

L'ACQUISITION DES HABILITES MOTRICES COMPLEXES

D. Delignières, Université Montpellier I

L'objectif de ce cours est de faire un point théorique sur les connaissances actuelles dans le domaine de l'apprentissage moteur. Nous ne viserons pas l'exhaustivité, l'espace dont nous disposons nous obligeant à faire des choix dans une littérature abondante. Nous nous contenterons donc de présenter les résultats et les théories qui nous paraissent les plus utiles dans l'optique du concours. Les travaux que nous allons évoquer sont pour la plupart issus de recherches de laboratoire. Dans la mesure du possible, nous tenterons de les faire entrer en résonance avec des illustrations de terrain, avec toutes les précautions que cet exercice impose : d'une part, parce qu'un travail de laboratoire ne peut en aucun cas rendre compte de la complexité des situations scolaires, et d'autre part parce qu'une connaissance scientifique, aussi solide soit-elle, n'a pas vocation à dicter à un enseignant son comportement face aux élèves.

Quelques définitions peuvent être proposées en introduction. Selon Reuchlin (1983), « il y a apprentissage lorsqu'un organisme, placé plusieurs fois de suite dans la même situation, modifie sa conduite de façon systématique et durable ». Définition moyennement pertinente, car si elle permet de dire quand il y a eu apprentissage, elle ne définit pas réellement ce qu'il représente. L'apprentissage n'est pas la modification comportementale elle-même, mais le processus interne qui l'a permise et dont elle constitue l'indice: "l'apprentissage est le processus neurologique interne supposé intervenir à chaque fois que se manifeste un changement qui n'est dû ni à la croissance, ni à la fatigue" (Fleischman, 1967). L'habileté est le produit de l'apprentissage: Durand (1987) la définit comme la "capacité [...] à élaborer et à réaliser une réponse efficace et économique pour atteindre un objectif précis". L'habileté est donc une expertise spécifique, et ce sens scientifique se démarque nettement de l'acception courante caractérisant l'adresse générale d'un sujet. On a enfin souvent tendance à restreindre le concept d'habileté au domaine moteur. Le concept d'habileté peut en fait s'appliquer à toute activité humaine dirigée vers un but et efficace dans son atteinte. L'habileté motrice ne constitue dans ce sens qu'une catégorie, caractérisée par l'importance essentielle de la réponse motrice.

Il convient enfin de bien distinguer deux thématiques de recherches, parfois confondues dans les esprits : d'une part le contrôle moteur, et d'autre part l'apprentissage moteur. Les théories du contrôle moteur tentent de rendre compte de la manière dont les sujets produisent des comportements moteurs adaptés aux contraintes de tâches spécifiées. On se situe ici dans une problématique de production. Les théories de l'apprentissage visent à comprendre comment un sujet s'adapte à une tâche inédite, par l'adoption d'un comportement nouveau. On se situe alors dans une problématique d'acquisition. D'une manière générale, les théories du contrôle moteur s'intéressent à la gestion des habiletés sur-apprises, c'est-à-dire à la motricité de l'expert. A l'inverse les théories de l'apprentissage portent sur la construction de l'habileté.

De manière paradoxale, si de nombreux laboratoires travaillent sur le contrôle moteur, les travaux portant spécifiquement sur l'apprentissage sont assez rares. Ce qui ne va pas sans poser certains problèmes, le plus courant étant une tendance à utiliser des résultats obtenus dans le cadre de recherches sur le contrôle moteur, pour en déduire sans plus de vérification des conclusions sur la manière dont l'apprentissage peut avoir lieu. Comparer, par exemple, des experts et des novices dans une tâche donnée ne renseigne en rien sur la manière dont les seconds pourraient à un moment donné atteindre le niveau de performance des premiers. Les recherches sur l'apprentissage reposent sur des protocoles particuliers, souvent coûteux en temps, ce qui explique leur relative rareté dans la littérature scientifique. Un certain nombre d'auteurs, dans des revues récentes sur le sujet, ont clairement montré que ces deux types d'approches étaient fortement cloisonnées, et que l'une était peu susceptible d'étayer le développement de l'autre (voir notamment Newell, 1991).

L'apprentissage est une problématique très vaste. Il convient tout d'abord d'identifier clairement ce qui est appris : l'apprentissage moteur apparaît dès lors comme un cas particulier, à côté des apprentissages conceptuels, des apprentissages d'attitudes, etc. L'avancée de la recherche suggère de plus en plus la spécificité de l'apprentissage : en d'autres termes, on n'apprend pas une habileté motrice comme on apprend une langue étrangère ou un théorème de mathématique. Il n'existe pas de « lois » générales de l'apprentissage, transversales à l'ensemble des secteurs de l'activité humaine. Certains ont cru trouver chez des auteurs tels que Piaget, Galpérine, ou Giordan, des théories susceptibles de rendre compte de tout type de processus d'apprentissage, y compris au niveau moteur. On peut même dire qu'il y a une dangereuse habitude, en Education Physique, à déduire les pratiques du dernier modèle à la mode, fût-il importé d'un domaine complètement étranger à la motricité, plutôt que de se livrer au travail plus ingrat de l'expérimentation. Piaget lui-même avait été assez surpris de l'engouement que ces théories avaient pu engendrer en Education Physique, et on peut citer pour mémoire la réponse –assez ironique– qu'il avait fait à Raymond Thomas lorsque ce dernier l'avait pour une contribution dans la revue *Sport et Sciences* : « ... malheureusement je n'ai pas la moindre notion ni n'ai fait la moindre recherche sur les relations entre l'éducation physique et le développement cognitif. Par contre, je puis vous recommander M. André Boder, assistant de Mlle Inhelder en psychologie génétique, qui s'intéresse à l'éducation physique en tant que passionné de parachutisme » (Arnaud et al., 1981).

Par ailleurs, ce n'est parce qu'une théorie traite explicitement de l'apprentissage moteur, qu'elle est nécessairement pertinente dans le cadre de l'Education Physique. Les apprentissages, en Education Physique, portent généralement sur des habiletés globales, c'est-à-dire mobilisant l'ensemble du corps (ce que les anglo-saxons appellent *gross motor skills*). Or de nombreux travaux expérimentaux portent sur l'apprentissage de tâches beaucoup plus simples, par exemple ne faisant parfois appel qu'à une seule articulation ! Wulf et Shea (2002), après examen d'une bonne partie de la littérature récente, suggèrent que la manière dont une tâche simple est maîtrisée diffère de l'acquisition d'une habileté plus complexe. Les auteurs s'accordent à affirmer qu'une tâche peut être définie comme complexe dans la mesure où elle exige le contrôle d'un grand nombre de degrés de liberté (par opposition à des tâches ne justifiant l'utilisation que d'une seule articulation), où sa maîtrise ne peut être envisagée dans le cadre d'une seule session d'apprentissage, et également dans la mesure où elle possède une certaine pertinence écologique. Les auteurs analysent les travaux réalisés sur un certain nombre de facteurs, tels que l'utilisation du feedback, de la démonstration, des instructions, de stratégies d'enseignement telles que l'interférence contextuelle, et montrent que les résultats acquis dans des expérimentations portant sur des tâches simples ne peuvent être sans précautions généralisés aux tâches complexes.

Nous nous sommes restreints le plus souvent aux expérimentations de laboratoire, étudiant l'apprentissage de sujets volontaires, parfois rémunérés, et agissant la plupart du temps en isolé. Ces caractéristiques renvoient aux exigences de la méthode expérimentale, qui exige la standardisation de nombreux paramètres et une relative parcellisation des objets de recherche. Il s'ensuit cependant un sévère décalage d'avec les contraintes des situations réelles d'enseignement, qu'il conviendra de garder en perspective. Les élèves sont dans une situation d'obligation, dans une activité qu'ils n'ont le plus souvent pas choisie, et sont contraints à agir dans le cadre de leur classe ou du groupe constitué pour l'occasion. Enfin, leur activité s'inscrit dans un cursus scolaire, avec un jeu institutionnel d'évaluation, d'orientation, générant des stratégies qui peuvent déborder largement une simple motivation d'accomplissement face à une tâche sportive. C'est dire si les travaux dont nous allons rendre compte ne peuvent donner qu'une image appauvrie de la réalité des conduites d'apprentissage en cours d'Education Physique. Ceci n'est pas affirmé pour détourner les candidats de ces connaissances, mais surtout pour les inciter à prendre du recul dans leur utilisation. Ce n'est parce qu'un chercheur fait l'hypothèse que le système nerveux central fonctionne comme une machine traitant de l'information que le professeur d'Education Physique peut s'arroger le droit de considérer ses élèves comme des ordinateurs ambulants.

Dans une première partie, nous présentons les fondements des deux courants théoriques majoritaires dans le champ du contrôle moteur : d'une part les théories cognitivistes, et d'autre part les

approches dynamiques. Les premières ont notamment été marquées par les travaux de Schmidt, et ont été importées dans la littérature de l'Éducation Physique par Jean-Pierre Farnose dans les années 1980. Les secondes sont apparues voici une vingtaine d'années, et occupent maintenant une place de leader dans la production scientifique. Leur vulgarisation est encore confidentielle, mais semble inéluctable (Delignières, 1998 ; Delignières, Teulier & Nourrit, 2006 ; Temprado & Montagne, 2002).

Une seconde partie passe en revue les travaux qui ont tenté de rendre compte de l'évolution du comportement au cours de l'apprentissage. Cette perspective longitudinale est essentielle, car elle permet de décrire non pas seulement le produit de l'apprentissage, mais surtout son histoire. Or c'est bien avec la gestion de cette histoire que l'enseignant est confronté. Il s'agit de guider l'élève dans ce cheminement, et il apparaît dès lors essentiel d'en comprendre la logique.

Une troisième partie s'intéressera à un ensemble de travaux ayant tenté de rendre compte des facteurs susceptibles de favoriser l'apprentissage. L'objectif de l'enseignant est en effet non seulement de provoquer l'apprentissage, mais surtout de l'accélérer, et de le pousser le plus loin possible dans le temps dont il dispose. Les résultats exposés dans cette partie peuvent fournir les bases d'une réflexion proprement didactique, en prenant en considération les caractéristiques des activités dans lesquelles ces apprentissages s'inscrivent.

Une quatrième partie portera sur le rôle des connaissances déclaratives (en d'autres termes, ce que l'élève est capable de dire à propos de son activité), lors de l'apprentissage. Pour des raisons diverses, de nombreux théoriciens de l'Éducation Physique ont insisté sur la nécessité de passer par des phases de verbalisation, ou d'explicitation, pour favoriser l'apprentissage et son transfert. Nous tenterons de montrer que ces relations entre connaissances et habileté sont complexes, et doivent être appréhendées avec circonspection.

Enfin, une dernière partie, portera sur la notion d'efficacité. Il s'agit d'une notion-clé, au carrefour de la physiologie, de la biomécanique et de la psychologie. L'efficacité renvoie à la capacité à atteindre un certain niveau de performance, en optimisant la dépense énergétique. Souvent conçue comme une caractéristique essentielle de l'expertise, certains auteurs la voient comme le moteur de l'apprentissage (Sparrow, 1983).

Références

- Arnaud, P., Bruant, G., Buono, A., Catteau, C., Farnose, J.P., Hébrard, A., Mérand, R., Michon, B., Parlebas, P., Thill, E., Vigarello, G. & Watteau, N. (1981). Jean Piget (1896-1980). *Revue EPS*, 167, 6-19.
- Delignières, D. (1998). Apprentissage moteur: Quelques idées neuves. *Revue EPS*, 274, 61-66.
- Durand, M. (1987). *L'enfant et le sport*. Paris: PUF.
- Delignières, D., Teulier, C. & Nourrit, D. (2006). Approche dynamique de l'apprentissage des coordinations motrices : un point sur les recherches actuelles. *Revue EPS*, 322, 5-12.
- Fleischmann, E.A. (1967). Human abilities and the acquisition of skill. In E.A. Bilodeau (Ed.), *Acquisition of skill*. New York: Academic Press.
- Newell, K.M. (1991). Motor Skill Acquisition. *Annual Review of Psychology*, 42, 213-237.
- Reuchlin, M. (1983). *Psychologie*. Paris: PUF.
- Temprado, J.J. & Montagne, G. (2001). *Les coordinations perceptivo-motrices*. Paris: Armand Colin
- Wulf, G., & Shea, C.H. (2002). Principles derived from the study of simple skills do not generalize to complex skill learning. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9, 185-211.

1. LES THEORIES DU CONTROLE MOTEUR : PRESCRIPTION VERSUS EMERGENCE

La recherche scientifique sur le contrôle moteur et l'apprentissage a été déchirée durant une dizaine d'années par l'opposition entre les théories cognitivistes, considérant que la réponse motrice est le reflet d'un traitement de l'information opéré par le système nerveux central, et les théories dynamiques, mettant l'accent sur les processus d'auto-organisation sous-tendant l'émergence des coordinations motrices et leur évolution au cours de l'apprentissage. Ce conflit c'est quelque peu apaisé ces derniers temps, et on peut dire que le dialogue au sein de la communauté des chercheurs s'est plus ou moins « normalisé ».

Si à l'heure actuelle, les théories dynamiques sont les plus actives au niveau de la recherche, elles n'ont que peu diffusé à l'extérieur du cénacle des revues spécialisées. En revanche, les modèles cognitivistes ont été largement vulgarisés, notamment par les travaux de Famoso (1990, par exemple), et sous-tendent de nombreuses propositions didactiques en Education Physique. Une présentation synthétique des deux théories semble dans un premier temps nécessaire.

1.1. Les théories cognitivistes

1.1.1. Le traitement de l'information

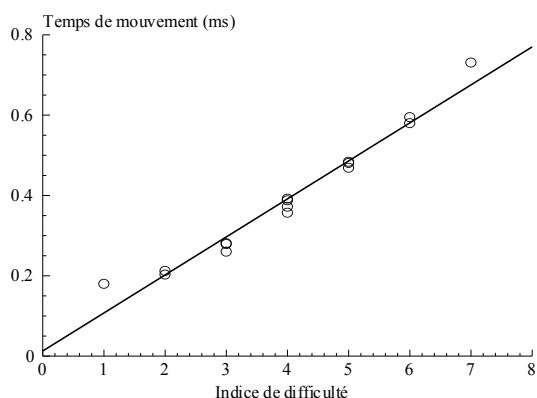
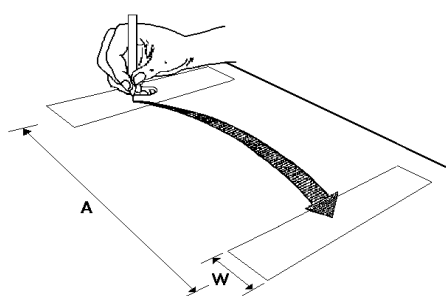


Figure 1.1. : En haut, la tâche de Fitts (1954). En bas, la relation obtenue par l'auteur entre l'indice de difficulté (quantité moyenne d'information à traiter par pointage), et le temps de mouvement.

Comme de nombreuses théories relatives au fonctionnement de l'organisme, les modèles cognitivistes reposent sur une métaphore machinique : l'assimilation de l'organisme à un ordinateur, à une machine à traiter l'information (Canguilhem, 1971). Au sortir de la seconde guerre mondiale, un groupe de chercheurs anglo-saxons ont testé avec succès cette hypothèse, dans une suite d'expériences fameuses. Hick (1952) a notamment montré que le temps que les sujets mettaient à répondre à un signal lumineux était proportionnel à la quantité d'information qu'ils devaient traiter pour prendre leur décision. Dans le même registre, Fitts (1954) a montré dans une tâche de pointage réciproque (voir figure 1.1.) que le temps de mouvement (le temps pour aller d'une cible à l'autre, était proportionnel à la quantité d'information à traiter pour réaliser un pointage précis.

Ces travaux légitiment l'hypothèse cognitiviste du traitement de l'information, et vont inciter les chercheurs à étudier la nature des processus cognitifs qui s'intercalent entre la présentation du stimulus et la production de la réponse motrice. L'hypothèse la plus couramment acceptée est que ces opérations consistent en une succession d'étapes, ou stades de traitement, spécialisés dans un traitement particulier de l'information. Ces opérations successives sont responsables de l'identification du stimulus, de la

décision relative à la réponse à déclencher, de l'organisation de cette réponse, et enfin de sa réalisation et de son contrôle. La figure 1.2. présente une des versions les plus simples de ces modèles, proposée par Schmidt (1982).

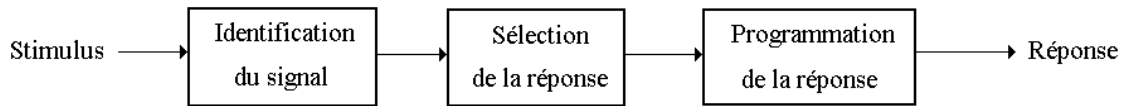


Figure 1.2. : Modèle sériel de traitement de l'information (d'après Schmidt, 1982).

L'information transite successivement par chacun des stades, dans un ordre intangible. Chacune de ces étapes prend du temps, et chaque stade traite l'information fournie par le stade précédent. Chacun de ces stades est affecté sélectivement par certaines caractéristiques de la tâche. Le stade perceptif, responsable de l'identification du stimulus, est ainsi affecté par des variables telles que le contraste du signal, la qualité du signal, sa discriminabilité. Le stade de sélection de la réponse est évidemment affecté par le nombre d'alternatives auquel est confronté le sujet, et également par la compatibilité entre le stimulus et la réponse, déterminée par le caractère naturel de l'association. Enfin le versant moteur, chargé de la programmation motrice, est affecté sélectivement par des variables telles que la vitesse d'exécution, l'amplitude du mouvement, sa direction, la précision requise. Ces modèles ont été validés et progressivement enrichis grâce à une méthode expérimentale basée sur la

mesure du temps de réaction (pour une présentation en français, voir Temprado, 1994).

