-phase.

D'une manière générale, ces coordinations spontanées sont caractérisées par une synchronisation absolue des phases et des fréquences: en d'autres termes, le système tend à adopter des rapports de fréquence les plus simples possibles entre les différents oscillateurs (et notamment un rapport 1:1), et tend à synchroniser les points de revirement des différents oscillateurs, et donc à adopter des coordinations en phase ou en antiphase (Delignières, Nourrit, Sioud, Leroyer, Zattara, & Micallef, 1998; Swinnen, Dounskaia, Walter & Serrien, 1997). Voilà pourquoi il est difficile de se taper sur la tête d'une main tout en faisant des ronds sur son ventre avec l'autre: un comportement plus simple tend à émerger, dans lequel les deux mains réalisent la même action à la même fréquence.

Nous touchons ici une contribution essentielle de l'approche dynamique au problème de l'apprentissage. Il est courant de dire que l'apprentissage ne se fait pas à partir d'une "table rase", mais se construit à partir d'un "déjà existant". Les théories prescriptives ont insisté à ce niveau sur l'influence des acquisitions antérieures, des représentations déjà stockées dans le système (voir notamment Schmidt, 1975). Mais que dire dans le cas d'une tâche inédite, entièrement nouvelle pour le système? Le concept de coordination préférée, ou spontanée, offre une réponse au problème de la nature du comportement des novices. Delignières *et al.* (1998) ont par exemple montré que les principes décrits plus haut (synchronisation absolue des phases et des fréquences) permettaient de prédire le comportement de débutants confrontés à une tâche gymnique complexe. Nul besoin ici de se référer à des "connaissances", ou "représentations" préalablement construites. Le système obéit à des tendances "naturelles", et tous les débutants adoptent une coordination identique dont l'ultime caractéristique est sans doute la facilité de contrôle (la synchronisation des points de revirement des principaux oscillateurs constitue sans doute le critère le plus marquant à ce niveau; cf Swinnen *et al.*, 1997). Retenons donc que l'apprentissage n'apparaît pas *ex nihilo*, mais sur la base des coordinations spontanées du système.

La libération des degrés de liberté.

Les progrès de l'habileté sont caractérisés dans une seconde étape par une libération graduelle des degrés de liberté, et leur incorporation dans un système dynamique contrôlable. C'est-à-dire que les degrés de liberté ne sont pas libérés de manière anarchiques, mais sont intégrés de manière progressive dans des *structures coordinatives*. Une structure coordinative est conçue comme un assemblage temporaire de synergies musculaires, destiné à réduire les degrés de liberté contrôlés par le sujet (Whiting, Vogt & Vereijken, 1992). Elle s'exprime notamment par le couplage de

certains groupes fonctionnels, par des mécanismes de compensation réciproque, etc... Les degrés de liberté inclus dans une structure coordinative sont contraints à agir comme une seule et unique unité fonctionnelle.

Par rapport à la première étape, on observe donc la mise en jeu d'un nombre de plus en plus important d'articulations, et un accroissement de l'amplitude des mouvements articulaires (Arutyunyan, Gurfinkel & Mirskii, 1968; Newell & van Emmerick, 1989; Vereijken, 1991). Arutyunyan, Gurfinkel et Mirskii (1968) montrent par exemple que si les tireurs débutants utilisent d'important blocages articulaires pour assurer la stabilité de l'arme, les experts ont davantage recours à des actions de compensation mutuelle des différentes articulations.

Cette libération des degrés de libertés articulaires semble en outre suivre une logique céphalo-caudale et proximo-distale (Newell, Kugler, van Emmerik, & McDonald, 1989). C'est-à-dire que le débutant utiliserait de manière préférentielle les articulations proches de l'axe du corps, et situées dans les segments supérieurs (rappelons que dans l'expérience de Newell et van Emmerick (1989), la signature est essentiellement réalisée avec l'épaule), puis la coordination intégrerait progressivement les articulations plus distales, jusqu'aux extrémités. Newell et McDonald (1995) estiment cependant que cette tendance directionnelle de la libération des degrés de liberté dépend des caractéristiques de la tâche.

