

A propos de la théorie des systèmes dynamiques: Quelques idées neuves sur l'apprentissage moteur

1998, *Revue E.P.S.*, 274, pp. 61-66.

Didier Delignières

EA 2991 Sport, Performance, Santé

Faculté des Sciences du sport et de l'Education Physique

Université Montpellier I

La lecture des copies de concours ou la participation aux jurys d'admission permet de se faire une image assez précise des représentations que les enseignants d'EPS véhiculent en matière d'apprentissage moteur. On peut résumer ces représentations à partir des points suivants:

1.- Le sujet (l'élève) agissant est considéré comme un système traitant de l'information. Il est clair que la psychologie cognitive, et notamment la métaphore informatique qu'elle sous-tend (c'est-à-dire que le système nerveux central est plus ou moins explicitement assimilé à un ordinateur), a largement marqué la réflexion didactique. Il en ressort que l'apprentissage moteur est envisagé comme un cas particulier d'apprentissage cognitif, et les enseignants d'EPS se réfèrent volontiers à des modèles construits par exemple dans le domaine des apprentissages conceptuels.

2.- Le comportement moteur est conçu comme piloté par des connaissances. L'apprentissage moteur est par conséquent sous-tendu par l'acquisition de ces connaissances. Le recours à la verbalisation, à l'explicitation est massif, et devient un passage obligé du processus d'apprentissage. L'élève doit comprendre, et la réussite effective ne constitue qu'un moyen d'étayer cette compréhension ou la conséquence d'une compréhension antérieure.

3.- Le rôle de l'exercice et de la répétition sont minorés. L'important est d'assurer une résolution cognitive rapide du problème auquel on confronte les élèves. La compréhension est donc supposée permettre un apprentissage par *insight*, c'est-à-dire une modification immédiate et stable du comportement.

Les développements actuels de la théorie des systèmes dynamiques, dans le domaine de la motricité et de l'apprentissage moteur, sont à même de renouveler profondément ces conceptions. Parfois évoquée, rarement maîtrisée, l'approche dynamique est la cible de maints fantasmes, y compris de la part de chercheurs en STAPS. Elle est notamment souvent décrite comme une théorie mécaniciste, niant tout rôle à la sphère cognitive (et notamment des représentations) dans le contrôle de la motricité.

L'objectif de cet article est de dépassionner ce débat, de présenter le plus clairement possible les

fondements de l'approche dynamique de l'apprentissage et du contrôle moteur, et d'envisager en quoi cette approche peut rendre compte des situations réelles d'enseignement ou d'entraînement. Du fait de la relative jeunesse de la recherche dans ce champ, ces perspectives d'application resteront limitées, mais nous les croyons porteuses d'une rénovation profonde des conceptions et des pratiques en matière d'enseignement. Rassurons d'entrée le lecteur: les implications pratiques d'une théorie de l'apprentissage ne sauraient guère que redécouvrir ce qu'intuitivement les enseignants et entraîneurs expérimentés ont mis en lumière. L'approche dynamique ne va pas générer des procédures révolutionnaires, inédites. Par contre, elle peut proposer une nouvelle manière de penser l'apprentissage moteur, et remettre en perspective un certain nombre d'errances qui traversent actuellement le discours didactique en EPS.

Nous tenons à prévenir le lecteur: nous présentons dans cet article un cadre théorique qui sera nouveau pour le plus grand nombre, et dont l'appréhension demandera quelques efforts. Ce texte n'est pas facile, même si nous avons tenté au maximum d'aller au plus simple et de donner des exemples concrets. Les termes apparaissant en italique lors de leur première occurrence sont les concepts principaux de l'approche: nous avons tenté de les définir de la manière la plus claire possible. Nous nous excusons par avance auprès de nos collègues dynamiciens, pour les inévitables raccourcis qui émailleront un texte aussi ramassé sur un sujet si vaste.

Théories prescriptives et théories dynamiques.

Les conceptions que nous avons précédemment décrites renvoient de manière massive, et souvent caricaturale, à ce que l'on appelle couramment les *théories prescriptives* de l'apprentissage et du contrôle moteur. Ces théories suggèrent que l'apparition de l'ordre, dans un système complexe, est déterminée par une instance de commande et de contrôle, extérieure au système. Le comportement du système moteur est considéré comme prescrit, déterminé de manière exhaustive par des représentations symboliques, soit explicites comme les règles d'action, soit implicites comme les programmes moteurs généralisés. Dans tous les cas, le système nerveux central est supposé au cours de l'apprentissage construire et stocker des modèles de l'action, décrivant par le menu les commandes à

adresser au système effecteur. Le comportement moteur, dans cette optique, ne constitue que le reflet fidèle des représentations construites au niveau cognitif.