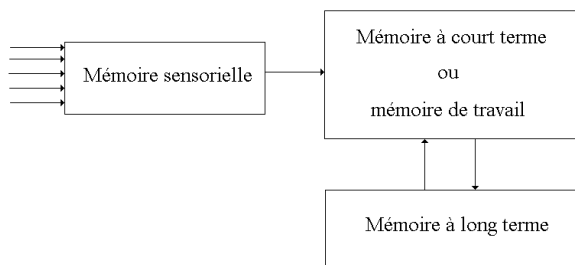


Figure 1.3. : le système des mémoires (d'après Thomas, 1980)

Une autre modélisation, complémentaire à la précédente, considère le système de traitement de l'information comme un système de mémoires (Figure 1.3). La mémoire sensorielle stocke, pour un temps très court, l'ensemble de l'expérience sensorielle du sujet. La mémoire de travail ne reçoit qu'une partie des informations disponibles en mémoire sensorielle. On suppose l'existence d'un filtre perceptif, qui ne laisse passer que les informations

pertinentes. Cette mémoire renvoie donc aux informations effectivement traitées par le système. Elle est caractérisée par une capacité limitée (on considère que pas plus de 7 unités d'information peuvent y séjourner simultanément), et une faible durée de stockage actif: une information n'y demeure disponible que quelques secondes. La mémoire à long terme possède à l'inverse une capacité considérée comme illimitée, et les informations peuvent être stockées sans limite de temps. On considère que c'est dans cette mémoire que sont stockées toutes les expériences passées du sujet, et notamment les apprentissages. Dans la logique de ce modèle, les processus cognitifs servent à assurer le transit de l'information entre ces différentes mémoires. On peut considérer que la chaîne de traitement de l'information identifiée précédemment correspond à la mémoire de travail, et que chaque stade de traitement dialogue avec des informations stockées dans la mémoire à long terme.

1.1.2. Les programmes moteurs

Le concept de programme moteur est lié à la métaphore informatique largement utilisée dans les théories du contrôle moteur. Dans sa définition la plus stricte, un programme moteur est constitué d'une série d'instructions destinées à sélectionner les groupes musculaires, et à régler l'intensité et le timing de leur contraction et relaxation: le programme moteur est une structure centrale, organisée avant le déclenchement de la réponse motrice et permettant son exécution sans influence des réafférences (Keele, 1968).

Quelques expériences fameuses ont permis de convaincre la communauté scientifique de la pertinence de cette notion de programme. Une des expériences les plus convaincantes est due à Wadman, Denier van der Gon, Geuze et Mol (1979). Les auteurs étudient l'activité électromyographique de l'agoniste (triceps) et de l'antagoniste (biceps) dans un mouvement rapide d'extension du coude (voir figure 1.4). On observe généralement un pattern caractéristique d'activité musculaire: (1) une bouffée de l'agoniste (triceps), qui lance le mouvement, (2) une bouffée de l'antagoniste destinée à ralentir le membre, et (3) une activation finale de l'agoniste destinée à stabiliser le segment en position finale. Lorsque que l'on bloque le mouvement en position initiale, sans prévenir le sujet, on observe un pattern d'activité absolument similaire. Alors que le feed-back provenant du segment est hautement perturbé, le mouvement semble se dérouler selon un plan prévu d'avance. Ce résultat infirme l'idée selon laquelle le feedback sert de déclencheur pour activer l'action de l'antagoniste, et suggère fortement que le mouvement soit entièrement programmé à l'avance par le système.

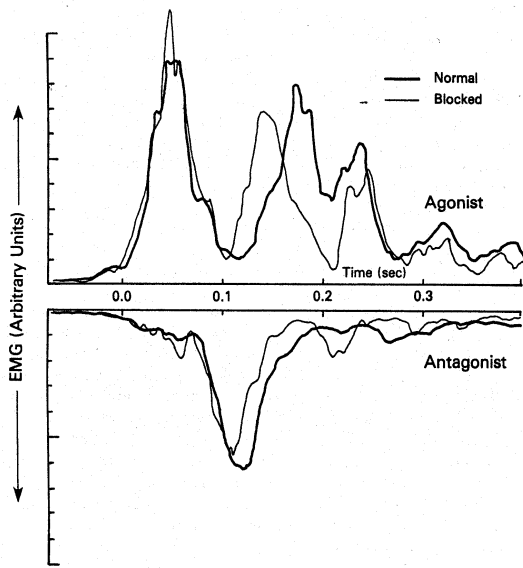


Figure 1.4.: Activité EMG du triceps et du biceps dans un mouvement rapide d'extension du coude. Les tracés fins représentent un mouvement qui a été bloqué mécaniquement au départ (d'après Wadman et al., 1979)

Dans sa conception classique, le programme moteur renvoie à un mouvement et à un seul. Cette approche pose deux problèmes redoutables: le premier est celui du stockage : comment concevoir un système capable d'assurer le stockage et le rappel des milliers de programme qui seraient alors constitués jour après jour par le sujet (Schmidt, 1975) ? Le second est celui de la nouveauté: comment peut-on expliquer qu'un

sujet soit capable d'organiser une réponse à peu près correcte, dans une tâche nouvelle? Selon Schmidt, l'expérience motrice serait plutôt stockée sous forme de programmes moteurs généralisés, relatifs non à un mouvement précis mais à une catégorie de mouvements caractérisés par une identité de structure.

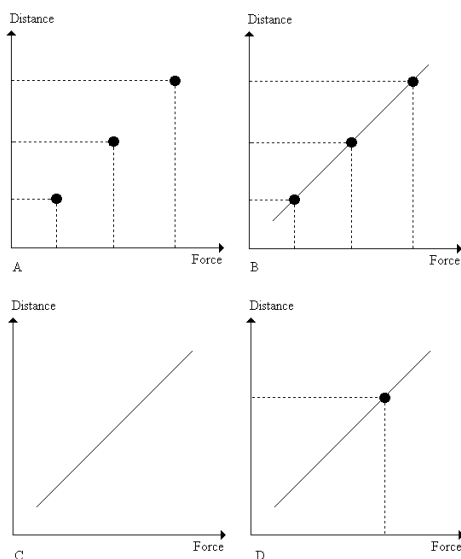


Figure 1.5. : Les étapes de construction d'une règle de paramétrisation d'un programme de lancer (d'après Schmidt, 1982).

Un programme généralisé ne spécifie que les invariants structuraux du mouvement, et notamment la structure temporelle relative (Schmidt, 1982). Certains paramètres demeurent non définis (amplitude, trajectoire, durée, vitesse,...) et doivent être spécifiés afin de produire le mouvement adapté à la situation présente. Cette adaptation est permise grâce à des règles intériorisées par le sujet mettant en relation certains paramètres du programme et les résultats de l'action. On peut par exemple représenter une telle règle de paramétrisation comme la droite de régression décrivant la relation entre la force d'un lancer et la distance réalisée (Figure 1.5.). Une fois cette relation constituée et consolidée par l'expérience, le sujet doit pouvoir trouver le paramètre (force de lancer) correspondant à une distance donnée, même s'il s'agit d'une distance inédite pour lui. La pertinence de ces règles de paramétrisation est selon Schmidt liée à la quantité et à la variabilité de la pratique. Enfin la théorie du schéma propose un cadre explicatif concernant le transfert: un programme généralisé pourrait

s'appliquer, au-delà des tâches qui ont servi de support à son apprentissage, à des tâches de structure voisine.

2. L'approche dynamique: la coordination comme propriété émergente.

Le comportement moteur, dans le cadre des théories dynamiques, est conçu comme un phénomène émergent d'un réseau de contraintes, liées soit à la tâche, soit à l'organisme, soit à l'environnement (Newell, 1986). Il faut comprendre par *contrainte* tout facteur susceptible de limiter les degrés de liberté du système, c'est-à-dire ses possibilités d'action. Le rôle des contraintes liées à l'organisme est aisé à illustrer. Chacun sait que la fréquence d'oscillation d'un pendule pesant, pour peu que ses oscillations soient de faible amplitude, est proportionnelle à sa longueur. Personne ne penserait à doter ce pendule d'un cerveau, ou d'une quelconque instance de contrôle prescrivant au système l'adoption de cette fréquence intrinsèque: ce comportement émerge spontanément des caractéristiques du pendule, dès lors qu'un déséquilibre est instauré. On a montré de manière similaire que la fréquence d'oscillation des membres, dans la locomotion, était étroitement liée à la longueur des membres impliqués dans le déplacement. Holt, Hamill et Andres (1990) parviennent ainsi à prédire la fréquence naturelle de marche à partir d'une simple équation pendulaire.

2.1. Les variables collectives

L'un des postulats majeurs de cette théorie est qu'il est possible de rendre compte du comportement du système, à un niveau macroscopique, par des *variables collectives* appelées encore *paramètres d'ordre*. Le paramètre d'ordre vise à "capturer", dans une mesure unique, la coordination des différents éléments constitutifs du système. Dans le domaine de la motricité, le système est souvent modélisé comme un ensemble d'oscillateurs fonctionnant simultanément et s'influençant réciproquement. Un paramètre d'ordre fréquemment utilisé pour rendre compte de la coordination de deux oscillateurs est leur *décalage de phase*. Prenons l'exemple de la tâche utilisée par Kelso, Holt, Rubin et Kugler (1981), qui consiste à réaliser des mouvements simultanés d'adduction-abduction avec les deux index (figure 1.6.). Par convention, la phase zéro correspond pour chaque index à l'adduction maximale. Si les deux index entrent en oscillation, à la même fréquence, de manière à ce qu'ils soient simultanément en adduction, puis en abduction, le décalage de phase restera en permanence égal à 0° . Par contre, si les deux index sont mobilisés "en essuie-glaces", le décalage de phase est constamment égal à 180° (lorsqu'un index est en adduction maximale, l'autre est en abduction maximale, et vice-versa).

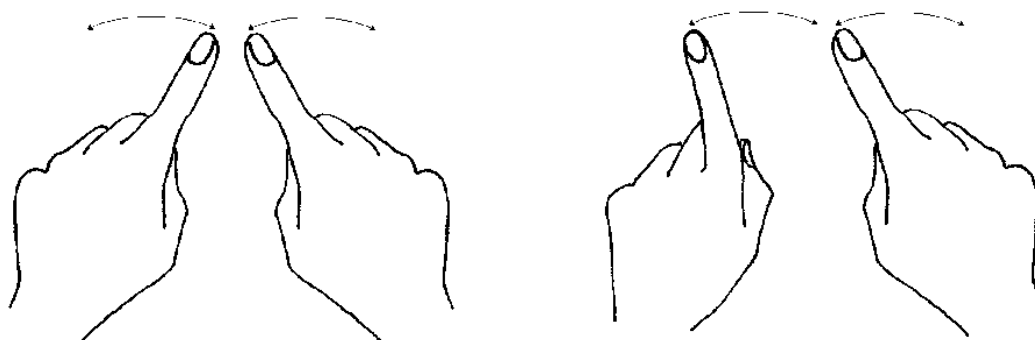


Figure 1.6.: La tâche de coordination bimanuelle de Kelso et al. (1981). Le schéma du haut représente la coordination en phase (décalage de phase 0°), le schéma du bas la coordination en antiphasse (décalage de phase 180°).

Il existe d'autres types de paramètres d'ordre, et notamment le *rapport de fréquences*. Un rapport 2:1 indique par exemple que l'un des oscillateurs a une fréquence deux fois plus élevée que l'autre. D'une manière générale, le paramètre d'ordre est un indice quantitatif, tentant de rendre compte de manière globale des caractéristiques qualitatives essentielles de la coordination. L'approche

dynamique étudie les propriétés macroscopiques de l'évolution des paramètres d'ordre, considérant que ces propriétés ne peuvent être déduites de l'étude séparée des éléments constituant le système.

2.2. La dynamique intrinsèque des systèmes

Un système tend à adopter, sous l'influence des contraintes qui le constituent et/ou qui pèsent sur lui, un certain type de comportement, que l'on peut qualifier de naturel, spontané ou préférentiel. C'est à ces coordinations préférentielles que l'on donne le nom d'*attracteur*. La principale caractéristique de l'attracteur est la stabilité du comportement correspondant. L'attracteur correspond à une certaine valeur du paramètre d'ordre, et la présence de l'attracteur est révélée par la faible variabilité du paramètre d'ordre lorsque le comportement est installé à ce niveau. Dans le cadre des tâches bimanuelles de Kelso *et al.* (1981), à faible fréquence d'oscillation, deux attracteurs apparaissent: les coordinations *en phase* et *en antiphase*. C'est-à-dire qu'un sujet à qui l'on demande de réaliser des oscillations simultanées des index adopte spontanément l'une ou l'autre de ces deux coordinations. Il est tout à fait possible de réaliser une coordination différente, par exemple un décalage de phase de 90° entre les deux index, mais dans ce cas la variabilité du décalage de phase sera plus grande d'un cycle à l'autre, le sujet devra investir de l'effort pour maintenir ce décalage, et le système tendra au bout d'un certain temps à se "réfugier" dans l'un des deux attracteurs du système, en phase ou en antiphase.

L'étendue du paramètre d'ordre (c'est-à-dire l'ensemble des coordinations possibles dans une situation donnée) est ainsi ponctuée d'attracteurs, et de *repellants* (ce concept renvoie aux coordinations les plus instables, les plus "antinaturelles": le décalage de phase 90° est l'un des

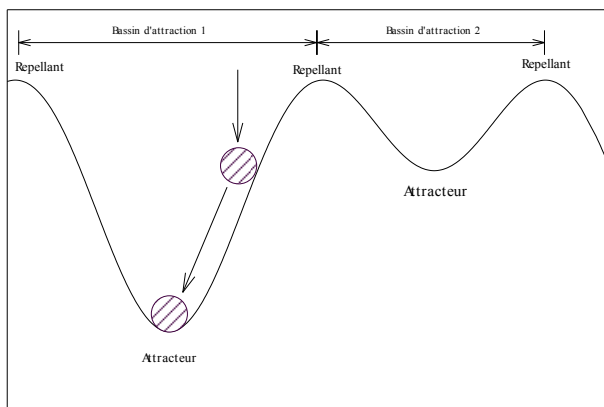


Figure 1.7.: Représentation schématique d'un paysage d'attracteurs. Les attracteurs correspondent aux coordinations préférées du système, et les repellants aux coordinations les plus instables. Le trajet de la bille représente l'évolution de la coordination, à partir d'un quelconque état initial.

repellants de la tâche bimanuelle dont nous parlerons plus haut). Il est courant, de manière métaphorique, de représenter les attracteurs par des "vallées" et les repellants par des "collines" (Figure 1.7.). On peut concevoir la *dynamique intrinsèque* du système (c'est-à-dire les tendances spontanées de son comportement) par la trajectoire d'une bille qui tomberait dans ce *paysage des attracteurs*: quelles que soient les conditions initiales de sa chute, la bille tendra naturellement à rejoindre l'une des vallées, c'est-à-dire l'une des coordinations spontanées du système. Au sein de ce paysage, un attracteur occupe le fond d'un bassin d'attraction, délimité par deux repellants. La profondeur de ce bassin est représentative de la force (et corrélativement de la stabilité) de l'attracteur.

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, & Micaléff, 1998). On verra dans le chapitre suivant l'importance de ces principes dans la compréhension du comportement des débutants, lors des étapes initiales de l'apprentissage.

2.3. Paramètres de contrôle et transitions de phase

On appelle *paramètre de contrôle* tout facteur non spécifique (c'est-à-dire ne déterminant pas directement le paramètre d'ordre), susceptible lorsqu'il évolue au-delà d'une valeur critique de modifier le paysage des attracteurs. Reprenons l'exemple des tâches bimanuelles: si l'on accroît la fréquence d'oscillation des deux index, un système oscillant en antiphase tend au delà d'une certaine fréquence à se déstabiliser et à se "réfugier" dans une coordination en phase. Alors qu'à faible fréquence deux attracteurs coexistent (le paysage des attracteurs ressemble alors à celui décrit en figure 1.7., avec deux bassins d'attraction correspondant aux coordinations en phase et en antiphase), au-delà d'une fréquence critique ne subsiste qu'un seul attracteur, en phase. Le paysage des attracteurs a bien été modifié par l'accroissement de la valeur d'un paramètre de contrôle: un bassin d'attraction a été "comblé" et a laissé sa place à une zone répulsive. On appelle *bifurcation* ou *transition de phase* la modification qualitative du comportement qui résulte de la modification du paysage des attracteurs. Cette transition se manifeste dans un premier temps par une déstabilisation de la coordination (accroissement de la variabilité du paramètre d'ordre autour de 180° dans l'exemple choisi), puis le paramètre d'ordre se stabilise sur une nouvelle valeur (0°).

Un autre exemple peut-être plus parlant est celui de la locomotion. Placé sur un tapis roulant à 5 km/h, un individu se met spontanément à marcher. Lorsque l'on augmente progressivement la vitesse, on observe brusquement, aux alentours de 7.5 km/h, un passage à la course. Le système admet pour attracteur, jusqu'à 7.5 km/h, une coordination de marche, puis un autre attracteur, correspondant à une coordination de course, se substitue au précédent au-delà de cette vitesse. La vitesse de déplacement constitue un paramètre de contrôle, qui au-delà d'une valeur critique modifie de manière fondamentale le paysage des attracteurs. On retrouve chez le cheval un tableau encore plus complexe, avec le passage successif du pas au trot, puis au galop.

Conclusion

On le voit, ces deux théories apportent des visions contrastées de la manière dont le mouvement est organisé et contrôlé. Les cognitivistes considèrent que la motricité est pilotée par des représentations construites au niveau central. On parle de théories prescriptives, au sens où une instance extérieure au système effecteur, planifie et ordonne la réalisation d'un programme. Les théories dynamiques insistent sur les propriétés d'auto-organisation qui permettent l'apparition de l'ordre dans les systèmes complexes, et considèrent qu'une part importante du comportement moteur pourrait être expliquée par de tels phénomènes. Nous avons en introduction évoqué la métaphore informatique, sur laquelle repose l'ensemble de l'approche cognitive : le système nerveux central est assimilé à un ordinateur. L'approche dynamique assimile plutôt le fonctionnement de l'organisme à celui des grands systèmes naturels, comme les masses météorologiques, les plaques tectoniques, les niches écologiques, ou les galaxies. Ces conceptions différenciées déboucheront évidemment sur des regards différents portés sur l'apprentissage.