Lors de cette étape, le sujet devient en outre capable de s'émanciper des coordinations spontanées, pour adopter des patterns plus adaptés aux exigences de la tâche. Certains couplages rigides vont disparaître (Vereijken, 1991), et des modes de coordination plus sophistiqués vont émerger: notamment des décalages de phase peuvent s'installer progressivement, c'est-à-dire que les sujets deviennent capables si nécessaire de désynchroniser les points de revirement des principaux oscillateurs du système (Delignières *et al.*, 1998; Vereijken, 1991).

Il faut garder à l'esprit que durant cette étape le sujet lutte contre ses tendances spontanées de coordination, et que la résolution de ce conflit sera d'autant plus difficile que le pattern à apprendre sera qualitativement différent des attracteurs spontanés du système.

L'exploitation des degrés de liberté.

La troisième étape de l'apprentissage est selon Bernstein dévolue à un affinement de la coordination, dans le but d'en accroître l'efficacité par une exploitation optimale des forces passives du système. Un certain nombre de travaux ont en effet montré que l'efficacité constituait une caractéristique majeure du comportement de l'expert (pour une revue, voir Durand, 1992a, 1992b). Un aspect fondamental de l'expertise apparaît comme la capacité à opter pour la configuration motrice la plus efficace, en fonction de l'évolution des contraintes de la tâche. Lin (1980), montre par exemple que des coureurs à pied de haut-niveau sont capables d'adapter avec précision la longueur de leurs foulées à la vitesse qui leur est imposée sur tapis roulant, de manière à ce que l'efficacité de leur course soit optimale.

Certains travaux ont pu mettre en évidence ces gains en efficacité au cours de l'apprentissage. Par exemple Kamon et Gormley (1968) s'intéressent à l'apprentissage d'une habileté gymnique. Ils observent que le pattern de recrutement des muscles évolue en cours d'apprentissage dans le sens d'une réduction de l'intensité et de la durée des

L'efficacité.

L'efficacité est définie comme le rapport entre l'énergie investie et le travail produit. Un comportement efficace atteindra un niveau de performance donné avec moins d'effort, ou atteindra une meilleure performance avec un investissement en ressources identique. Si ce terme a surtout été utilisé par des physiologistes, s'intéressant au rendement des processus de production d'énergie, on a également parlé d'efficacité cognitive, au sens où un résultat identique peut être obtenu avec des investissements fort différents de ressources cognitives.

L'efficacité, dans les coordinations motrices complexes, est notamment liée à l'adoption, de fréquences d'oscillation correspondant aux fréquences naturelles (ou fréquences de résonance) des segments impliqués (Holt, Hamill & Andres, 1990).

contractions musculaires, et d'une meilleure intégration. Sparrow et Irrizary-Lopez (1987) montrent au cours de l'apprentissage de déplacements quadrupédiques des réorganisations successives des patterns et une diminution du coût énergétique.

Dans une expérience sur un simulateur de ski, Durand, Geoffroi, Varray et Préfaut (1994) observent qu'en fin d'apprentissage, les sujets tendent à tous adopter une fréquence d'oscillation identique, et Delignières, Geoffroi, Nourrit & Durand (1996) montrent que cette fréquence commune constitue la fréquence de résonance du système, c'est-à-dire la fréquence où l'énergie à insuffler pour entretenir les oscillations est la plus faible. Enfin Delignières *et al.* (1998) ont montré que des experts, dans la réalisation des balancers en suspension renversée aux barres parallèles, exploitent le travail du poids dans les phases descendantes et en minimisent l'effet dans les phases ascendantes.

Certains auteurs estiment que cette recherche de l'efficacité est un des enjeux centraux de l'apprentissage. Ainsi Sparrow (1983) définit l'apprentissage comme l'acquisition de la capacité à produire des patterns moteurs optimaux, par rapport aux contraintes mécaniques et physiologiques. Selon Famose (1987), cette tendance à l'économie pourrait constituer un des moteurs de l'apprentissage.

Les aides à l'apprentissages

Au-delà d'une description du processus d'acquisition des habiletés motrices, de nombreux travaux ont porté sur les modalités d'optimisation de cette acquisition, c'est-à-dire de l'aide à l'apprentissage. Les approches classiques de l'apprentissage ont ainsi étudié de manière systématique l'influence de procédures telles que le retour d'information (pour une revue, voir Swinnen, 1996), l'observation de modèles (Winnikamen, 1990), ou les conditions de pratique (voir par exemple Famose, 1990). L'approche dynamique de l'acquisition des coordinations permet de jeter un regard

nouveau sur un certain nombre de ces procédures, et permet également d'envisager de nouvelles pistes de travail.