La théorie dynamique adopte un point de vue différent, postulant que le comportement d'un système complexe *émerge* de l'interaction des contraintes qui pèsent sur lui. Un certain nombre d'auteurs ont évoqué l'exemple des insectes sociaux pour illustrer ce phénomène d'émergence (Deneubourg, 1977, Kugler & Turvey, 1987): la construction d'une termitière résulte d'un comportement de groupe hautement ordonné, débouchant sur un produit qui sans être prédictible obéit à un certain déterminisme. Une théorie prescriptive suggérerait l'existence d'une intelligence supérieure, une "termite architecte" capable de planifier les différentes étapes de la construction, et d'en commander l'exécution (figure 1).

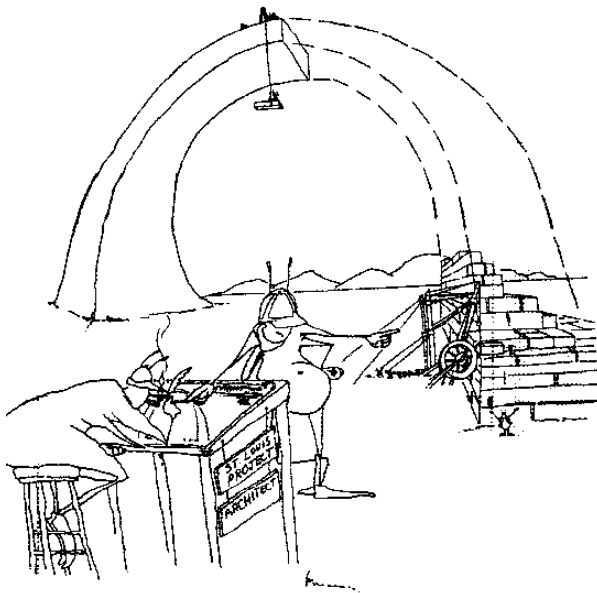


Figure 1: Illustration des conceptions prescriptives: la construction de la termitière nécessite l'élaboration, par un architecte, d'un projet planifiant les différentes étapes du travail (d'après Lintern & Kugler, 1991).

Il s'agit évidemment d'une hypothèse hautement improbable, et l'on montre au contraire que la termitière émerge progressivement de l'interaction des propriétés élémentaires du comportement de chaque individu termite, tendant à déposer sa matière là où un autre termite l'a fait précédemment. Pour peu que le système soit suffisamment complexe (c'est-à-dire dans ce cas que la population de termites soit suffisamment nombreuse), piliers, arches et coupoles apparaissent inexorablement.

Le comportement moteur, dans le cadre des théories dynamiques, est conçu comme un phénomène émergeant 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 la fréquence d'oscillation d'un pendule pesant, pour peu que ces 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 à prédire la fréquence naturelle de marche à partir d'une simple équation pendulaire, et Kugler et Turvey (1987) montrent qu'un modèle pendulaire permet de prédire avec une grande exactitude la fréquence d'oscillation des membres lors de la locomotion chez diverses espèces animales (figure 2). L'homme ne fait pas exception à cette règle, se situant à peu près au niveau de l'impala.

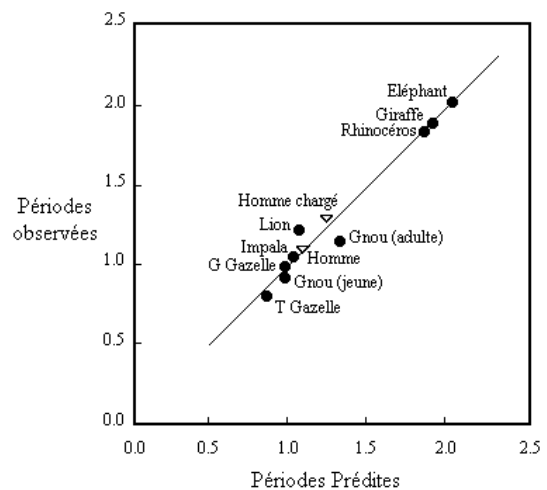


Figure 2: Relation entre les périodes prédites par un modèle pendulaire oscillant et les périodes effectivement observées dans diverses espèces animales (d'après Kugler & Turvey, 1987).

Entendons-nous bien: de tels exemples ne visent pas à supposer que le comportement n'obéit qu'à un déterminisme mécanique, que le système ne ferait que subir passivement. Ils suggèrent simplement qu'un contrôle cognitif, centralisé et exhaustif de la motricité est une hypothèse inutile, et que des caractéristiques essentielles du comportement du système effecteur résultent sans doute de processus d'auto-organisation.