Références

- Canguilhem, G. (1971). *La connaissance de la vie*. Paris: Vrin.
- Delignières, D., Nourrit, D., Sioud, R., Leroyer, P., Zattara, M. & Micaleff, J.P. (1998). Preferred coordination modes in the first steps of the learning of a complex gymnastics skill. *Human Movement Science*, 17, 221-241.
- Famose, J.P. (1990). *Apprentissage moteur et difficulté de la tâche*. Paris: INSEP.
- Fitts, P.M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47, 381-391.
- Hick, W.E. (1952). On the rate of gain of information. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 4, 11-26.
- Holt, K.G., Hamill, J. & Andres, R.O. (1990). Predicting the minimal energy cost of human walking. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23, 491-498.
- Keele, S.W. (1968). Movement control in skilled motor performance. *Psychological Bulletin*, 70, 387-403.

- 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. (1986). Constraints on the developpement of coordination. In M.G. Wade & H.T.A. Whitting (Eds.), *Motor Developpement in Children : Aspects of Coordination and Control*. (pp.341-360). Dordrecht : Nijhoff.
- Schmidt, R.A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Exercice and Sport Science Review*, 4, 229-261.
- Schmidt, R.A. (1982). *Motor control and learning: a behavioral emphasis*. Champaign: Human Kinetics Publishers.
- Temprado, J.J. (1994). Méthodes de chronométrie mentale et traitement de l'information. *Science et Motricité*, 22, 23-33.
- Thomas, J.R. (1980). Acquisition of skills. Information processing differences between children and adults. *Research Quartely for Sports and Exercise*, 51, 158-172.
- Wadman, W.J., Denier van der Gon, J.J., Geuze, R.H. & Mol, C.R. (1979). Control of fast goal-directed arm movements. *Journal of Human Movement Studies*, 5, 3-17.

2. LES ETAPES DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR

2.1. La mesure de l'apprentissage.

Un des moyens les plus utilisés pour mesurer l'apprentissage est de représenter l'évolution des performances avec la pratique. D'une manière générale, on montre une évolution curvilinéaire, avec des progrès rapides au début de l'apprentissage, puis des progrès de plus en plus lents. Certains auteurs ont modélisé cette courbe sous forme d'une loi puissance, la performance étant une fonction puissance du temps de pratique. Cependant les résultats ne sont pas toujours de ce type. En fonction de l'indicateur utilisé, la relation peut être linéaire, positivement accélérée, ou négativement accélérée. Par ailleurs, ces courbes représentent généralement des tendances moyennes, donnant l'illusion d'un développement linéaire du niveau de performance. L'examen des courbes individuelles laisse entrevoir plutôt des discontinuités, dénotant des crises, des réorganisations qualitatives du comportement au cours de l'apprentissage. Enfin, les courbes de performance ne mesurent pas réellement l'apprentissage. Ce dernier ne peut être appréhendé qu'au travers de l'analyse des effets à long terme de la pratique, au travers de tests de rétention et de transfert.

L'amélioration des performances avec la pratique ne peut en effet être considérée comme un indicateur valable de l'apprentissage. L'apprentissage étant défini comme une modification relativement permanente du comportement, ses effets doivent être testés au travers de tests de rétention: d'une manière générale, on propose aux sujets ayant réalisé une expérience d'apprentissage de réaliser nouveau la tâche, soit après quelques minutes de repos, soit dans certaines expériences, après une semaine ou un mois. Les tests de transfert constituent un second mode de vérification de l'apprentissage. Dans ce cas, on demande aux sujets, au terme de l'expérience, de réaliser une tâche différente de celle sur laquelle a porté l'expérience, mais suffisamment proche pour que la pratique dans la première tâche puisse influencer la réalisation de la seconde. On compare alors la performance des sujets à celles de sujets n'ayant pas réalisé l'expérience.

Souvent on remarque que la courbe des performances, au cours des sessions de pratique, n'est que faiblement prédictive de l'apprentissage réalisé. Certaines procédures (telles que la variabilité de la pratique, l'interférence contextuelle), ne semblent pas, dans un premier temps, permettre une amélioration significative de la performance. Ce n'est qu'au cours des tests de transfert et de rétention que leur efficacité s'exprime réellement. On pourra voir un exemple de résultat de ce type dans le chapitre suivant (Figure 3.1). Ces questions sont primordiales, notamment dans le cadre de l'EPS où l'on insiste sur le fait que les apprentissages doivent être durables et réinvestissables.

2.2. Les théories cognitives: l'apprentissage comme affinement du programme moteur.

Divers auteurs, dans le courant cognitiviste, ont décrit le processus d'apprentissage selon une succession de phases (Fitts, 1964, Schmidt, 1982). La première phase de l'apprentissage est marquée par une intense activité cognitive. On parle de *stade cognitif*, ou de *stade verbal-moteur*. La tâche est entièrement nouvelle pour le sujet, et son premier problème est d'identifier le but à atteindre et les moyens à mettre en oeuvre pour y parvenir. Les mouvements sont saccadés et fragmentés. La demande attentionnelle est très élevée et accapare complètement le sujet. On considère que ce stade est achevé lorsque le sujet a construit une première réponse satisfaisante à la tâche, c'est-à-dire qu'une première version du programme moteur généralisé est achevée.

Le *stade moteur* constitue la seconde étape, et consiste en un affinement progressif du programme moteur. Elle est caractérisée par l'accroissement de la régularité des réponses. C'est au cours de cette étape que les règles de paramétrisation, qui permettent l'ajustement du programme aux caractéristiques précises des tâches, sont fonctionnellement établies. Enfin le *stade autonome* est marqué par l'automatisation des processus, qui ne demande dès lors plus aucun contrôle attentionnel. Cette automatisation touche l'ensemble des processus, tant au niveau de la perception, de la décision que le l'exécution. Les progrès continuent cependant: Crossman (1959) a montré que la vitesse de

fabrication des cigares continuait d'augmenter après 7 ans de pratique. Ce stade autonome est également marqué par un accroissement de l'efficacité énergétique de l'habileté.

2.3. Bernstein: l'apprentissage comme maîtrise progressive des degrés de liberté.

L'approche dynamique de l'apprentissage a été marquée par les conceptions développées par le physiologiste russe Bernstein (1967), à partir du problème de degrés de liberté. Le problème des degrés de liberté est fondamentalement un problème de redondance: dans une activité complexe, le système présente davantage de degrés de liberté qu'il n'en est nécessaire pour réaliser la tâche. Selon Bernstein (1967), 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, l'exploration, puis l'exploitation 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.

Quelques expériences ont tenté de décrire dans ce sens le comportement du débutant. Arutyunyan, Gurfinkel et Mirskii (1968) analysent le comportement de tireurs débutants. Alors que l'on pouvait s'attendre à une grande variabilité articulaire, les auteurs montrent que le débutant rigidifie l'ensemble de ses articulations. Newell et van Emmerick (1989) analysent la cinématique des articulations du membre supérieur, durant une signature réalisée au tableau avec la main non dominante. Ce travail démontre un couplage serré entre les doigts et le poignet, et entre le poignet et le coude. La signature est en fait réalisée uniquement avec l'épaule. Vereijken (1991) étudie l'évolution de la coordination sur un simulateur de ski (Figure 2.1.). Elle met en évidence des couplages importants entre les diverses articulations des membres inférieurs. Lors des premiers essais, les sujets adoptent une stratégie conservatoire, minimisant les mobilisations articulaires.

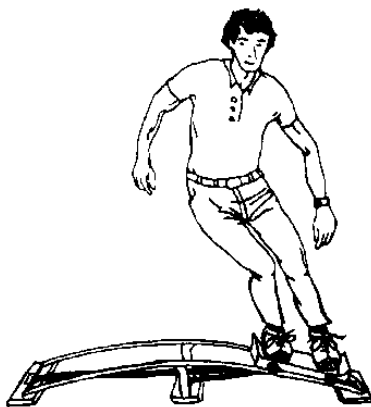


Figure 2.1 : Le simulateur de ski (Vereijken, 1991)

fonctionnelle.

Selon Bernstein, les progrès de l'habileté sont caractérisés dans une seconde étape par une libération graduelle du contrôle rigide 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 anarchique, 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

Par rapport à la première étape, les mouvements articulaires gagnent en amplitude, et le couplage inter-segmentaire diminue. Cette tendance est clairement démontrée par Vereijken (1991) dans son expérience sur le simulateur de ski. Arutyunyan, Gurfinkel et Mirskii (1968) montrent de leur part 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.

La libération des degrés de libertés semble suivre une logique céphalo-caudale, et proximo-distale. En d'autres termes, les articulations sollicitées en début d'apprentissage seraient situées près de l'axe rachidien, et plutôt vers le haut du corps. Petit à petit les articulations plus distales seraient recrutées et incorporées dans la coordination. Par exemple Newell et van Emmerick (1989) montrent que chez des sujets signant de leur main non-dominante (donc débutants), le mouvement est entièrement contrôlé par l'épaule, les autres articulations étant strictement gelées. Lorsque les sujets signent de la main dominante, les différentes articulation du sont mobilisées de manière indépendante.

Cette tendance directionnelle semble renvoyer aux observations décrites par Gesell dans le domaine du développement. Selon Gesell, cette tendance est le reflet de la poussée maturationnelle, qui rend progressivement disponible, dans une logique proximo-distale et céphalo-caudale les différents segments corporels. Cette hypothèse n'a cependant que peu de valeur lorsque l'on observe ces tendances chez l'adulte. Newell et McDonald (1995) avancent plutôt une hypothèse bio-mécanique, selon laquelle les muscles proximaux sont plus puissants, et permettent un contrôle plus économique de l'action.

Dans une troisième étape, cette organisation devient plus économique, notamment par une utilisation des forces passives de l'environnement. Cet aspect sera développé de manière approfondie dans la partie consacrée à l'efficacité. Cette démarche vers l'efficacité a été joliment illustrée par un travail réalisé par Durand, Geoffroi, Varray et Préfaut (1994) sur le simulateur de ski : les résultats

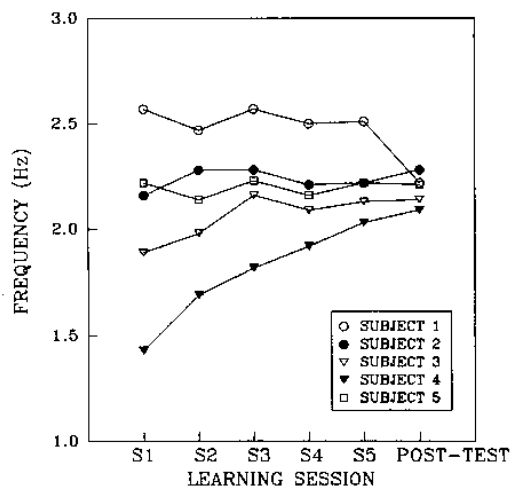


Figure 2.2. : Evolution de la fréquence d'oscillation au cours de l'apprentissage sur simulateur de ski (Durand et al., 1994)

montrent qu'avec l'apprentissage, les sujets convergent vers une fréquence commune (Figure 2.2.). Delignières, Geoffroi, Nourrit & Durand (1996) ont montré que cette fréquence commune était la fréquence la plus efficace. Dans un registre similaire, Delignières, Nourrit, Rioud, Leroyer, Zattara et Micallef (1998) ont montré que des experts, dans la réalisation des balanciers 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.

2.4. Coordinations spontanées et transitions vers la coordination experte

Bien que pertinent dans de nombreux cas, le principe du gel/dégel des degrés de liberté ne semble cependant pas pouvoir s'appliquer à toutes les situations. Souvent les tâches imposent au débutant d'adopter des comportements dans lesquels les mobilisations articulaires sont complexes et de grande amplitude, et ce dès les premiers essais. Un certain nombre d'auteurs ont récemment développé un nouvel axe de recherche, basé sur les idées suivantes : (1) le débutant confronté à une tâche nouvelle constitue un système complexe. Le comportement du débutant peut être compris en tant qu'attracteur de la dynamique intrinsèque de ce système. (2) Ces coordinations spontanées constituent le point de départ, la toile de fond sur laquelle l'apprentissage va se construire. D'où l'intérêt de comprendre les principes qui les organisent, et d'analyser en quoi ces coordinations spontanées peuvent faciliter ou contrecarrer l'apprentissage visé. (3) Le passage de la coordination spontanée du débutant à la coordination experte est conçu comme une transition de phase (voir le chapitre précédent pour les définitions des concepts employés ici).

D'une manière générale, les débutant confrontés à une tâche inédite tendent tous à adopter le même type de coordination. Ces coordinations spontanées semblent principalement déterminées par une tendance des différents segments corporels à synchroniser leurs oscillations: 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. Walter et

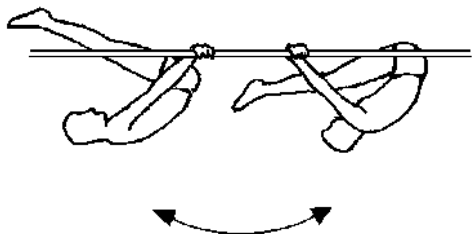


Figure 2.3. : Les balanciers en suspension mi-renversée (d'après Delignières et al., 1998)

Swinnen (1990) ont ainsi montré que lorsque des sujets devaient apprendre une coordination bimanuelle avec un rapport de fréquence de 2 :1 (une main oscillant deux fois plus vite que l'autre), les premières coordinations réalisées étaient « attirées » vers la synchronisation absolue en 1 :1. Delignières, et al. (1998) ont mis en évidence un phénomène similaire dans l'apprentissage des balanciers en suspension mi-renversée aux barres parallèles : le comportement du débutant est caractérisé par une synchronisation absolue du mouvement pendulaire et des actions d'ouverture/fermeture des membres inférieurs (Figure 2.3.). On retrouve chez des gymnastes experts une

coordination plus complexe (deux ouverture/fermeture des membres inférieurs pour un balancer pendulaire complet, décalage de phase de 90° à l'initiation de l'ouverture), qui leur permet d'utiliser de manière très efficace le travail de la pesanteur.

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. Mais que dire dans le cas d'une tâche inédite, entièrement nouvelle pour le système? Le concept de coordination spontanée, offre une réponse au problème de la nature du comportement des novices. 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). Retenons donc que l'apprentissage n'apparaît pas *ex-nihilo*, mais sur la base des coordinations spontanées 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* (dans le sens où la coordination à apprendre converge 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). Il s'agit là d'une classification fondamentale des situations d'apprentissage, dont nous allons tenter plus loin de montrer l'intérêt.

Les dynamiciens considèrent l'apprentissage comme un processus essentiellement discontinu (Newell, 1991). Ils s'opposent en cela aux approches classiques (voir plus haut la loi puissance). L'apprentissage serait marqué par de profondes réorganisations qualitatives. Un certain nombre de travaux ont en effet montré, dans les tâches complexes, que les comportements des experts différaient qualitativement de ceux des novices (Delignières et al., 1998 ; Temprado, Della-Grasta, Farrell & Laurent, 1997). La nature de la transition est cependant assez délicate à observer. Nourrit, Delignières, Deschamps, Caillou et Lauriot (2003) ont réussi à en rendre compte sur le simulateur de ski (voir Figure 2.1.). Cette expérimentation a permis de suivre les sujets durant une longue période d'apprentissage (39 séances de 10 minutes de pratique cumulée). La figure 2.4. rend compte de l'évolution du comportement, pour l'un des sujets ayant participé à l'expérience. La variable représentée (un coefficient d'amortissement) est liée à la manière dont les sujets forcent le simulateur

au cours des oscillations. Les valeurs négatives renvoient au comportement débutant, et les valeurs positives au comportement habile.

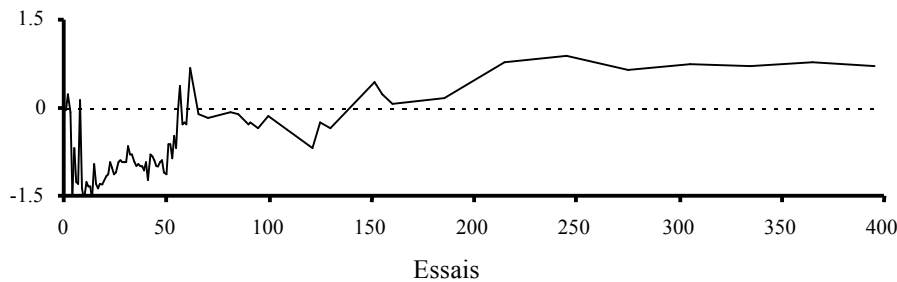


Figure 2.4. : Exemple d'évolution du comportement d'amortissement avec l'apprentissage sur le simulateur de ski, pour l'un des sujets testés (Nourrit et al., 2003).

On a trouvé des évolutions similaires pour tous les sujets. Trois résultats méritent d'être retenus : (1) Tout d'abord, le comportement « débutant » présente une certaine résistance au changement : il faut attendre pour ce sujet plus de 50 essais de une minute (on est largement au-delà de ce que les élèves réalisent durant un cycle d'EPS) pour observer une évolution significative du comportement. Un résultat similaire avait été mis en évidence par Delignières et al. (1998) sur les barres parallèles : après 80 essais, les sujets débutants n'avaient toujours pas qualitativement modifié leur comportement. (2) Tous les sujets transitent vers le même comportement « habile ». Le sujet dont les résultats sont présentés adopte ce comportement de manière consistante à partir de 200 essais de une minute. (3) Le passage du premier type de comportement au second n'est pas abrupt. Il s'effectue au cours d'une longue phase de transition, au cours de laquelle les sujets exploitent de manière alternée (souvent au cours du même essai), les deux comportements. Cette alternance est faite d'allers et retours extrêmement fréquents, et sur les habiletés cycliques étudiées (barres parallèles, simulateur de ski, balançoire) on la voit à l'œuvre au cours des cycles successifs d'un même essai. Tout se passe en fait comme si le sujet avait à sa disposition deux modes de coordinations : un premier qu'il maîtrise bien mais qui se révèle peu adapté à la tâche, et un second particulièrement efficace, mais qu'il ne domine pas encore. Au cours de cette phase d'alternance, le sujet semble en fait tester de manière ponctuelle le comportement expert, tout en se réfugiant fréquemment dans le comportement débutant.

Ce modèle de l'apprentissage est assez original, dans la mesure où il suggère une sorte de *coopération* entre la coordination débutante et la coordination experte. Il est plus traditionnel de voir les relations entre ces deux comportements sur le mode de l'opposition, la coordination experte devant se construire contre la coordination débutante, au prix d'une sorte de « désapprentissage » préliminaire.