Rappelons que dans l'optique développée ici, l'apprentissage se réalise sur la base des tendances initiales de coordination, que ces tendances résultent d'apprentissages antérieurs, ou de la dynamique spontanée du système. Dès lors deux cas de figure doivent être distingués: ou bien l'apprentissage vise à optimiser une coordination spontanée, un attracteur du système, et l'on parle de *situations de convergence, ou de coopération* (dans le sens où la coordination à apprendre coopère avec une coordination spontanée du système), ou bien l'apprentissage renvoie à l'acquisition d'une coordination non naturelle, c'est-à-dire à contrarier les attracteurs spontanés du système, et l'on parle de *situations de compétition* (Zanone & Kelso, 1992).

Ces deux types de situation posent au sujet et à celui qui envisage de l'aider à apprendre des problèmes spécifiques, et une analyse séparée semble intéressante pour optimiser la lisibilité des hypothèses de travail.

L'apprentissage dans les situations de compétition.

Il s'agit donc dans ces situations, de quitter un attracteur spontané pour adopter et stabiliser un comportement qui n'appartient pas à l'origine au répertoire du système. Il s'agit dans le domaine du sport d'un cas de figure extrêmement courant, même si des activités telles que la gymnastique ou la danse sont particulièrement porteuses de ce type de situation. Une première aide à l'apprentissage va consister évidemment à spécifier clairement au sujet la nature de la coordination qu'il doit acquérir. Par exemple, dans les expériences de Zanone et Kelso (1992), sur l'apprentissage d'une coordination à 90 degrés de phase relative entre les deux index, un modèle du pattern à apprendre est présenté en continu aux sujets, au moyen d'un métronome.

On appelle *information comportementale* tout facteur spécifiant la coordination à adopter (rappelons qu'à l'inverse un paramètre de contrôle modifie la coordination sans la spécifier directement): une démonstration, une instruction verbale, un aménagement matériel peuvent prendre le statut d'information comportementale, pour peu qu'ils spécifient la coordination à adopter. A ce niveau, l'approche dynamique ne récuse en rien les approches classiques de l'aide à l'apprentissage, mais offre une nouvelle manière de les envisager: l'apprentissage va s'opérer au travers d'une compétition entre dynamique intrinsèque et information comportementale, la première déterminant les coordinations spontanées et la seconde le pattern à apprendre. On peut ajouter que l'information comportementale doit, pour jouer pleinement son rôle, être exprimée dans la même métrique que les coordinations spontanées contre lesquelles elle va entrer en compétition. Si cette règle est facilement mise en oeuvre dans le cadre des tâches de laboratoire, son application dans un contexte écologique est plus délicate. Elle met cependant en avant le principe selon lequel l'information comportementale doit délivrer au sujet des informations essentielles (c'est-à-dire portant sur des variables essentielles), caractérisant de manière spécifique l'évolution souhaitée du paramètre d'ordre. Les résultats proposés par Famose, Hébrard, Simonet et Vivès (1979), sur la nécessaire clarté des buts et l'effet négatif des informations superflues, vont dans le sens de ces

propositions. Cette approche suggère également un réexamen de la problématique de la démonstration: dans quelles mesures une démonstration spécifie-t-elle le pattern à apprendre, et comment peut-on optimiser la spécification du pattern par la démonstration (focalisation de l'attention du sujet sur certains aspects du modèle, recours à des modèles rythmiques, etc...).

L'efficacité des consignes.

Les entraîneurs et les enseignants d'Education Physique possèdent un vaste répertoire de "ficelles" pédagogiques, de consignes particulièrement efficaces, qu'ils ont élaborées plus ou moins intuitivement au cours de leur pratique. Ces consignes visent à donner aux athlètes les "bonnes" intentions dans une situation donnée: on peut proposer à titre d'exemple la consigne du "shoot", sur salto arrière, qui semble être particulièrement efficace sur le placement du gymnaste à l'impulsion. Souvent ces consignes semblent opérer sur un mode métaphorique, faisant davantage appel à des sensations globales qu'à une analyse précise du geste à produire. On peut faire l'hypothèse que l'efficacité de ces intentions (c'est-à-dire du système de buts et sous-buts qu'elles génèrent), est liée au fait qu'elle induisent l'évolution favorable d'un paramètre de contrôle du système.