Delignières, Teulier et Nourrit (2006) ont par ailleurs observé lors de la première phase de l'apprentissage un phénomène assez étonnant, qu'ils dénomment « dérive paramétrique » de la coordination débutante: lors de cette première phase, après que le débutant ait stabilisé sa coordination initiale, ils observent une légère modification de cette coordination, qui semble avoir pour fonction de « mettre à portée » la coordination experte, afin de permettre l'entrée dans la phase d'alternance. Ceci renforce cette idée d'une coopération entre les deux modes de coordination, le premier préparant l'émergence du second.

Enfin, au terme de cette phase d'alternance qui peut se prolonger sur plusieurs sessions de pratique, le sujet finit par exploiter de manière exclusive la coordination experte. Les progrès viendront par la suite avec la pratique, en terme d'affinement et de stabilisation du comportement.

La nature de la transition entre le comportement initial et le comportement habile semble dépendre de la « distance » qui les sépare. Zanone et Kelso (1997) montrent que lors de l'apprentissage d'une coordination bi-manuelle non présente à l'origine dans le répertoire des sujets,

l'apprentissage est réalisé dans certains cas par une véritable transition de phase, avec l'apparition d'une nouvelle zone de stabilité dans le paysage des attracteurs. C'est le cas lorsque le pattern à apprendre est qualitativement très éloigné des coordinations spontanées. On crée dans ce cas quelque chose de nouveau, en luttant contre l'influence des coordinations initiales. On se situe au niveau des situations de compétition dont nous parlions précédemment. Dans d'autres cas, lorsque le pattern à apprendre est relativement voisin d'un attracteur initial, l'apprentissage résulte plutôt d'un glissement progressif de l'attracteur, de sa position initiale à sa position finale. On peut dire ici que la coordination spontanée coopère pour permettre l'apprentissage.

Conclusion

L'ensemble des théories dont nous avons parlé mettent surtout l'accent sur le fait que l'apprentissage moteur est un processus qui demande du temps. Il n'est pas certain qu'en EPS, on installe souvent les conditions pour qu'un tel processus puisse avoir lieu. Les pratiques pédagogiques relèvent une forte propension au zapping didactique, peu propice à l'apprentissage. Enfin il nous semble que les travaux réalisés actuellement dans le cadre de l'approche dynamique peuvent permettre des avancées fructueuses au niveau de la compréhension du comportement des débutants, et de la manière de l'aider à dépasser ce premier stade. Si l'on en reste le plus souvent à l'heure actuelle au stade des travaux de laboratoire, les applications sur un terrain plus appliqué semblent envisageables (voir par exemple Beaubrun & Judey, 2001).

Références

- Arutyunyan, G.H., Gurfinkel, V.S. & Mirskii, M.L. (1968). Investigation of aiming at a target. *Biophysics*, 13, 536-538.
- Beaubrun, F., Judey, P. (2001). Approche dynamique et apprentissage du javelot. *Revue EPS*, 292, 13-17.
- Bernstein, N (1967). *The coordination and regulation of movement*. London: Pergamon Press.
- Crossman, E.R.F.W. (1959). A theory of the acquisition of speed skills. *Ergonomics*, 2, 153-166.
- 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.
- Delignières, D., Teulier, C. & Nourrit, D. (2006). Approche dynamique de l'apprentissage des coordinations motrices : un point sur les recherches actuelles. *Revue EPS*, 322, 5-12.
- 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 M. Laurent & P. Therme (Eds), *Recherches en Activités physiques et Sportives 2* (pp. 343-358). Marseille: UEREPS, Université Aix-Marseille II.
- Fitts, P.M. (1964). Perceptual-motor skills learning. In A.W. Melton, *Categories of human learning*. New York: Academic Press.
- 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. (1991). Motor Skill Acquisition. *Annual Review of Psychology*, 42, 213-237.
- Nourrit, D., Delignières, D., Caillou, N., Deschamps, T., & Lauriot, B. (2003) On discontinuities in motor learning: A longitudinal study of complex skill acquisition on a ski-simulator. *Journal of Motor Behavior*, 35, 151-170.
- Schmidt, R.A. (1982). *Motor control and learning: a behavioral emphasis*. Champaign: Human Kinetics Publishers.

- Sparrow, W.A. (1983). The Efficiency of Skilled Performance. *Journal of Motor Behavior*, 15, 237-261.
- Temprado, J.J., Della-Graa, M., Farrell, M. & Laurent, M. (1997). A novice-expert comparison of (intra-limb) coordination subserving the volleyball serve. *Human Movement Science*, 16, 653-676.
- Vereijken, B. (1991). *The dynamics of skill acquisition*. Amsterdam: Free University of Amsterdam.
- Walter, C.B. & Swinnen, S.P. (1990). Kinetic attraction during bimanual coordination. *Journal of Motor Behavior*, 22, 451-472.
- Whiting, H.T.A., Vogt, S. & Vereijken, B. (1992). Human skill and motor control: some aspects of the motor control- motor learning relation. In J.J. Summers (Ed.), *Approaches to the study of motor and learning* (pp.81-111). Elsevier
- 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.
- Zanone, P.G. & Kelso, J.A.S. (1997). Coordination dynamics of learning and transfer: Collective and component levels. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23, 1454-1480.

3. L'OPTIMISATION DE L'APPRENTISSAGE

Le chapitre précédent a principalement porté sur la compréhension des mécanismes sous-tendant l'apprentissage. La question à laquelle nous avons tenté de répondre était avant tout : « qu'est-ce qu'apprendre ? » Nous passons ici en revue un ensemble de travaux qui ont tenté de déterminer les facteurs susceptibles de favoriser l'apprentissage. On se situe ici plus près de la question : « comment enseigner ? »

3.1. Les effets de la pratique : répétition, consistance et automatiser.

La répétition est reconnue comme une des variables principales de l'apprentissage. L'expérience que nous avons présentée au chapitre précédent sur le simulateur de ski a clairement montré qu'on ne pouvait pas espérer une modification significative du comportement avant un certain nombre d'essais sur la tâche et une certaine durée de pratique. Cette durée nécessaire est évidemment liée à la difficulté de la tâche. Il est cependant marquant de constater qu'en cours d'EPS, il est bien rare que les élèves cumulent plus de quelques essais successifs avant de changer de situation.

Schiffrin & Schneider (1977) ont mené une série de travaux remarquables sur les effets de la répétition. Selon les auteurs, deux types de processus cognitifs peuvent sous-tendre la performance : les processus contrôlés et les processus automatiques. Les processus contrôlés font appel à la mémoire de travail, ils se déroulent de manière sérielle, sont lents, demandent de l'effort et possèdent une faible capacité. En contraste, les processus automatiques ne mobilisent pas la mémoire de travail, ils se déroulent en parallèle et ne nécessitent pas d'effort. L'apprentissage est principalement pour les auteurs un problème d'automatisation des processus : la tâche est réalisée par le débutant en mettant en jeu des processus contrôlés, puis au cours de l'apprentissage, les processus s'automatisent, et l'habileté devient plus économique, demande moins d'attention. Les auteurs ont montré que l'automatisation était liée à la répétition, et à la consistance de l'activité.

La consistance est définie comme une stabilité du codage entre stimulus et réponse: c'est-à-dire que d'un essai à l'autre, le sujet retrouve des stimuli de même nature et doit y apporter des réponses similaires. La consistance peut n'être que partielle: elle rend alors compte d'un noyau invariant, d'une structure permanente au fil des répétitions, même si certains aspects de la tâche sont modifiés. On peut dans une certaine mesure rapprocher cette notion des concepts de logique interne, d'invariants, de fondamentaux, utilisés en didactique des APS. Les auteurs précisent en outre qu'il n'est pas nécessaire que le sujet ait conscience de la consistance pour que l'automatisation ait lieu. Selon Camus (1989), en situation consistante, le système détecte rapidement les invariants et s'y adapte par une automatisation sélective des processus correspondants.

3.2. Difficulté de la tâche et apprentissage

Famose (1983) a proposé une démarche d'enseignement des habiletés motrices fondée sur l'aménagement de la tâche. Cette démarche est fondée sur le modèle du traitement de l'information que nous avons présenté dans un chapitre précédent. Rappelons que dans ce modèle, on suppose que des opérations de traitement de l'information sont responsables de l'identification du stimulus, de la sélection puis de la programmation de la réponse. Ces opérations sont organisées en stades successifs, et chacun de ces stades est supposé être sélectivement affecté par certaines caractéristiques des tâches. Ainsi le stade d'identification semble sélectivement affecté par l'incertitude spatiale, le stade de sélection par l'incertitude événementielle, le stade de programmation par la précision requise. En identifiant les dimensions de la tâche correspondant aux différents stades de traitement, l'enseignant peut en aménager sélectivement le niveau de contrainte, afin de solliciter de manière préférentielle certains processus. On peut envisager dans cette logique, soit de faciliter la tâche sur un processus jugé déficitaire chez le sujet, soit d'accroître la sollicitation d'un processus en accroissant de manière spécifique la difficulté de la dimension correspondante.

Famose, Durand et Bertsch (1985) ont notamment validé le principe de progressivité, qui consiste à réduire dans un premier temps la difficulté des tâches, puis de renforcer progressivement le niveau d'exigences au cours de l'apprentissage. Ils montrent qu'une démarche d'augmentation progressive de l'incertitude est plus efficace qu'une méthode confrontant directement les sujets à une difficulté maximale. Le principe de progressivité doit cependant porter sur des variables pertinentes, vis-à-vis de l'apprentissage visé. Ainsi, on a pu montrer que dans l'apprentissage d'une tâche d'anticipation-coïncidence, la manipulation de la variable incertitude spatiale était primordiale, alors que la variable grandeur d'erreur permise n'avait guère de pertinence (Durand, Famose & Bertsch, 1985). L'identification des variables pertinentes dans une classe de tâches données constitue sans conteste un enjeu fondamental pour la didactique de l'EPS.

3.3. La démonstration.

Les habiletés de reproduction de formes gestuelles constituent un domaine très spécifique dans le champ de la motricité. Paillard (1971) les appelle "actions à modèle interne", et Serre (1984) "morphocinèses". La motricité est alors de nature abstraite: le sujet se centre sur l'espace et les propriétés de son propre corps. Dans ce cas il est difficile de faire l'économie du recours à la notion de représentation ou d'image motrice, et l'apprentissage fait le plus souvent appel à la présentation de modèles: on parle d'apprentissage par observation. L'apprentissage par observation est cependant loin de ne concerner que les morphocinèses. En fait, la plupart des apprentissages s'effectuent souvent à l'insu même du sujet, par simple observation des adultes ou des pairs. Bandura (1977), qui est l'un des théoriciens de l'apprentissage par observation, parle d'ailleurs à son sujet d'apprentissage social. On peut noter également que beaucoup de psychologues se sont intéressés à l'imitation, et notamment Guillaume, Wallon ou Piaget. Ces derniers ont notamment analysé l'apparition des premières conduites d'imitation systématique, entre un et deux ans. Piaget notamment voit dans l'imitation différée (c'est-à-dire en l'absence du modèle) la naissance de la pensée symbolique. Ces formes précoces d'imitation ne rentrent néanmoins pas dans le cadre de la problématique de l'apprentissage moteur.

Lors de l'apprentissage par observation, on présente au sujet un modèle, réel ou filmé. On suppose alors que le sujet se forme un "modèle interne", une représentation de ce qu'il faut faire, à partir des informations qu'il traite et mémorise. La théorie la plus achevée pour rendre compte de ces processus est la théorie de l'apprentissage social de Bandura (1977). Selon cette théorie quatre processus sont impliqués dans l'apprentissage par observation:

- *Attention*: Premièrement l'observateur doit prêter attention à ce qui lui est montré et sélectionner les informations qu'il considère comme pertinente. L'attention est déterminée par de nombreux facteurs, tels que le degré d'attractivité du modèle (par exemple un modèle expert est à ce niveau plus efficace qu'un modèle non expert) ou les conditions de présentation (réel ou filmé notamment). Des consignes verbales soulignant les aspects pertinents du modèle favorisent cette étape.

- *Rétention*: Ensuite pour que ces informations soient retenues, il faut qu'elles soient codées en mémoire à partir de représentations imagées ou verbales, selon le type de tâche et les propriétés du mouvement. La précision de la représentation est liée au nombre de fois où les sujets ont pu voir le modèle (Carroll et Bandura, 1990). Par ailleurs Gerst (1971) a montré que les sujets peuvent avec profit être incités à utiliser certaines stratégies de codages (notamment certaines formes de codages verbaux synthétiques, sur le rythme global de l'habileté, etc...). Carroll et Bandura (1990) montrent cependant que le codage verbal n'est efficace que s'il est associé à un nombre suffisant de présentations du modèle.

- *Reproduction motrice*: Puis cette représentation sert à guider le pratiquant pour l'action motrice elle-même, au niveau de la planification du mouvement, de la détection et de la correction d'erreurs. Ce passage à l'acte nécessite évidemment que le sujet possède les capacités motrices nécessaires, faute de quoi l'apprentissage par observation est inefficace. On a pu montrer que les sujets étaient beaucoup plus attentifs (par exemple demandaient à voir le modèle un plus grand nombre de

fois), lorsque qu'il observaient avec l'intention de reproduire ensuite, que lorsqu'ils observaient uniquement pour reconnaître (Cadopi, 1994).

- *Motivation*: Enfin les auteurs insistent sur l'importance des facteurs motivationnels dans l'efficacité de l'apprentissage par observation (satisfaction du sujet, attrait du modèle et désir d'identification).

L'hypothèse centrale est donc que le sujet construit une représentation cognitive du modèle qui lui est présenté, représentation qui va ensuite être transposée en action motrice. Carroll et Bandura (1990) ont démontré que l'effet de l'observation d'un modèle sur la qualité de la reproduction était entièrement médiée par la précision de la représentation cognitive que le sujet avait élaborée: c'est-à-dire qu'il n'y a plus de lien significatif entre le nombre d'observations du modèle et la précision de la reproduction, si l'on contrôle l'effet de la précision de l'image motrice.

La démonstration est un des moyens pédagogiques les plus controversés. On a notamment affirmé que l'élève était passif face au modèle, et ne faisant que reproduire une solution toute faite. Les théories contemporaines sur l'apprentissage par observation suggèrent au contraire que le sujet est particulièrement actif, et que la reproduction du modèle repose sur un processus complexe de codage symbolique des propriétés du modèle, et de transcription motrice de ces caractéristiques.

Certains chercheurs se sont intéressés à l'influence de l'expertise du modèle. Il semble que d'une manière générale un modèle novice soit aussi efficace qu'un modèle expert. Certains travaux ont même montré que souvent un modèle novice est plus efficace qu'un modèle expert. L'observation d'un débutant permet d'avoir des informations sur les problèmes que les sujets inexpérimentés rencontrent, et surtout de voir comment ces problèmes peuvent être résolus (Weir & Leavitt, 1990).

Magill et Schoenfelder-Zohdi (1995) analysent les résultats de la littérature en fonction de la nature des tâches. Il distingue d'une part les tâches à buts de coordination, (le sujet ne dispose pas de solution et doit construire une nouvelle coordination), et les tâches à but de contrôle (le problème du sujet est d'adapter à la situation présente une coordination déjà acquise). Les auteurs montrent que dans l'ensemble, la démonstration semble profitable lorsque le sujet est confronté à un tâche de coordination. Dans ce cas en effet toute information sur la nature de la coordination à réaliser est bonne à prendre et la démonstration semble un moyen particulièrement intéressant.

5.4. Variabilité de la pratique et construction des schémas.

La théorie du schéma de Schmidt suggère l'hypothèse selon laquelle l'acquisition d'une habileté dans des conditions variées permet de renforcer l'adaptabilité du programme moteur généralisé. La variabilité des conditions d'exécution oblige le sujet à reparamétrer le programme généralisé à chaque essai, et mène à la construction de règles de paramétrisation efficaces. En revanche, la répétition en conditions identiques ne mènerait qu'au renforcement d'un programme moteur spécifique, et le sujet n'apprendrait pas à l'adapter à des conditions changeantes.

Cette hypothèse a été testée à de multiples reprises. Par exemple Buekers (1995) présente des résultats comparant les performances de deux groupes de sujets en tir au basket-ball. Le premier groupe bénéficie d'une pratique variable (tir à 3, 3.70, 4.70 et 7.30m), et le second d'une pratique fixe (3.70m). Les sujets réalisent en tout autant d'essais, quel que soit leur groupe. Les deux groupes réalisent ensuite un test de transfert à une distance nouvelle. Les résultats montrent que le groupe à pratique fixe obtient de meilleures performances durant les sessions d'apprentissage (Figure 3.1.). Néanmoins le groupe à pratique variable se montre supérieur lors du test de transfert.

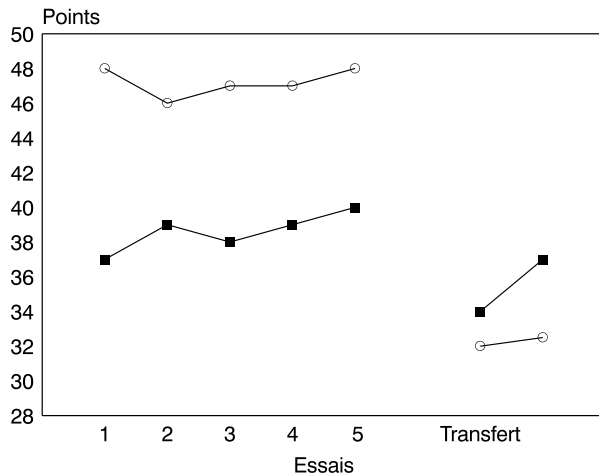


Figure 3.1 : Influence de la variabilité de la pratique sur l'apprentissage et le transfert d'une habileté de tir en basket-ball (d'après Buekers, 1995). Ronds: groupe à pratique fixe. Carrés noirs: groupe à pratique variable

Quelques expériences n'ont pas pu mettre de tels effets en évidence. C'est le cas notamment de den Brinker, Stäbler, Whiting et van Wieringen (1985), dans un travail testant l'hypothèse de variabilité sur le simulateur de ski. Deux interprétations peuvent être apportées à ces divergences: la première est que pour être efficace, la variabilité doit sans doute porter sur une dimension pertinente de la tâche. Il est possible que la tension des bandes élastiques du simulateur, dans l'expérience de den Brinker et al. (1985), ne constitue pas une contrainte essentielle pour la construction de l'habileté. En second lieu, il est possible que l'efficacité de la variabilité soit différente en fonction du type de tâche et du niveau d'habileté. Pour reprendre la distinction de Magill et Schoenfelder-Zohdi (1995), il est possible que la variabilité soit avant tout efficace dans les tâches de contrôle, quand le

sujet travaille sur l'adaptation de coordinations précédemment acquises. Dans une tâche de coordination, il est possible que le sujet ait avant tout besoin de consistance.

On peut noter que la variabilité de la pratique ne renforce pas la performance dans une tâche spécifique, mais la transférabilité de l'habileté à une classe de tâches voisines. Les résultats reportés dans la figure 3.1. montrent que le niveau de performance dans la tâche d'apprentissage est peu prédictif des possibilités de transfert de l'habileté.

3.5. L'interférence contextuelle.

Le principe de l'interférence contextuelle peut être présenté de la manière suivante : lorsque l'on doit apprendre à des sujets plusieurs habiletés, doit-on proposer un apprentissage par blocs (par exemple, 10 essais sur la tâche 1, puis 10 essais sur la tâche 2, etc;..), ou une pratique distribuée, de manière systématique ou aléatoire, sur les différentes habiletés. Intuitivement, on suppose que la pratique massée doit être plus efficace. Les travaux de Shiffrin et Schneider (1977) sur la consistance suggèrent en outre une réponse en ce sens.

Cependant les travaux réalisés pour tester cette hypothèse montrent que si les sujets ayant pratiqué en pratique massée montrent de meilleures performances lors des sessions d'apprentissage, lors d'un test de rétention les sujets ayant pratiqué de manière aléatoire obtiennent de meilleurs résultats (Shea & Morgan, 1979). Ce résultat est généralement expliqué par le fait qu'en condition aléatoire, les sujets sont obligés de reconstruire à chaque essai leur réponse (rappel du schéma moteur, paramétrisation, etc...). Dans le cas d'une pratique par blocs, le sujet peut garder en mémoire d'un essai à l'autre les réglages du programme. Dans la mesure où ce qui est sollicité lors du post-test est la capacité à produire une réponse (et non à la reproduire), les sujets entraînés en pratique aléatoire démontrent une supériorité car ils ont été perpétuellement confrontés à ce problème. On peut noter que les expériences relatives à l'interférence contextuelle suscitent les mêmes réflexions relatives à l'évaluation et au transfert des habiletés que celles évoquées à la fin de la partie précédente.

3.6. Feedbacks.

Le feedback renvoie à l'ensemble des informations que le sujet peut recevoir en retour sur sa prestation. On parle de feedback intrinsèque lorsque l'information est issue de la pratique même, et de feedback extrinsèque ou augmenté lorsque l'information est apportée par un tiers, par exemple sous forme verbale, ou sous forme de feedback vidéo. On distingue également deux types de feedback en fonction de la nature des informations procurées aux sujets. La connaissance des résultats renseigne sur l'écart au but visé. La connaissance de la performance renvoie à une information sur les moyens (caractéristiques cinématiques, stratégies, etc...) mis en œuvre pour atteindre le but.

De nombreux travaux de laboratoire ont montré que sans feedback, il n'y avait pas d'apprentissage. Cependant il est rare, dans les pratiques courantes, que le feedback intrinsèque soit absent. L'absence de feedback augmenté peut cependant dans certains cas gêner l'apprentissage. Par exemple Buekers (1995) rend compte de résultats montrant dans une tâche consistant à tirer au but de la tête au football, qu'un groupe recevant un feedback obtient de meilleures performances qu'un groupe contrôle. Ces travaux ne doivent cependant pas être pris au pied de la lettre. Vereijken et Whiting (1990) ont comparé, dans le cadre de l'apprentissage d'une habileté complexe sur simulateur de ski, les performances d'apprentissage de sujets recevant divers feedbacks sur les principales dimensions de la performance (amplitude, fréquence, et fluidité du mouvement), et celle de sujets ne recevant aucune information. Les résultats indiquent que les sujets du groupe contrôle n'apprennent pas moins que ceux des autres groupes. Les auteurs estiment que dans des tâches complexes, le sujet dispose de suffisamment d'informations intrinsèques pour guider l'apprentissage. L'intérêt porté à l'importance du feedback extrinsèque constitue pour les auteurs un artefact de laboratoire, lié à la pauvreté informationnelle des tâches analysées.

Il est certain que dans la mesure où la tâche fournit en elle-même suffisamment d'informations quant à la congruence du résultat obtenu avec le résultat désiré, une information ajoutée est redondante et superflue. Cependant certains auteurs insistent également sur le rôle motivationnel de la connaissance des résultats. Le feedback permet d'améliorer la persistance des sujets dans leurs efforts, et aurait de ce fait un effet indirect sur l'apprentissage.

L'utilisation massive du feedback peut entraîner un processus de dépendance: la performance est alors fortement affectée par sa suppression. Il est nécessaire d'apprendre à l'élève de se passer du feedback, à partir d'un certain point. Schmidt (1993) propose un processus d'*atténuation* du feedback: on propose un feedback à chaque essai jusqu'à ce que les sujets aient acquis le pattern de base, puis on diminue progressivement la fréquence des feedback. L'atténuation progressive du feedback va notamment entraîner l'élève à utiliser davantage les feedbacks intrinsèques

Une autre méthode pour réduire la dépendance au feedback est de proposer un feedback résumé. Dans ce cas, on attend plusieurs essais avant de proposer un feedback qui résume l'ensemble du bloc. Schmidt, Lange et Young (1990) ont montré qu'il existait un nombre optimal d'essais à inclure dans un résumé, qui était de 5 dans leur expérience. On suppose que plus la tâche est simple, plus le nombre optimal est élevé (jusqu'à 20 essais par résumé). Par contre si la tâche est complexe le résumé doit être fait plus fréquemment.

Un autre problème est celui de l'intervalle de temps qui doit séparer l'essai du feedback le concernant. Swinnen, Schmidt, Nicholson et Shapiro (1990) ont montré que le feedback instantané était néfaste pour l'apprentissage. On pense que cela est dû au fait que le sujet n'a plus le temps de traiter le feedback intrinsèque, son attention étant tout de suite détournée par l'administration du feedback extrinsèque. Par contre au-delà de quelques secondes, la durée de l'intervalle n'a que peu d'influence (jusqu'à quelques minutes). Par contre, il semble important que l'élève ne soit pas perturbé, durant l'intervalle pré-feedback, par des activités extérieures à la tâche (autre activité, ou discussion,, bruit, etc...). Dans ce cas une détérioration est observée lors des tests de rétention (Marteniuk, 1986).

Conclusion

Nous avons dû nous limiter dans ce texte à une rapide présentation des axes de recherche les plus diffusés. D'autres travaux auraient pu être évoqués, portant par exemple sur le rôle des instructions, ou de la fixation de but. Ces résultats offrent des supports intéressants pour l'argumentation, sur les problèmes relatifs à l'enseignement des habiletés en EPS. Il convient cependant de resituer ces propositions dans la complexité de l'acte d'enseignement. Dire, par exemple, que l'on va donner un feedback résumé à chaque élève tous les 15 essais n'a que peu de sens, quand on est face à 25 élèves qui ne passeront de toutes façons de deux ou trois fois sur la tâche proposée.

Références

- Bandura, A. (1977) *Social learning theory*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Buekers, M. (1995). L'apprentissage et l'entraînement des habiletés motrices et sportives. In J. Bertsch & C. Le Scanff (Eds.), *Apprentissages moteurs et conditions d'apprentissage* (pp. 27-47). Paris: PUF.
- Cadopi, M. (1994). Sportif et danseur : rôle des représentations pour l'action chez de jeunes pratiquants. *Enfance*, 2-3, 247-263.
- Camus, J.F. (1989). La distinction entre les processus contrôlés et les processus automatiques chez Schneider et Shiffrin. In P. Perruchet (Ed.) , *Les automatismes cognitifs*. Liège, Bruxelles: Mardaga.
- Carroll, W.R. & Bandura, A. (1990). Representation guidance of action production in observational learning: a causal analysis. *Journal of Motor Behavior*, 22, 85-97.
- den Brinker, B.P.L.M., Stäbler, J.R.L.W., Whiting, H.T.A. & van Wieringen, P.C.W. (1985). A multidimensional analysis of some persistent problems in motor learning. In D. Goodman, R.B. Wilberg & J.M. Franks (Eds.), *Differing Perspectives in Motor Learning, Memory, and Control* (pp. 193-207). Amsterdam: North-Holland.
- Durand, M., Famose, J.P. & Bertsch, J. (1985). *Complexité de la tâche et acquisition des habiletés motrices*. Actes des Journées d'Automne de l'ACAPS (pp. 101-102).
- Famose, J.P. (1983). Stratégies pédagogiques, tâches motrices et traitement de l'information. In J.P. Famose, J. Bertsch, E. Champion & M. Durand, *Tâches motrices et stratégies pédagogiques en Education Physique et Sportive* (pp. 9-21). Paris: EPS.
- Famose, J.P., Durand, M., & Bertsch, J. (1985). *Caractéristiques spatiotemporelles des tâches et performances motrices*. Actes du Congrès International "Corps-Espace-Temps", Marly-le-Roi.
- Gerst, M.S. (1971). Symbolic coding processes in observational learning. *Journal of Personality and Social Psychology*, 19, 7-17.
- Magill, R.A. & Schoenfelder-Zohdi, B. (1995). Interaction entre les informations en provenance d'un modèle et la connaissance de la performance lors d'un apprentissage moteur. In J. Bertsch & C. Le Scanff (Eds.), *Apprentissages moteurs et conditions d'apprentissage* (pp. 15-26). Paris: PUF.
- Marteniuk, R.G. (1986). Information processes in movement learning : capacity and structural interference effects. *Journal of Motor Behavior*, 18, 55-75.
- Paillard, J. (1971). Les déterminants moteurs de l'organisation de l'espace. *Cahiers de Psychologie*, 14, 261-316.
- Schmidt, R.A.(1993). *Apprentissage moteur et performance*. Paris: Vigot.
- Schmidt, R.A., Lange, C.A. & Young, D.E. (1990). Optimizing summary knowledge of results for skill learning. *Human Movement Science*, 9, 325-348.
- Serre, J. C. (1984). La danse parmi les autres formes de la motricité. *La Recherche en Danse*, 3, 135-156.
- Shea, C.H. & Morgan, R.L. (1979). Contextual interference effects on the acquisition, retention and transfer of a motor skill. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 5, 179-187.
- Shiffrin, R.M., & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending and a general theory. *Psychological Review*, 84, 127-190.

- Swinnen, S., Schmidt, R.A., Nicholson, D.E. & Shapiro, D.C. (1990). Information feedback for skill acquisition: Instantaneous knowledge of results degrades learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16, 706-716.
- Vereijken, B. & Whiting, H.T.A., 1990. In defence of discovery learning. *Canadian Journal of Sport Science* 15, 99-106.
- Weir, P. L., & Leavitt, J. L. (1990). Effects of model's skill level and model's knowledge of results on the performance of a dart throwing task. *Human Movement Science*, 9, 369-383.

4. APPRENTISSAGE ET CONNAISSANCES

Un certain nombre de propositions didactiques en EPS font apparaître de phases de verbalisation au cours desquelles les élèves sont invités à expliciter leurs stratégies d'action. Pour des raisons diverses, au sein desquels le positionnement de la discipline au sein du système scolaire joue certainement un rôle primordial, l'apprentissage en EPS est conçu comme une démarche fortement intellectuellement, qui doit déboucher non seulement sur l'acquisition d'habiletés motrices, mais aussi sur la construction de connaissances, principes opérationnels, principes d'actions. Le phénomène est suffisamment massif pour qu'on ait pu évoquer l'image d'une « inflation cognitive » dans la discipline (Delignières, 1991). Cette partie vise à évoquer un certain nombre de travaux scientifiques ayant spécifiquement porté sur les relations entre habiletés motrices et connaissances, afin de donner un cadre argumentaire pour le traitement de ces questions.

4.1. Les bases de connaissances

Certains auteurs reprochent aux approches classiques de l'apprentissage et du contrôle moteur de ne s'intéresser qu'aux aspects formels de la performance, en négligeant l'importance des bases de connaissances implicites sous-tendant l'action (Davids & Myers, 1990; Wall, 1986). Ce reproche est adressé autant aux auteurs cognitivistes qu'aux écologistes. Selon ces auteurs, les recherches sur l'apprentissage moteur ont généralement porté sur des tâches artificielles, à propos desquelles les sujets n'avaient ni expérience antérieure, ni connaissances spécifiques. Il en va tout autrement des apprentissages réalisés dans le contexte réel des cours d'éducation physique ou des séances de club. Il est donc important de prendre en compte les bases de connaissances que possèdent les sujets avant d'entreprendre un apprentissage donné (Thomas, French & Humphries, 1986). Selon les auteurs, les différences entre experts et novices d'une part, mais également entre enfants et adultes, sont largement attribuables aux différences de richesse et de structuration de leurs bases de connaissances respectives.

Les bases de connaissances renvoient aux savoirs engrangés par l'expérience, qui s'accumulent au cours du développement. Selon Wall (1986), les savoirs acquis sur l'action peuvent être catégorisés en savoirs procéduraux, déclaratifs et affectifs. A noter que dans ce cadre, les connaissances procédurales sont synonymes d'habileté, s'exprimant par l'action, et les connaissances déclaratives à l'inverse s'expriment par le discours. Les connaissances affectives renvoient à la sphère des connaissances sur soi (estime de soi, identité, etc.).

Nous nous intéresserons ici de manière plus spécifique aux savoirs déclaratifs sur l'action. Ces savoirs renvoient aux informations factuelles stockées en mémoire qui peuvent influencer le développement et l'exécution de l'habileté. Diverses expériences ont montré que les experts, dans une activité donnée, étaient capables de retenir davantage d'informations que les non experts. Par exemple Allard, Graham et Paarsalu (1980) montrent que des experts en basket parviennent à reconstituer après un visionnage bref des situations structurées de défense et d'attaque (c'est-à-dire, issues de matchs réels), beaucoup mieux que des non-experts. Par contre, on n'observe pas de différences quand les situations ne sont pas structurées (c'est-à-dire construites au hasard). Des résultats similaires avaient été obtenus par Chase et Simon (1973), sur le jeu d'échecs. Ces travaux montrent l'importance des connaissances spécifiques au domaine. Les bases de connaissances spécifiques, d'une manière générale, semblent faciliter l'apprentissage de tâches nouvelles relatives au domaine (Kerr, Hughes, Blais & Toward, 1992). Les experts sont susceptibles d'élaborer des stratégies de résolution de problème plus efficaces, dans des situations inédites de leur domaine.

On peut faire l'hypothèse que la richesse de la base de connaissances déclaratives, dans les premiers temps de l'apprentissage, va permettre d'accélérer l'acquisition. Néanmoins peu de données expérimentales sont disponibles pour étayer cette hypothèse. Sa démonstration est délicate, l'acquisition de connaissances déclaratives s'accompagnant le plus souvent de connaissances procédurales, affectives et métacognitives. On peut cependant supposer que la richesse de la base de connaissances déclaratives est un élément important pour la compréhension des consignes et

feedbacks donnés au pratiquant, et que ces instructions et feedbacks doivent être adaptés au niveau de développement de la base de connaissances déclaratives.

Divers travaux (Russell, 1990; Christensen & Glencross, 1993) indiquent que les bases de connaissances des experts ne se différencient pas uniquement en fonction de leur richesse, mais également par leur structuration. Selon Christensen et Glencross (1993), les experts conçoivent l'habileté comme un ensemble, alors que les débutants en ont une appréhension parcellaire et atomisée. Chez les novices, la structure des connaissances semble davantage littérale, et reliée aux détails de surface. Chez les experts, l'organisation des connaissances semble plus abstraite et liée à des fonctions de plus haut niveau.

Certains travaux (French & Thomas, 1987; McPherson & Thomas, 1989) ont montré qu'en basket-ball et en tennis, connaissances déclaratives et procédurales étaient liées. Plus précisément, French et Thomas (1987) analysent chez de jeunes basketteurs les relations entre les connaissances déclaratives (règles, positions des joueurs,...), la justesse des décisions prises en cours de jeu ("habileté cognitive"), la qualité d'exécution des habiletés spécifiques en cours de jeu, et la performance dans des tests standardisés de tir ou de dribble. Les résultats indiquent une corrélation élevée entre connaissances déclaratives et justesse des décisions. L'exécution des habiletés en cours de jeu est liée pour sa part aux performances dans les tests standardisés.

Pour intéressant qu'il soit, ce résultat obtenu dans une logique corrélationnelle ne constitue pas en soi une preuve du rôle fonctionnel des connaissances déclaratives. Tout au plus peut-on affirmer que le développement de l'expertise perceptive et décisionnelle en jeu est parallèle à celui des bases de connaissances déclaratives. Enfin French et Thomas lient en priorité les connaissances déclaratives aux aspects décisionnels, limitant nettement l'intérêt de l'approche par les bases de connaissances aux activités se déroulant dans un milieu incertain.

4.2. Connaissances et habileté

George (1989) note qu'il existe toujours un décalage entre la déclaration d'une procédure et la procédure correspondante. Ceci serait dû d'une part aux déficiences du lexique usuel (ceci étant particulièrement sensible pour les habiletés sensori-motrices), et d'autre part au fait qu'une grande partie des procédures relèvent de processus automatiques, caractérisés par leur "impénétrabilité cognitive". De ce fait, la description précise d'une procédure ne garantit pas son exécution correcte: "ce qu'on peut dire verbalement n'épuise pas la somme des connaissances nécessaires pour agir" (George, 1985). En outre, toute tentative de description des procédures ne saurait être exhaustive: "pour toute action, il y a un certain nombre d'informations qui interviennent dans les programmes sans pour autant être introduites dans le champ de la conscience. Et celles qui sont perçues consciemment ne sont pas toujours verbalisables" (George, 1985).