Un certain nombre de recherches ont également montré (rejoignant en cela les résultats des approches prescriptives) que l'adjonction de feedback sur la performance permettait d'améliorer l'apprentissage. Swinnen et ses collaborateurs, dans une série d'expérimentations, ont notamment montré que l'apprentissage d'une coordination complexe des deux membres supérieurs était significativement facilité par l'adjonction d'un feedback visuel illustrant l'évolution de paramètre d'ordre (il s'agissait dans ce cas du rapport de fréquence entre les deux avant-bras; pour de plus amples détails, voir Swinnen *et al.*, 1997). Par ailleurs, Vereijken et Whiting (1990) ont montré, dans une série de travaux sur l'apprentissage sur un simulateur de ski, que les sujets ne tiraient pas de bénéfices de feedback relatifs à des variables telles que l'amplitude, la fréquence ou la fluidité du mouvement. Les auteurs concluent à l'inutilité des feedback, pour peu que la tâche présente un certain niveau de complexité. Cette conclusion nous semble prématurée, et les travaux de Swinnen montrent clairement que le feedback peut représenter une aide fondamentale à l'apprentissage, notamment dans les tâches de compétition. On peut faire l'hypothèse que le feedback n'est en fait efficace que dans la mesure où il porte sur le paramètre d'ordre, c'est-à-dire sur une variable "capturant" l'essentiel de la coordination. Vereijken (1991) a d'ailleurs suggéré que les variables utilisées dans son travail précédent sur le simulateur de ski (amplitude, fréquence, fluidité) n'étaient que des variables locales, non-essentiels. dans le cas du simulateur de ski, le paramètre d'ordre pertinent paraît être le décalage de phase entre les oscillations du chariot sur lequel repose le sujet, et les oscillations verticales du centre de gravité. Bien que plausible, cette hypothèse n'a pas encore été testée à notre connaissance.

D'autres procédures d'optimisation de l'apprentissage peuvent être suggérées: on l'a indiqué plus haut, le problème pour le sujet dans les situations de compétition est dans un premier temps de quitter ses coordinations spontanées. On peut supposer que si l'on arrive à diminuer la force des attracteurs naturels, en jouant sur un paramètre de contrôle pertinent, on facilitera l'acquisition de comportements nouveaux. Lorsque nous avons introduit ce concept de paramètre de contrôle (voir partie 2.2.1.4.), nous avons évoqué les modifications qualitatives soudaines du comportement que l'évolution de ces paramètres pouvait entraîner. Avant de déclencher ces transitions spectaculaires, l'évolution des paramètres de contrôle résulte en des altérations plus continues des attracteurs du système: une évolution mesurée d'un paramètre de contrôle peut entraîner le "creusement" progressif de l'attracteur (le comportement correspondant devient progressivement plus stable, plus disponible), et une évolution en sens inverse produira au contraire un comblement progressif du bassin d'attraction (le comportement devient de moins en moins stable, et il est plus facile de le quitter).

Walter et Swinnen (1992) ont par exemple montré dans une situation où les sujets devaient apprendre à mobiliser les avant-bras selon un rapport de fréquence 2:1 (un avant-bras fait deux flexions pendant que l'autre n'en fait qu'une), qu'en réduisant la vitesse d'exécution (paramètre de contrôle) on réduisait la force d'attraction de la coordination spontanée 1:1 (les deux avant-bras oscillant à la même fréquence) et que les sujets adoptaient plus aisément le pattern visé.

De manière inverse, on peut agir sur un paramètre de contrôle pour rendre disponible, donc stable, une coordination non attractive à l'origine. Wagenaar et van Emmerick (1994) ont par exemple montré qu'il était possible de rééduquer la coordination de marche de sujets handicapés, en leur imposant sur tapis roulant une vitesse de déplacement supérieure à celle qu'ils adoptaient spontanément: les patients retrouvent alors une coordination similaire à celle des sujets valides.