Diverses expériences ont tenté de vérifier la validité de la déclaration des représentations fonctionnelles. Keller, Henneman et Alegria (1979) demandent à des gardiens de but de décrire leurs stratégies de décision en situation de tir de penalty. Ces derniers affirment fonctionner de manière strictement aléatoire, sans analyse du comportement du tireur. Les auteurs mettent à l'inverse en évidence que l'activité des gardiens est basée sur une série d'opérations de traitement de l'information, à partir de certains signaux qui ont pu être identifiés: orientation de la course d'élan, ouverture des segments libres, pose de la jambe d'appui, etc... Ripoll, Papin et Simonet (1983) relèvent également des distorsions de ce type entre activité représentée et activité réelle, et précisent que cette distorsion "est bien compréhensible en sport, dans la mesure où ces activités, du fait de leur grande vitesse d'exécution, se déroulent essentiellement sur un registre de fonctionnement infraverbal, excluant par là même toute forme de raisonnement hypothético-déductif".

Dans un autre registre, Hébrard (1974) étudie les possibilités d'une représentation consciente du corps au cours d'un geste sportif. L'auteur montre que le débutant est dans l'incapacité de donner une image figurative valide du geste qu'il va exécuter, ni de celui qu'il vient d'exécuter. La possibilité

d'une représentation figurative ne s'installerait qu'avec l'expertise, et l'auteur insiste sur l'importance, dans ce processus, de l'intériorisation d'un modèle de référence, d'une image de la technique idéale, qui permettrait par voie d'inférence la constitution d'une image de son propre geste. Il conclut "à l'impossibilité qu'il y a pour le débutant, comme pour le champion, de se représenter de façon objective un instant précis de son mouvement, à partir des informations que leur donne l'exécution de leur mouvement" (Hébrard, 1974).

Concernant ce problème de l'image figurative de son propre corps, on peut rappeler une déclaration de Gréco, à une époque où la problématique de la prise de conscience était particulièrement prégnante en EPS: "Il n'est pas certain en effet que la représentation mentale que l'on a de ses propres mouvements soit une représentation adéquate, ni même qu'elle doive l'être. Un organisme utilise un nombre considérable d'informations et sans doute des "heuristiques" assez économiques. On n'arriverait jamais à traverser la rue, ni aller à bicyclette s'il fallait calculer exhaustivement les trajectoires, les vitesses, les conditions de l'équilibre, etc..." (Gréco, 1976).

4.3. Les limites de la prise de conscience

Il est difficile cependant de nier que dans certains cas, les connaissances ne puissent jouer de rôle fonctionnel. On peut évoquer trois grands facteurs limitant les possibilités de recours à la conscience.

Une première distinction peut permettre de classer les habiletés en fonction du degré d'incertitude des sous-butts de la tâche: on parlera d'habiletés techniques lorsque buts et sous-butts seront certains, car uniquement déterminés par les contraintes réglementaires, environnementales et biomécaniques, et d'habiletés stratégiques lorsque la pertinence des sous-butts dépendra à tout instant de l'évolution de la situation, sous l'influence du sujet lui-même, de l'adversaire ou du milieu. Comme on l'a vu précédemment, French et Thomas (1987) précisent que les bases de connaissances sont un constituant important de l'expertise, surtout si la tâche contient une dimension stratégique prédominante. Un ensemble de travaux peuvent être à l'inverse évoqués, qui semblent montrer que dans le cadre d'habiletés techniques, le recours aux explications sophistiquées n'est que l'une utilité restreinte (Famose, Hébrard, Simonet & Vivès, 1979).

Une seconde distinction doit être faite entre les habiletés manipulatoires et les habiletés motrices globales. On pourrait également parler d'habiletés posturo-cinétiques. Dans le premier cas, la tâche consiste à atteindre un but par la manipulation d'objets. Les transformations révélatrices de l'atteinte du but sont donc centrées sur l'environnement. Le jeu d'échecs en constitue un exemple particulièrement parlant. Dans le second cas, ces transformations concernent soit le corps lui-même (par exemple en danse), soit les relations corps-environnement (en saut en hauteur par exemple). Il faudrait, au-delà de ces exemples extrêmes, considérer que toute tâche motrice admet des composantes manipulatoires et des composantes posturo-cinétiques. Par exemple, la tâche utilisée par Durand (1984), consistant à faire tomber des quilles en faisant d'abord rebondir la balle sur un mur relève des habiletés manipulatoires, mais la précision du lancer renvoie à la finesse des ajustements posturaux cinétiques. D'une manière générale, les sports collectifs relèvent à des degrés divers des deux logiques.

Cette distinction semble importante quant aux possibilités de représentation des variables manipulées. Les mécanismes de la prise de conscience des propriétés des tâches manipulatoires ont été particulièrement étudiés par Piaget. Dans une perspective génétique, l'auteur montre que la compréhension, d'abord inférée de la réussite, peut s'en émanciper à partir d'un certain âge et anticiper l'action, qui ne prend plus qu'un statut confirmatoire: "la conceptualisation rejoint le niveau de l'action et finit vers 11-12 ans par le dépasser et par influencer en retour les actions jusqu'à pouvoir les diriger en les programmant avant toute réalisation" (Piaget, 1974).

Durand (1984) a étudié l'évolution des représentations et de leur utilisation, dans des tâches motrices que l'on peut considérer comme manipulatoires (par exemple, atteindre une cible avec une fronde, après lui avoir imprimé un mouvement de rotation, ou faire tomber des quilles avec une balle,

après un rebond contre un mur). Ces tâches présentent l'intérêt d'être gouvernées par des principes mécaniques simples (force centrifuge ou angles de rebond), qui peuvent se prêter à analyse même chez des sujets jeunes. Dans son travail sur la tâche de fronde, Durand étudie d'une part les connaissances que l'enfant est capable d'abstraire de son comportement, et d'autre part la nature de la régulation de son comportement qu'il met en oeuvre. Les résultats montrent qu'à 5/6 ans, les enfants développent une activité cognitive minimale, tant en ce qui concerne la prise de connaissance que la régulation de l'action. Les sujets font appel à une stratégie par essai et erreur, par tâtonnement, réglages partiels et sans systématique. L'auteur parle de régulation non cognitive. Par contre à 11/12 ans, l'activité cognitive semble jouer un rôle décisif. La connaissance de l'action est très précise et leur permet de répondre sans peine aux tests de représentation et d'analyse. Cette activité peut d'ailleurs se dérouler en l'absence de mouvement effectif, et anticiper l'action. Les enfants sont capables d'imaginer le résultat produit et de modifier leurs projets si ce résultat n'est pas celui qu'ils escomptaient. Les sujets procèdent par analyse de la tâche, réalisation mentale de la réponse, association des sous-butts et des sous-routines. Ces observations concordent remarquablement avec le modèle proposé par Piaget (1974).

Mais l'application de ces éléments théoriques aux habiletés posturo-cinétiques reste difficile. Arnaud (1981) note que "la motricité qu'il [Piaget] a étudié est la motricité instrumentale, celle qui s'exerce sur le monde des objets manipulables. Rien ne permet d'affirmer que l'on peut transférer le résultat de ses travaux au profit de la motricité athlétique". En ce qui concerne la prise de conscience des procédures utilisées dans les habiletés corporelles globales, nous avons déjà évoqué les réserves que divers auteurs ont pu émettre (Hébrard, 1974).

Quant à l'abstraction de concepts à partir de l'action, Arnaud (1977) a clairement montré, dans une expérience sur la connaissance du principe d'Archimède et sa généralisation au corps propre, que si les habiletés manipulatoires pouvaient permettre l'acquisition de connaissances intellectuelles, par généralisation des schèmes sensorimoteurs, les habiletés globales non seulement ne permettraient pas cette acquisition, mais pouvaient générer une "régression cognitive". Selon l'auteur, "la motricité efficiente [...] se réfère à des savoirs-faire corporels visant un certain degré d'efficacité, de rendement. Or ces savoirs-faire contrairement à ce qui se passe pour les objets ne sont pas manipulables..." (Arnaud et Broyer, 1979).

Enfin une troisième limitation semble devoir être prise en compte: la pression temporelle. A ce titre, une expérience de Vom Hofe (1990) est particulièrement illustrative. L'auteur soumet des joueurs de football experts à un test de résolutions de problèmes tactiques, présentés sur écran. Deux conditions sont analysées, en fonction des consignes données aux sujets: "identifier une bonne réponse le plus rapidement possible", ou "identifier un maximum de bonnes réponses en 10 secondes". Les résultats sont mis en relation avec un ensemble de performances obtenues dans des tests variés. L'auteur montre que les résultats, dans la première condition, sont bien expliqués par la compétence dans une tâche de rotation mentale, faisant appel à la rapidité d'encodage, de comparaison et de rotation de stimuli. Les résultats, dans la seconde condition, sont bien prédits par le niveau d'Intelligence Générale et la qualité des connaissances déclaratives liées à l'activité. Les processus mis en jeu, face à une configuration identique de stimuli sont donc différents suivant que l'on se situe dans le cadre d'une consigne "de jeu", ou une consigne "d'analyse". L'urgence d'agir semble entraîner le choix de registres cognitifs moins élaborés, moins conscientisés.

4.4. Apprentissage explicite et apprentissage implicite

Le concept d'apprentissage implicite a été avancé pour rendre compte du fait que certains apprentissages (la plupart pour certains auteurs), étaient réalisés sans intention explicite d'apprendre. L'expérience de Pew (1974) est restée fameuse à ce niveau. Dans ce travail, les sujets devaient suivre sur un écran d'oscilloscope un curseur, à l'aide d'un levier. Le déplacement du curseur semblait aléatoire, mais en fait un segment de 20 secondes se répétait d'essai en essai, à l'insu des sujets. Les résultats indiquent que les sujets commettent moins d'erreurs dans le secteur médian, après un certain nombre de répétitions. Des interviews réalisés après l'expérience ont enfin montré que les sujets n'avaient pas pris conscience de la régularité du stimulus.

Famose, Hébrard, Simonet et Vivès (1979) comparant dans le cadre de l'apprentissage d'habiletés techniques (ski, athlétisme) l'efficacité de méthodes basées sur la démonstration et l'explication d'une part, et sur l'aménagement du milieu d'autre part, montrent clairement l'avantage des secondes. La démonstration ou l'explicitation des moyens à mettre en oeuvre pour atteindre le but de la tâche, non seulement se révèlent peu pertinentes quant il s'agit de routines automatisées, mais encore risquent d'entraîner une confusion des buts: l'enseignant, en fournissant des informations et des consignes sur ce que doit être la forme du geste, rend par la même occasion le but de l'activité obscur au pratiquant (Gentile, 1972). Par contre, la clarification des buts et sous-but de la tâche, verbalement et/ou par aménagement du milieu, permettrait aux élèves d'entrer dans un processus auto-adaptatif efficace.

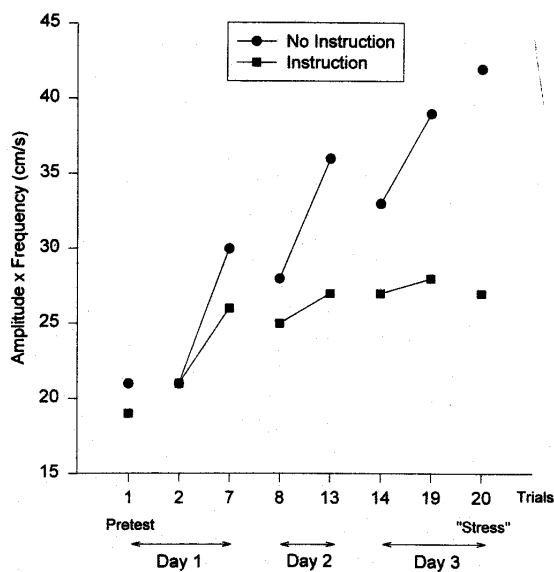


Figure 4.1. : Influence des instructions techniques sur l'apprentissage (Wulf & Weigelt, 1997)

putting au golf. Des sujets ayant pratiqué la tâche de manière intrinsèque (l'auteur va jusqu'à les empêcher de réfléchir en leur demandant de réaliser une double tâche de comptage durant la phase d'apprentissage...), résistent mieux lors d'une séance ou un stress est introduit sous la forme d'une mise en compétition.

Wulf et Weigelt (1997) ont testé cette hypothèse en introduisant en fin d'expérimentation un stress, par le biais de la présence d'un évaluateur expert en ski. Les performances régressent dans le groupe ayant reçu les instructions, mais tendent à s'améliorer dans le groupe « apprentissage par découverte » (voir Figure 4.1., essai 20).

Wulf et Weigelt (1997), dans une expérimentation sur le simulateur de ski, comparent l'évolution des performances dans un groupe réalisant un apprentissage par découverte et un groupe recevant des instructions détaillées sur les stratégies de forçage (Figure 4.1.). Les résultats indiquent que le groupe recevant les instructions apprend moins vite que le groupe qui n'en reçoit pas. Les auteurs estiment que les instructions peuvent obliger les sujets à réguler sur un mode contrôlé une tâche qui ne le justifie pas.

Une autre hypothèse, introduite par Masters (1992) suggère qu'une habileté apprise implicitement résiste mieux au stress qu'une habileté apprise de manière explicite. L'apprentissage implicite réduisant la part des processus contrôlés, le sujet serait mieux à même de gérer une surcharge d'information liée au stress. L'auteur réalise à ce sujet une expérience particulièrement instructive dans une tâche de

On aurait pu supposer que l'administration des consignes, dans l'expérience décrite, est

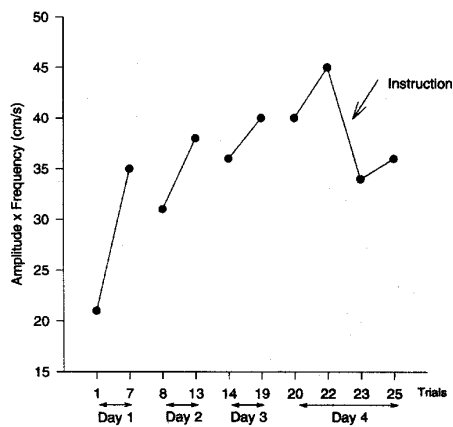


Figure 4.2. : Effets d'instructions techniques données en cours d'apprentissage (Wulf & Weigelt, 1997)

intervenue trop tôt dans le processus d'apprentissage : les sujets débutants n'auraient ainsi pas été en mesure d'exploiter les informations données, faute d'une maîtrise minimale de la tâche. Wulf et Weigelt ont pris en compte cette possibilité dans une seconde expérimentation, au cours de laquelle ils ont analysé l'influence des instructions sur une habileté déjà installée. Après quatre jours de pratique, ils introduisent des instructions détaillées sur les stratégies de forçage. Cette introduction génère une détérioration des performances, qui régressent au niveau atteint le premier jour (Figure 4.2.). On peut regretter cependant que les auteurs ne se soient pas intéressés à l'évolution ultérieure des performances. Il est possible que la détérioration observée ne soit que momentanée, résultant de difficultés d'intégration des informations reçues aux connaissances préalablement construite, mais que la poursuite de la pratique puisse permettre une adaptation de niveau supérieur.

Conclusion

L'ensemble des données que nous avons résumé ici donne une image sans doute complexe et incertaine des rapports entre connaissances et apprentissage moteur. Il semble difficile de dégager des ces approches une théorie d'ensemble, qui serait pertinente pour l'ensemble des activités et situations. En fonction des caractéristiques des tâches, le recours à des formes d'apprentissage explicite peut être bénéfique ou à l'inverse entraver l'acquisition des habiletés. Il convient ici de faire preuve de discernement, et surtout de conserver l'idée qu'en dernier ressort, ce sont les objectifs de l'enseignant qui déterminent la nature de son intervention.

Références

- Allard, F., Graham, S. & Paarsalu, M.E. (1980). Perception in sport: Basketball. *Journal of Sport Psychology*, 2, 14-21.
- Arnaud, P. (1977). La connaissance du principe d'Archimède et sa généralisation au corps propre. *Travaux et Recherches en EPS*, 1, 63-96.
- Arnaud, P. (1981). Contribution au dossier "Jean Piaget". *EPS*, 167, 6-19.
- Arnaud, P., & Broyer, G. (1979). Les conduites aquatiques du débutant. *EPS*, 158, 49-59, 159, 70-73, et 160, 73-75.
- Chase, W.G. & Simon, H.A. (1973). Perception in chess. *Cognitive Psychology*, 19, 29-39.
- Christensen, S.A. & Glencross, D.J. (1993). Expert knowledge and expert perception in sport: anticipating a field hockey goal-shot. *Proceedings of the 8th World Congress of Sport Psychology* (pp. 340-344), Lisbon. .
- Davids, K. et Myers, C. (1990). The role of tacit knowledge in human skill performance. *Journal of Human Movement Studies*, 19, 273-288.
- Delignières, D. (1991). Apprentissage moteur et verbalisation. *Echanges et Controverses*, 4, 29-42.
- Durand, M. (1984). *Connaissance et régulation de l'action chez l'enfant de 5 à 12 ans*. Thèse de troisième cycle, Université Paris V.
- 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.
- French, K.E., & Thomas, J.R. (1987). The relation of knowledge development to children's basketball performance. *Journal of Sport Psychology*, 9, 15-32.
- Gentile, A.M. (1972). A working model of skill acquisition to teaching. *Quest*, 17, 3-23.

- George, C. (1985). EPS interroge Christian George. *EPS*, 195, 6-10, 196, 10-14.
- George, C. (1989). Interactions entre les connaissances déclaratives et procédurales. In P. Perruchet, *Les automatismes cognitifs* (pp.103-137). Liège, Bruxelles: Mardaga.
- Gréco, P. (1976). Autour de la pensée de Piaget. *Revue EPS*, 138, 13-16.
- Hébrard, A. (1974). Contribution à la pédagogie du geste sportif: Les limites de la "démonstration". *Annales de l'ENSEPS*, 5, 27-39.
- Keller, D., Henneman, M.C., & Alegria, J. (1979). Analyse des ajustements préparatoires spécifiques à l'exécution d'un geste sportif. *Revue EPS*, 155, 6-9.
- Kerr, R., Hughes, K., Blais, C. & Toward, J.I. (1992). Knowledge and Motor Performance. *Journal of Human Movement Studies*, 22, 85-100.
- Masters, R.S.W. (1992). Knowledge, knerves and know-how: the role of explicit versus implicit knowledge in the breakdown of a complex motor skill under pressure. *British Journal of Psychology*, 83, 343-358.
- McPherson, S.L. & Thomas, J.R. (1989). Relation of knowledge and performance in boy's tennis: age and expertise. *Journal of Experimental Child Psychology*, 48, 190-211.
- Pew, R.W. (1974). Levels of analysis in motor control. *Brain Research*, 71, 393-400.
- Piaget, J. (1974). *Réussir et comprendre*. Paris: PUF
- Ripoll, H., Papin, J.P., & Simonet, P. (1983). Approche de la fonction visuelle en sport. *Le Travail Humain*, 46, 163-173.
- Russell, S.J. (1990). Athletes' knowledge in task perception, definition and classification. *International Journal of Sport Psychology*, 21, 85-101.
- Thomas, J.R., French, K.E. & Humphries, C.A. (1986). Knowledge development and sport skill performance: Directions for motor behavior research. *Journal of Sport Psychology*, 8, 259-272.
- Wall, A.E. (1986). A knowledge-based approach to motor skill acquisition. In M.G. Wade & H.T.A. Whiting (Eds.), *Motor development in children: Aspects of coordination and control* (pp. 33-49). Dordrecht: Martinus Nijhoff.
- Wulf, G. & Weigelt, C. (1997). Instructions about physical principles in learning a complex motor skill: to tell or not to tell... *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 68, 362-367.

5. APPRENTISSAGE ET EFFICIENCE

Selon Leplat (1989) "une activité sera dite d'autant plus efficace qu'elle permettra d'atteindre à moindre coût la même niveau d'efficacité". Les deux notions doivent être clairement distinguées. L'efficacité est un descripteur générique de la performance: selon le contexte et le type de tâche, elle s'exprimera en vitesse d'exécution, précision de la réponse, stabilité, etc... L'efficience renvoie elle à l'idée de rendement du système. Il s'agit du rapport entre les ressources investies et la performance obtenue. Un comportement efficace atteindra une performance donnée avec moins d'effort, ou atteindra une meilleure performance avec un investissement en ressources identique. Les relations efficacité-efficience demeurent fort complexes, notamment dans un contexte écologique. Néanmoins, et en première approche, leurs évolutions diachroniques sont parallèles: l'apprentissage améliore à la fois l'efficacité et l'efficience.

En fonction de la nature des processus majoritairement sollicités, on pourra parler d'efficience cognitive ou énergétique. La première correspond à une optimisation de la charge mentale. Divers travaux ont pu rendre compte de l'économie de l'activité de l'expert: recours massif aux processus automatiques, permettant un traitement rapide et sans effort (Abernethy, 1993), accès direct à des variables de haut niveau dispensant le système de computations coûteuses (Laurent, 1991), anticipation perceptive permettant une lecture rapide des situations (Ripoll, 1987), adoption de stratégies économiques (Spérando, 1977).

5.1. Les régimes optimaux de travail

Un certain nombre de travaux ont tenté d'analyser, notamment dans les activités locomotrices, les conditions d'exercice permettant l'attente de l'efficience maximale. D'une manière générale, ces travaux mettent en évidence des régimes optimaux de travail, c'est-à-dire une configuration de contraintes dans laquelle le système semble réaliser sa fonction à moindre coût. Par exemple Hogberg (1952) analyse l'évolution de la consommation d'oxygène en fonction de la longueur des foulées lors d'une course à 16 km/h (Figure 5.1.). Les résultats indiquent que la consommation est minimale pour une longueur de foulée située aux alentours de 148 cm. De part et d'autre de cette longueur optimale (c'est-à-dire pour des foulées trop courtes ou à l'inverse trop longues), la consommation d'oxygène tend à augmenter. Un résultat de même nature a été obtenu par Ralston (1958), analysant la dépense

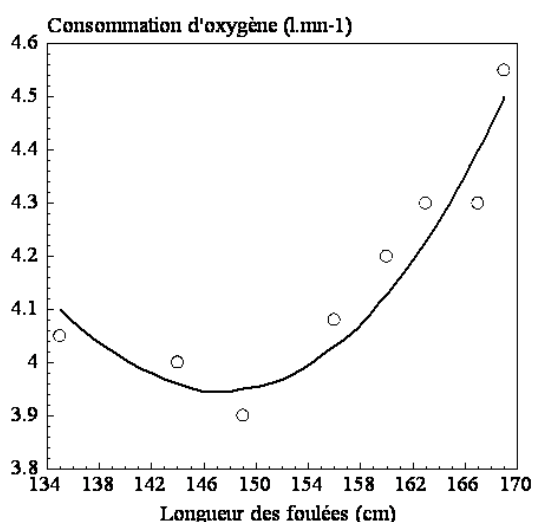


Figure 5.1. : Consommation d'oxygène en fonction de la longueur des foulées lors d'une course à 16 km/h (d'après Hogberg, 1952).

énergétique lors d'épreuves de marche réalisées vitesses différentes. L'énergie consommée par unité de distance est minimale pour une vitesse de 4.5 km/h, mais tend à augmenter pour des vitesses inférieures ou supérieures.

En cyclisme, on a également montré que pour une puissance de sortie donnée, il existait une fréquence de pédalage optimale, en-deçà et au-delà de laquelle le coût énergétique augmente. Salvendy (1972), étudiant des tâches telles que l'actionnage d'une pompe manuelle ou le pédalage sur bicyclette ergométrique, impose aux sujets diverses cadences de travail (de très lentes à très rapides). Les résultats indiquent que la relation entre cadence de travail et efficience suit une courbe à optimum: dans un premier temps, l'efficience croît avec l'augmentation de la cadence, puis après un optimum, toute augmentation de cadence entraîne une diminution de l'efficience. Le pattern comportemental du sujet semble donc s'optimiser pour une cadence spécifique de travail.

Cette fréquence optimale correspond à la

fréquence de résonance du système, c'est-à-dire sa fréquence naturelle, ou spontanée. On retrouve ici les propositions de Holt, Hamill, et Andres (1990) pour lesquels la fréquence spontanée de la marche pouvait être prédite à partir de la fréquence propre du pendule simple analogue, elle-même dépendant de la longueur de ce pendule. C'est à cette fréquence que l'énergie à insuffler pour entretenir les oscillations est la plus faible. Si l'on veut obtenir une fréquence plus élevée, le système devra être forcé, et systématiquement freiné si l'on veut obtenir une fréquence plus faible.

A cette efficacité énergétique s'ajoute également une efficacité cognitive. Tout acte moteur représente un coût cognitif pour le système. C'est-à-dire qu'il nécessite, pour son contrôle, l'investissement de ressources attentionnelles. Les chercheurs mettent en évidence ce coût cognitif par des protocoles de double tâche: les sujets réalisent simultanément le mouvement avec une tâche de temps de réaction, et l'on compare les performances de la tâche de temps de réaction avec celles obtenue lorsqu'elle est réalisée seule.

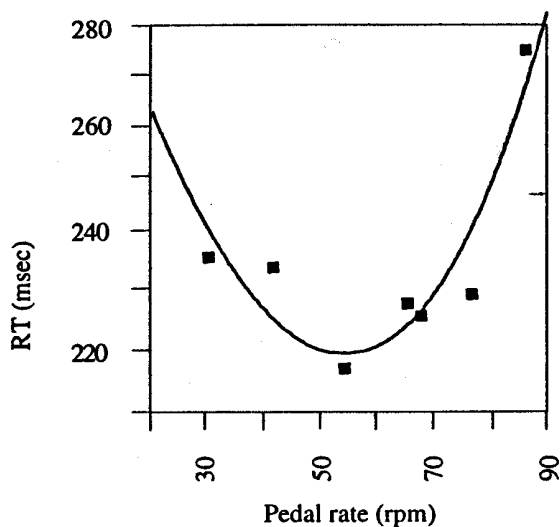


Figure 5.2 : Influence de la fréquence de pédalage sur cycloergomètre sur la performance dans une tâche simultanée de temps de réaction (Brisswalter, Durand, Delignières & Legros, 1995)

opter pour la configuration motrice la plus efficace, en fonction de l'évolution des contraintes de la tâche. Lin (1980, cité par Sparrow, 1983), montre 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. Une autre expérience de Zarrugh, Todd et Ralston (1974) est particulièrement instructive. L'efficacité relative de la marche et de la course dépend de la vitesse de déplacement imposée. Pour un déplacement lent, la marche se révèle plus efficace. Mais au-delà d'une certaine vitesse, la course devient moins coûteuse que la marche. Les auteurs montrent que lors de l'accroissement de la vitesse, les sujets sont capables de passer de la marche à la course, exactement au moment où la marche devient moins efficace que la course.

Salvendy (1972), dont nous avons déjà évoqué les travaux, demande en outre aux sujets de réaliser les tâches à la cadence qu'ils considèrent comme la plus confortable. L'analyse des résultats montre que cette cadence préférentielle correspond à l'optimum mis auparavant en évidence entre cadence et efficacité. Un résultat similaire est mis en évidence par Corlett et Mahaveda (1970).

Warren (1984) met également en évidence ce phénomène dans une expérimentation portant sur le gravisement d'escalier. Entre autres résultats, cette expérimentation montre qu'il existe une relation à optimum entre la hauteur des marches et le coût énergétique. Par ailleurs, lorsque l'on

Brisswalter, Durand, Delignières et Legros (1995) ont ainsi montré que le coût cognitif associé au contrôle d'une tâche de pédalage était lié à la fréquence par une courbe à optimum: il existe une fréquence au niveau de laquelle le coût est minimum, mais en-deça et au-delà de laquelle le coût cognitif augmente (Figure 5.2.). Monno (2000) a mis en évidence un phénomène similaire au niveau des tâches de coordinations bi-manuelles. Lorsqu'une tâche d'oscillation bimanuelle est réalisée à la fréquence spontanée, le coût cognitif est moindre que lorsqu'elle est réalisée à faible ou forte fréquence. Dans l'expérience de Brisswalter et al. (1995), la fréquence optimale, du point de vue cognitif, correspond à la fréquence optimale du point de vue énergétique (entre 50 et 60 tour/minute). Ceci suggère que la demande attentionnelle pourrait être liée au coût énergétique.

Un autre aspect important du comportement habile apparaît comme la capacité à

demande aux sujets quelle hauteur de marche ils préfèrent, la hauteur préférée correspond à celle où la dépense énergétique a été la plus faible.

Un certain nombre de travaux ont cependant montré des différences significatives entre la fréquence optimale et la fréquence préférée. Arcelin (1999) montre par exemple que pour des cyclistes entraînés, la fréquence optimale est plus faible que la fréquence préférentielle. Il est possible que dans ce cas d'autres critères d'optimalité soient à la base de la détermination de la fréquence préférée (tels que le couplage entre fréquence gestuelle et ventilation, par exemple).

5.2. Stabilité et efficacité

Ces travaux sur les zones optimales de fonctionnement ne sont pas sans rappeler ceux réalisés sur les attracteurs. Certains auteurs ont tenté de rechercher de possibles liens entre les théories dynamiques et les théories de l'optimisation.

Dans le cadre des coordinations bi-manuelles, Monno (2000) a montré que lorsque les oscillations étaient réalisés à la fréquence préférée (celle qui occasionne le moindre coût cognitif), la coordination était plus stable que pour les fréquences plus élevées ou plus faibles. Goodman, Riley, Mitra et Turvey (2000) analysent les portraits de phase (vitesse vs position) de mouvements oscillatoires réalisés à fréquence optimale, et à deux autres fréquences, l'une faible et l'autre élevée. On trouve une plus faible variabilité des trajectoires à fréquence optimale. La fréquence faible génère des trajectoires particulièrement instables. Enfin, il existe un point extrêmement stable à fréquence optimale, à l'un des points de revirement du système. C'est ce point qui semble particulièrement déstabilisé à basse fréquence.

Un certain nombre de travaux ont montré qu'efficacité et stabilité covariaient. Nourrit, Deschamps, Lauriot, Caillou et Delignières (2000) montrent par exemple qu'au cours de l'apprentissage sur le simulateur de ski, on observe une réduction simultanée du coût énergétique et de la variabilité de la fréquence. Belli, Lacour, Komi, Candau & Denis (1995) ont également mis en évidence, dans une tâche de course, une relation significative entre l'efficacité et la variabilité verticale du centre de gravité.

Holt, Jeng, Ratcliffe, et Hamill (1995), dans une expérience sur la marche, mettent en évidence des relations curvilinéaires entre fréquence et efficacité, et entre fréquence et stabilité: la fréquence préférée des sujets, qui correspond à peu près à la fréquence prédite par un modèle pendulaire, est simultanément la plus stable et la plus efficace. Les résultats suggèrent que l'efficacité et la stabilité puissent constituer des contraintes complémentaires, l'efficacité pouvant être davantage contraignante à faible fréquence, et la stabilité à fréquence élevée. Cette conclusion reste cependant discutable, au vu de la nature de la variable choisie pour rendre compte de la stabilité.

La question à trancher est celle de l'importance respective de la stabilité et de l'efficacité dans le choix d'un comportement. En d'autres termes, le choix d'une coordination optimale est-il déterminée par la recherche de l'efficacité, la stabilité n'étant qu'une conséquence seconde, ou la coordination n'est-elle pas plutôt captée par un attracteur dynamique du système, caractérisé par sa stabilité et par voie de conséquence par son efficacité ?

Brisswalter et Mottet (1996) ont réalisé un travail assez paradoxal sur ce sujet. Ils analysent le coût énergétique et la variabilité du pas dans des tâches de course et de marche, réalisés à des vitesses inférieure et supérieures à la vitesse de transition marche-course. Les résultats montrent:

- que la marche est plus efficace que la course aux vitesses inférieures à la transition, mais moins efficace que la course aux vitesses supérieures.
- le croisement des deux courbes d'efficacité s'effectue à la vitesse de transition
- paradoxalement, la variabilité du pas ne varie pas avec la vitesse de déplacement, et la variabilité est toujours plus importante en marche qu'en course.

Cette expérience semble donc mettre en évidence une claire dissociation entre efficacité et variabilité. Néanmoins, une autre partie de ce travail analyse l'évolution de la variabilité, cette fois dans un protocole de transition marche-course, avec accroissement progressif de la vitesse: On assiste cette fois à un accroissement de la variabilité, juste avant la transition (Figure 5.3). Ce résultat est davantage conforme à la théorie: aux abords de la transition, on observe simultanément un accroissement de la variabilité et une chute de l'efficacité. La transition permet de restaurer ces deux facteurs sur des données optimales.

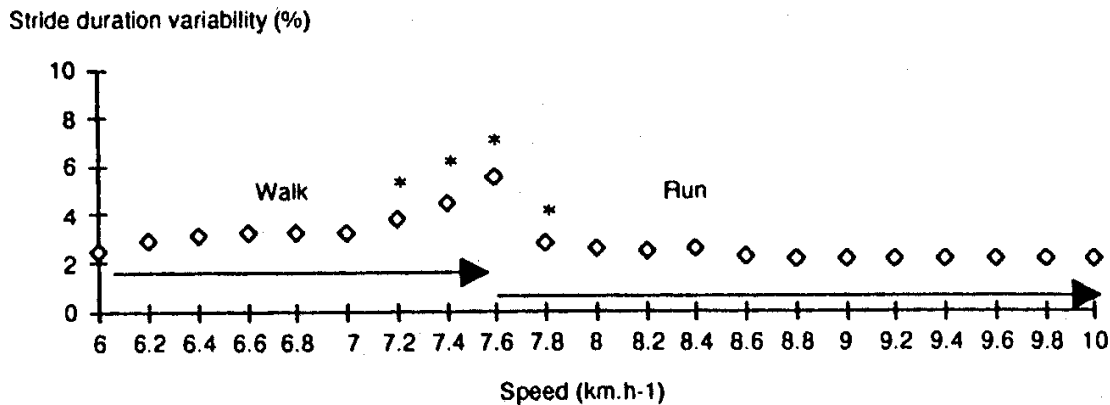


Figure 5.3. : Variabilité de la durée du pas, en fonction de la vitesse de déplacement, lors d'un protocole d'incrément progressive de la vitesse. Une transition marche-course apparaît entre 7.6 et 7.8 km/h (Brisswalter & Mottet, 1996).

Il existe cependant une différence essentielle entre efficacité et variabilité: si la première échappe totalement au contrôle volontaire, il est tout à fait possible de réduire de manière délibérée la variabilité comportementale (Monno, 2000). C'est ainsi que l'on peut sans doute expliquer les résultats de la première expérimentation de Brisswalter et Mottet (1996).

5.3. Efficacité et apprentissage

Sparrow (1983) note que très peu de travaux ont été réalisés sur les relations entre dépense énergétique et apprentissage. Les recherches se sont plutôt focalisées sur les aspects informationnels, tels que le rôle de l'aménagement du milieu ou l'utilisation des feedbacks. On peut noter également que dans la plupart des recherches, le coût énergétique des tâches d'apprentissage est minime (par exemple la tâche de positionnement linéaire d'Adams, 1971). Or, dans le cadre des APS, l'intensité constitue une contrainte primordiale, et ce d'autant plus que la tâche est répétitive ou cyclique. Nous nous intéresserons plutôt ici à ce type d'activité (course, natation, vélo, etc.), souvent ignorées par les approches "informationnelles" de l'apprentissage.

Peu de recherches ont porté réalisée sur l'évolution de l'efficacité énergétique au cours de l'apprentissage. 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 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.

Certaines études longitudinales ont montré que la configuration du mouvement évoluait significativement au cours des répétitions. Cordier (1991) a tenté d'objectiver l'évolution de la performance en escalade dans l'apprentissage d'une voie. L'auteur enregistre la trajectoire d'un spot lumineux situé sur le grimpeur. Il procède ensuite au calcul de l'entropie de la courbe obtenue (concept issu de la thermodynamique, qui est une mesure de la complexité des trajectoires). Les résultats

indiquent que la complexité diminue progressivement avec l'apprentissage, preuve que la trajectoire devient moins heurtée, que les phases inutiles sont supprimées, etc...

Cette expérience rappelle un travail plus ancien de Higgins et Spaeth (1972) qui, dans une tâche de lancer de fléchettes, montrent que le pattern utilisé évolue vers une configuration souple et coordonnée, qui tend à se stabiliser. On assiste d'une part à un "lissage" de la conduite, c'est-à-dire à l'élimination des contractions parasites, à une liaison plus harmonieuse des trajectoires, et d'autre part à une meilleure adaptation aux contraintes spatio-temporelles de la tâche.