Il faut garder à l'esprit que cette action sur le paramètre de contrôle ne favorise qu'indirectement l'apprentissage: elle rend plus disponible le pattern à apprendre, et en permet l'exercice et la répétition. Il ne s'agit donc pas d'un processus quelque peu magique, suscitant un apprentissage par insight, mais d'une aide, favorisant le travail du comportement nouveau.

L'apprentissage dans les situations de convergence.

Dans ce cas, l'objectif est d'optimiser une coordination spontanée du système. C'est une situation relativement courante dans les apprentissages sportifs, par exemple en athlétisme, où il s'agit davantage d'exploiter une motricité spontanée (courir, sauter, lancer) que de la contrarier (on pourrait évoquer ici néanmoins le cas inverse de la marche athlétique, où l'on contrarie délibérément un attracteur naturel du système).

On peut supposer qu'alors la stratégie d'un enseignant doit consister à accroître la force des attracteurs naturels, en jouant à nouveau sur les paramètres de contrôle pertinents. A notre connaissance, aucun travail de recherche n'a à ce jour été réalisé sur ces aspects.

Conclusion

Les pages qui précèdent rendent compte d'un aspect de la littérature encore peu développé. Jusqu'à présent, les approches classiques n'ont guère été convaincantes sur la question de l'apprentissage des coordinations complexes, et l'approche dynamique s'est davantage posé des problèmes de contrôle moteur que d'acquisition. Il y a là, cependant une problématique de premier ordre, tant les coordinations motrices complexes sont centrales dans la motricité sportive et les principes de leur acquisition au coeur des interrogations des intervenants.

La lourdeur des protocoles expérimentaux et la complexité des modèles sous-tendant cette approche constituent sans doute un frein puissant à sa pleine expression. Nous avons du le plus souvent nous contenter d'hypothèses, de pistes de réflexion, ou d'exemples expérimentaux que le lecteur aura pu trouver encore bien éloigné de la motricité sportive. Cette approche nous semble cependant porteuse, pour l'avenir, de féconds développements.

Références:

Arutyunyan, G.H., Gurfinkel, V.S. & Mirskii, M.L. (1968). Investigation of aiming at a target. *Biophysics*, **13**, 536-538.

Bernstein, N.A. (1967). *The coordination and regulation of movements*. Oxford: Pergamon Press.

Delignières, D., Geoffroy, V., Nourrit, D. & Durand, M. (1996). *Energy Expenditure And Efficiency In The Learning Of A Complex Cyclical Skill*. Communication présentée au 1st Annual Congress of ECSS, Nice, 28-31 Mai 1996.

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.

Durand, M. (1992a). Optimisation de la performance: étude dans les tâches constituant une sollicitation optimale. *STAPS*, **27**, 7-19.

Durand, M. (1992b). Optimisation de la performance: étude dans les tâches constituant une sollicitation non optimale. *STAPS*, **28**, 41-57.

Durand, M., Geoffroy, V., Varray, A. & Préfaut, C. (1994). Study of the energy correlates in the learning of a complex self-paced cyclical task. *Human Movement Science*, **13**, 785-799.

Famose, J.P. (1987). Analyse et enseignement des habiletés motrices: l'intérêt de l'approche écologique, in Laurent M. et Therme P. (eds), *Recherches en Activités physiques et Sportives*, **2**, 343-358, Marseille: UEREPS, Université Aix-Marseille II.

Famose, J.P. (1990). *Apprentissage moteur et difficulté de la tâche*. Paris: INSEP.