Une investigation assez complète de Le Couadou et Maurel (1988), sur le coût énergétique en escalade, montre clairement que confrontés à une voie identique, des grimpeurs de niveau national dépensent objectivement moins d'énergie (les données relevées concernent la fréquence cardiaque et la lactatémie) que leurs homologues de niveau régional. Ceci indique clairement que ces experts possèdent une technique gestuelle particulièrement efficace, leur permettant de satisfaire à moindre coût aux exigences de la tâche.

Les travaux sur le simulateur de ski ont également mis en évidence cette démarche vers l'efficacité. Durand et al. (1994) ont ainsi révélé qu'avec l'apprentissage, les sujets convergent vers une fréquence commune (voir Figure 2.2). Delignières, Geoffroi, Nourrit et Durand (1996), dans un traitement ultérieur des données, ont montré que cette fréquence commune était la fréquence la plus efficace. Nourrit, Lauriot, Deschamps, Caillou et Delignières, (2000) ont montré dans une autre expérimentation sur le simulateur de ski que l'efficacité s'améliorait progressivement au cours de l'apprentissage. La même expérience montre que les sujets parviennent en fin d'apprentissage à une utilisation parfaite des propriétés élastiques du système.

Certains auteurs estiment néanmoins 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.

Références

- Abernethy, B. (1993). The nature of expertise in sport. In S. Serpa, J. Alves, V. Ferreira & A. Paula-Brito (Eds.), *Sport Psychology: an integrated approach. Proceedings of the 8th World Congress of Sport Psychology* (pp. 18-22). Lisbonne: I.S.S.P.
- Adams, J.A. (1971). A closed loop theory of motor learning. *Psychological Bulletin*, **70**, 486-504.
- Arcelin, R. (1999). *Interactions entre la sollicitation des processus physiologiques lors d'un exercice aérobique et le fonctionnement cognitif*. Thèse STAPS, Université de Poitiers.
- Belli, A., Lacour, J.R., Komi, P.V., Candau, R. & Denis, C. (1995). Mechanical step variability during treadmill running. *European Journal of Applied Physiology*, **70**, 510-517
- Brisswalter, J. & Mottet, D. (1996). Energy cost and stride duration variability at preferred transition gait speed between walking and running. *Canadian Journal of Applied Physiology*, **21**, 471-480.
- Brisswalter, J., Durand, M., Delignières, D., & Legros, P. (1995). Optimal and non-optimal demand in a dual task of pedalling and single reaction time: Effects on energy expenditure and cognitive performance. *Journal of Human Movement Studies*, **29**, 15-34.
- Corlett, E.N. & Mahadeva, K. (1970). A relationship between a freely chosen working pace and energy consumption curves. *Ergonomics*, **13**, 517-524.
- Delignières, D., Geoffroi, V., Nourrit, D. & Durand, M. (1996). *Energy expenditure and efficiency in the learning of complex cyclical task*. Communication au First Annual Congress of European College of Sports Science. Nice, 28-31 mai.
- Nourrit, D., Lauriot, B., Deschamps, T., Caillou, N. & Delignières, D. (2000). The effects of required amplitude and practice on frequency stability and efficiency in a cyclical task. *Journal of Sport Sciences*, **18**, 1-12.

- Durand, M., Geoffroi, V., Varray, A. and Préfaut, C., 1994. Study of the energy correlates in the learning of a complex self-paced cyclical skill. *Human Movement Science* 13, 785-799.
- Durand, M. (1992a). Optimisation de la performance: étude dans les tâches constituant une sollicitation optimale. *STAPS*, 27, 7-19.
- Famose, J.P. (1987). Analyse et enseignement des habiletés motrices: l'intérêt de l'approche écologique. In M. Laurent & P. Therme (Eds), *Recherches en Activités physiques et Sportives 2* (pp. 343-358). Marseille: UEREPS, Université Aix-Marseille II.
- Goodman, L., Riley, M.A., Mitra, S. & Turvey, M.T. (2000). Advantages of rhythmic movements at resonance: Minimal active degrees of Freedom, minimal noise, and maximal predictability. *Journal of Motor behavior*, 32, 3-8.
- Higgins, J.R., & Spaeth, R.K. (1972). Relationship between consistency of movement and environmental condition. *Quest*, 17, 61-69.
- Hogberg, P. (1952). How do stride length and stride frequency influence the energy output during running ? *Arbeitsphysiologie*, 14, 437-441.
- Holt, K.G., Hamill, J. & Andres, R.O. (1990). The force-driven harmonic oscillatro as a model for human locomotion. *Human Movement Science*, 9, 55-68.
- Holt, K.G., Jeng, S.F., Ratcliffe, R. & Hamill, J. (1995). Energetic cost and stability during human walking at the preferred stride frequency. *Journal of Motor Behavior*, 27, 164-178.
- Kamon, E. & Gormley, J. (1968). Muscular Activity Pattern for Skilled Performance and During Learning of a Horizontal Bar Exercice. *Ergonomics*, 11, 345-357.
- Laurent, M. (1991). Approche écologique et neurosciences du sport. In J. Bilard et M. Durand (Eds), *Sport et Psychologie* (pp. 199-205). Paris: Revue EPS/SFPS.
- Le Couadou, Y., & Maurel, F. (1988). Etude de quelques paramètres physiologiques sur l'escalade en falaise. *Sport et Médecine*, 31, 38-43.
- Leplat, J. (1989). Les habiletés cognitives dans le travail. In P. Perruchet, *Les automatismes cognitifs* (pp. 139-172). Liège, Bruxelles: Mardaga.
- Monno, A. (2000). *Effets de l'attention sur la dynamique des coordinations bimanuelles*. Thèse STAPS, Université Aix-Marseille II.
- Ralston, H.J. (1958). Energy-speed relation and optimal speed during level walking. *Int. Z. angew. Physiol. einsch. Arbeitsphysiol.*, 17, 277-283.
- Ripoll, H. (1987). Interaction des opérations cognitives et des mécanismes sensori-moteurs dans les APS. In A. Vom Hofe et R. Simonnet (Eds.), *Recherches en Psychologie du Sport* (pp. 68-85). Paris: EAP,
- Salvendy, G. (1972). Physiological and psychological aspects of paced performance. *Acta Physiologica, Academia Scientiarum Hungaricae*, 42, 267-275.
- Sparrow, W.A. (1983). The Efficiency of Skilled Performance. *Journal of Motor Behavior*, 15, 237-261.
- Sparrow, W.A. & Irizarry-Lopez, V.M. (1987). Mechanical Efficiency and Metaboilic Cost as Measures of Learning a Novel Gross Motor Task. *Journal of Motor Behavior*, 19, 240-264.
- Spérandio, J.C. (1977). La régulation des modes opératoires en fonction de la charge de travail chez les contrôleurs de trafic aérien. *Le Travail Humain*, 40, 249-256.
- Warren, W.H. (1984). Perceiving affordances: visual guidance in sytair climbing. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, 10, 683-703.
- Zarrugh, M.T., Todd, F.N., & Ralston, H.J. (1974). Optimization of energy expenditure during level walking. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 33, 293-306.

CONCLUSION

Nous souhaiterions en guise de conclusion suggérer quelques lignes de conduite quant à l'utilisation des connaissances scientifiques présentées dans ce cours. Il s'agira surtout de discuter du statut épistémologique de telles connaissances par rapport à l'Education Physique en tant que pratique d'intervention.

Nous avons évoqué dans ce cours un certain nombre de théories, dont certaines sont en concurrence directe dans le champ scientifique : il s'agit notamment des théories cognitivistes et dynamiques, dont on a pu quelquefois dramatiser l'affrontement (Abernethy & Sparrow, 1992) : ces deux théories ont été présentées comme deux paradigmes irréductibles, leur confrontation comme une lutte des anciens contre les modernes. Il est important pour les candidats de noter qu'ils n'ont pas à prendre position dans ce type de débat. On peut comprendre que les scientifiques s'engagent, dans la mesure où leurs hypothèses n'ont de sens qu'à l'intérieur des cadres théoriques où ils se situent. Mais le rapport d'un enseignant aux disciplines scientifiques ne peut se situer sur ce registre militant. D'ailleurs, une théorie scientifique, quelle qu'elle soit, n'est jamais à proprement parler, vraie ou fautive : chacune offre une grille de lecture, une manière de concevoir un objet de recherche et de réfléchir à son propos. L'essentiel pour les candidats est de trouver dans ces théories des arguments pour étayer telle ou telle proposition, rebondir sur tel ou tel exemple.

Il est important, dans cette épreuve du concours de recrutement, d'éviter de tomber dans le piège du déductionniste. En d'autres termes, l'intervention de l'enseignant ne peut pas être déduite des connaissances scientifiques. On retrouve ce type d'approche lorsque, par exemple, une dernière partie d'illustrations vient « couronner » un devoir resté jusque là très théorique, ou lorsque, à l'intérieur de chaque partie, on commence par argumenter sur la base de connaissances scientifiques pour en déduire des hypothèses d'intervention. Les rapports entre modèles théoriques et pratiques d'interventions sont beaucoup plus complexes et doivent être appréhendés comme tels. Nous l'avons dit précédemment, le travail scientifique impose une attitude rigoureuse vis-à-vis des objets de recherche, qui débouche sur une parcellisation des problématiques et une standardisation des procédures de validation. Le savoir scientifique est local, et on ne lui demande à la limite que d'être cohérent. En regard, l'intervention pédagogique doit embrasser la complexité écologique des situations, et y apporter une réponse globale, et surtout efficace. L'enseignant prend des décisions, improvise des solutions, souvent sur la base d'une expérience professionnelle dont il n'a qu'une conscience diffuse (Durand, 2001). Nous sommes persuadé, en fait, que l'enseignant fait fonctionner des solutions efficaces, bien avant que la science n'en vienne à expliquer cette efficacité (Delignières, 1998). Dans ce sens, la réflexion dans un devoir de CAPEPS a tout avantage à partir du terrain, c'est-à-dire de la description d'une intervention typique. Cette illustration doit ensuite pouvoir prêter le flanc au développement de multiples regards scientifiques, qui en retour peuvent suggérer des aménagements partiels de la situation, ou l'exploration d'autres voies d'intervention. C'est dans cet aller-retour incessant entre pratique et théorie que nous concevons l'attitude épistémologique que les candidats doivent respecter dans le cadre de cette épreuve.

Comme nous le disions dans l'introduction de ce cours, nous nous sommes restreints à certains pans de la littérature, et plus précisément l'approche expérimentale de l'acquisition des habiletés motrices. Cette approche est loin d'épuiser tout ce que l'on peut dire sur l'apprentissage moteur, et surtout tout ce que l'on peut dire sur les situations d'apprentissages en Education Physique. Ce qui a pu être dit dans ce cours porte essentiellement sur la question : « comment apprend-t-on ? ». Nous ne saurions trop conseiller aux candidats de réfléchir à une autre question : « pourquoi apprend-t-on? ». On peut appréhender cette question à plusieurs niveaux.

En premier lieu, est-il réellement important que les élèves apprennent en cours d'Education Physique ? C'est une question qui peut surprendre, alors que l'enseignant d'Education Physique est volontiers présenté comme un « professionnel de l'apprentissage », et que l'apprentissage est toujours affiché comme un incontournable de formations universitaires en STAPS et dans les programmes des

concours de recrutement. Dans la première moitié du XX^e siècle, il était davantage question d'exercer le corps que de lui faire apprendre quelque chose de nouveau. L'ensemble des gymnastiques construites reposait ainsi sur la reproduction de gestes simples ou sur l'exploitation d'une motricité sur-apprise (la marche, la course, etc.). Depuis les années 60, il nous semble que l'Education Physique est devenue une discipline où l'on tente de faire vivre aux élèves des expériences corporelles les plus variées possibles, dans l'espoir de développer une sorte d'adaptabilité motrice. Cette idée traverse toute l'Education Physique de la seconde moitié du XX^e siècle, et est particulièrement bien illustrée par des auteurs tels que Le Boulch (1966) ou Azémar (1975). Elle semble encore profondément ancrée dans les discours de beaucoup d'enseignants, avec un refus de la spécialisation, une défiance vis-à-vis de la technique, une quête éperdue de transversalité. Ceci ressort aussi du vécu des élèves, qui évoquent davantage le cours d'Education Physique sur le mode expérientiel (« on a fait » du foot, du basket) que dans une optique de maîtrise et d'apprentissage (Rochex, 1996).

Ce que nous voulons dire ici, c'est que la centralité du thème de l'apprentissage en Education Physique ne va pas de soi. Elle est récente et est le produit d'une histoire militante, toujours très active dans la discipline. Mettre en avant l'apprentissage, c'est opter pour une certaine conception de l'Education Physique, qui considère que cette discipline ne prend de sens que dans la mesure où les élèves se sont appropriés des techniques, la maîtrise d'instruments et de dispositifs, représentatifs d'une culture communément partagée. Ce sont surtout les promoteurs du courant culturaliste en Education Physique qui ont insisté sur l'importance de l'apprentissage des techniques sportives, et qui ont imposé cette conception de l'Education Physique comme discipline d'apprentissage. Goirand (1998) énonce ainsi l'importance de cette problématique : « L'enseignant se renie, si son activité ne débouche pas sur un progrès repérable, et l'adolescent ne s'épanouit pas s'il ne réalise pas ses projets, s'il n'en a pas, ou s'il fuit l'épreuve. La crise serait à la fois du côté de l'élève, qui par définition doit apprendre, et du côté de l'enseignant qui est responsable de cet apprentissage ». Nous nous retrouvons pour notre part complètement dans cette position. Nous pensons que l'Education Physique ne prend de sens que dans la mesure où les élèves y acquièrent des compétences significatives, dans des activités sportives reconnues (Delignières, 2001 ; Delignières & Garsault, 1993 ; 1997). A ce titre, l'apprentissage des techniques sportives constitue un enjeu essentiel.

Essentiel, mais pas unique. L'apprentissage moteur n'épuise certainement pas l'ensemble des apprentissages qui peuvent et doivent être réalisés en Education Physique. Nous avons ici quelques années défini une compétence comme un ensemble hiérarchisé et cohérent de ressources comprenant notamment des habiletés motrices, des habiletés de nature méthodologiques, des connaissances déclaratives et des attitudes (Delignières & Garsault, 1993). C'est cet ensemble qui peut permettre à un élève d'agir efficacement dans ces environnements complexes que sont les activités sportives. Au-delà de la maîtrise des techniques sportives et des décisions tactiques, l'élève doit être en mesure d'échanger à propos de l'activité, de communiquer avec ses partenaires. Il doit également être en mesure de tenir efficacement des rôles d'encadrement de la pratique (pareur, assureur, manager, juge, arbitre, etc.), dont la maîtrise repose également sur l'apprentissage et la pratique. Enfin, l'Education Physique revendique depuis longtemps une action sur le versant des attitudes, et notamment au niveau de ce qu'il est convenu d'appeler la citoyenneté : responsabilité, solidarité, respect de l'autre sont autant d'objectifs dont la poursuite repose, là aussi, sur de l'apprentissage (Morissette & Gingras, 1989). Si par tradition, lorsque l'on parle d'apprentissage en Education Physique, c'est presque exclusivement à l'apprentissage moteur que l'on pense, il est important de garder à l'esprit que d'autres types d'apprentissages doivent être réalisés, que ces apprentissages ont leurs spécificités, irréductibles à ce qui a pu être dit dans ce cours sur l'acquisition des habiletés motrices.

Enfin, il est essentiel de resituer l'apprentissage dans le contexte scolaire : pourquoi l'élève apprend-t-il à l'école ? Cette question renvoie à une problématique qui n'a pas été évoquée ici, celle de l'effort et de la motivation (Delignières, 2000). Les liens entre motivation et apprentissage sont assez complexes et souvent paradoxaux (voir par exemple Durand, 1987). Il est courant, par exemple, de dire qu'il est nécessaire d'être motivé pour apprendre. On a montré cependant que de nombreux apprentissages se faisaient à l'insu du sujet, c'est-à-dire sans intention d'apprendre, et sans motivation particulière. En revanche, il semble établi que l'apprentissage entretient la motivation pour persister

dans la pratique. La réflexion sur ces questions doit englober les théories des buts motivationnels, des émotions, de l'apprentissage social, et de la psychologie des groupes.

Références :

- Abernethy, B. & Sparrow, W.A. (1992). The rise and fall of dominant paradigms in motor behaviour research. In J.J. Summers (Ed.), *Approaches to the study of motor control and learning* (pp. 3-45). Amsterdam: Elsevier.
- Azémar, G. (1975). Plaidoyer pour l'aventure motrice. *Esprit*, 5, 769-783.
- Delignières, D. (1998). Apprentissage moteur: Quelques idées neuves. *Revue EPS.*, 274, 61-66.
- Delignières, D. (2001). Performance et démocratisation. In *Education Physique et Sportive: Quelle activité professionnelle pour la réussite de tous?* (pp. 89-94). Paris: SNEP.
- Delignières, D., & Garsault, C. (1993). Objectifs et contenus de l'EPS: Transversalité, utilité sociale et compétence. *EPS*, 242, 9-13.
- Delignières, D., & Garsault, C. (1996). Apprentissages et utilité sociale: que pourrait-on apprendre en EPS? In B.X. René (Ed.), *A quoi sert l'Education Physique et Sportive?* (pp. 155-162). Paris: Edition Revue EPS.
- Durand, M. (1987). Motivation, traitement de l'information et acquisition des habiletés motrices. In A. Vom Hofe et R. Simonnet (Eds.), *Recherches en Psychologie du Sport* (pp. 175-184). Paris: EAP.
- Durand, M. (2001). *Chronomètre et survêtement*. Paris : Edition Revue EPS.
- Goirand, P. (1998). Enseignement de la gymnastique dans le second degré: crise et perspectives. In J.F. Robin & D. Hauw (Eds.), *Actualité de la recherche en activités gymniques et acrobatiques* (pp. 15-20). Paris : Editions Revue EPS.
- Le Boulch, J. (1966). *L'éducation par le mouvement*. Paris : ESF.
- Morissette, D., & Gingras, M. (1989). *Enseigner des attitudes?* Bruxelles: De Boeck.
- Rochex, J.Y. (1996). Rapport des jeunes au système éducatif aujourd'hui. *Revue EPS*, 262, 9-12.