- Famose, J.P., Hébrard, A., Simonet, P., & Vivès, J. (1979). *Contribution de l'"aménagement matériel du milieu" à la pédagogie des gestes sportifs individuels*. Compte rendu de fin d'étude d'une recherche financée par la DGRST. Paris: INSEP.
- Kamon, E. & Gormley, J. (1968). Muscular Activity Pattern for Skilled Performance and During Learning of a Horizontal Bar Exercise. *Ergonomics*, **11**, 345-357.
- Kelso, J.A.S. , Holt, K.G., Rubin, P. & Kugler, P.N. (1981). Patterns of Human Interlimb Coordination Emerge from the Properties of Non-Linear, Limit Cycle Oscillatory Processes: Theory and Data. *Journal of Motor Behavior*, **13**, 226-261.
- Newell, K.M. & McDonald, P.V. (1995). Learning to coordinate redundant biomechanical degrees of freedom. In: S. Swinnen, H. Heuer, J. Massion and P. Casaer (Eds.), *Interlimb coordination: Neural, dynamical and cognitive constraints* (pp. 515-536). New York: Academic Press.
- Newell, K.M. & van Emmerik, R.E.A. (1989). The acquisition of coordination: Preliminary analysis of learning to write. *Human Movement Science*, **8**, 17-32.
- Newell, K.M., Kugler, P.N., van Emmerik, REA, McDonald, P.V. (1989). Search strategies and the acquisition of coordinations. In S.A. Wallace (Ed.), *Perspectives on the coordination of movement* (pp. 85-122). North-Holland: Elsevier.
- Schmidt, R.A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Exercise and Sport Science Review*, **4**, 229-261.
- Sparrow, W.A. & Irizarry-Lopez, V.M. (1987). Mechanical Efficiency and Metabolic Cost as Measures of Learning a Novel Gross Motor Task. *Journal of Motor Behavior*, **19**, 240-264.
- Sparrow, W.A. (1983). The efficiency of Skilled Performance. *Journal of Motor Behavior*, **15**, 237-261.
- Swinnen, S.P.; Dounskaia, N., Walter, C.B. & Serrien, D.J (1997). Preferred and induced coordinations modes during the acquisition of bimanual movement with a 2:1 frequency ratio. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **23**, 1087-1110.
- Swinnen, S.P. (1996). Information feedback for motor skill learning: a review. in H.N. Zelaznik (Ed.), *Advances in Motor Learning and Control* (pp. 37-66). Champaign, Ill: Human Kinetics.
- Vereijken, B. & Bongardt, R. (1998). Complex motor skill acquisition. In Y. Vanden Auweele, F. Bakker, S. Biddle, M. Durand & R. Seiler (Eds.), *Psychology for Physical Educators* (pp. 233-256). Champaign, Ill.: Human Kinetics.
- Vereijken, B. & Whiting, H.T.A. (1990). In defence of discovery learning. *Canadian Journal of Sport Psychology*, **15**, 99-106.
- Vereijken, B. (1991). *The dynamics of skill acquisition*. Amsterdam: Free University of Amsterdam.
- von Holst (1973). *The behavioral physiology of animals and man*. Coral Gables, FL: University of Miami Press.

Wagenaar, RC & van Emmerick, REA (1994). Dynamics of pathological gait. *Human Movement Science*, **13**, 441-471.

Whiting HTA Vogt S & Vereijken, B. (1992). Human skill and motor control: somme aspects of the motor control- motor learning relation. In J.J. Summers (Ed.), *Approaches to the study of Motor Control and Learning* (pp. 81-111). Elsevier.

Winnikamen, F. (1990). *Apprendre en imitant?* Paris: PUF.

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.

Résumé: Le problème du débutant, face à une tâche nouvelle, peut être considéré comme celui de la maîtrise de ses multiples degrés de liberté. Une solution souvent adoptée lors des premiers essais renvoie à la fixation de certaines articulations: le débutant réalise alors la tâche en ne mobilisant qu'un nombre restreint de joints articulaires. Une autre solution consiste à recourir à des coordinations extrêmement simples, caractérisées par une synchronisation absolue des phases et des fréquences, entre les principaux oscillateurs du système. Cette première étape est dépassée par la libération progressive des degrés de libertés précédemment gelés, et leur incorporation dans des coordinations plus complexes, et plus adaptées aux exigences de la tâche. Les coordinations expertes sont caractérisés par une exploitation efficace des propriétés mécanique du système. L'aide à l'apprentissage peut porter sur des instructions, portant sur les variables essentielles de la coordination à réaliser. Le feed-back est également une aide efficace, à condition qu'il porte également sur ces variables essentielles. Enfin on peut envisager d'agir sur les paramètres de contrôle du système, soit pour réduire l'influence des coordinations spontanées, soit pour rendre plus disponible la coordination à apprendre.

Pour en savoir plus:

Vereijken, B. & Bongardt, R. (1998). Complex motor skill acquisition. In Y. Vanden Auweele, F. Bakker, S. Biddle, M. Durand & R. Seiler (Eds.), *Psychology for Physical Educators* (pp. 233-256). Champaign, Ill.: Human Kinetics.