Notons d'ailleurs que le terme "dynamique", que nous avons largement employé jusqu'à présent, ne renvoie absolument pas à une acception mécanique, mais au fait que *le comportement des systèmes étudiés évolue dans le temps*. La théorie des systèmes dynamiques est un modèle formel, susceptible d'être appliqué à de nombreux types et niveaux d'analyse,

pour peu que les systèmes considérés soient complexes et qu'ils évoluent en fonction du temps. On a vu ces dernières années des applications de cette théorie en météorologie, en économie, en astrophysique, ou encore en physique des particules. Diverses variantes de cette théorie ont été largement diffusées, sous les noms de théorie du chaos, ou théorie des catastrophes (pour une revue, voir Gleick, 1987).

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, construit par le chercheur, vise à "capturer", dans une mesure unique, le comportement, c'est-à-dire 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'influencent réciproquement. Le lecteur peut traduire dans un premier temps oscillateur par pendule (on a évoqué précédemment une telle modélisation en ce qui concerne la locomotion).

La position instantanée d'un oscillateur peut être mathématiquement décrite en terme de *phase*: pour faire simple, la phase d'un pendule en oscillation (exprimée en degrés) est égale à 0° au premier point mort du balancer (que l'on choisira de manière arbitraire), à 90° au passage en verticale basse, à 180° au point mort opposé, et à 360° au retour au premier point mort (figure 3). On peut rendre compte de la coordination de deux oscillateurs par le *décalage de phase*, c'est-à-dire par la différence instantanée entre leurs phases.

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 4). 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).

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. Après avoir essayé les deux coordinations décrites en figure 4 (caractérisées par un rapport 1:1), le lecteur peut tenter de produire un rapport 2:1: il faut pour cela que l'index droit fasse deux oscillations pendant que l'index gauche n'en fait qu'une.

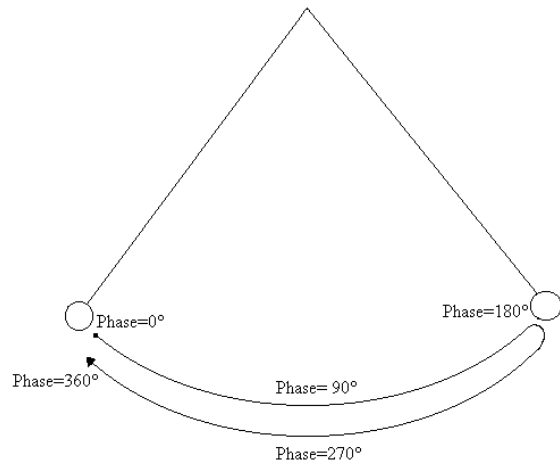


Figure 3: Illustration du concept de phase, dans le cas d'un pendule pesant simple.

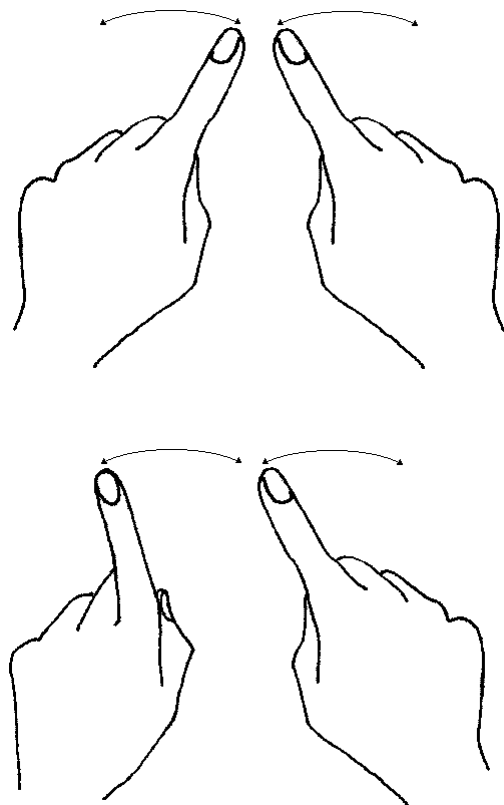


Figure 4: La tâche de coordination bimanuelle de Kelso et al. (1981). Le schéma du haut représente la coordination en phase (décalage de phase 0°), le schéma du bas la coordination en antiphase (décalage de phase 180°).

Retenons pour conclure que le paramètre d'ordre est un indice quantitatif, tentant de rendre compte de manière globale des caractéristiques qualitatives essentielles de la coordination.

Attracteurs et coordinations spontanées.

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. En termes plus opérationnel, 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: la coordination *en phase* (décalage de phase 0°) et la coordination *en antiphase* (décalage de phase 180°). 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 une 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 ponctué 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 repellants de la tâche bimanuelle dont nous parlons plus haut). Il est courant, de manière métaphorique, de représenter les attracteurs par des "vallées" et les repellants par des "collines" (figure 5). 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.

Coordinations spontanées et comportement du débutant.

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, & Micaleff, 1998; Swinnen, Dounskaia, Walter & Serrien, 1997).

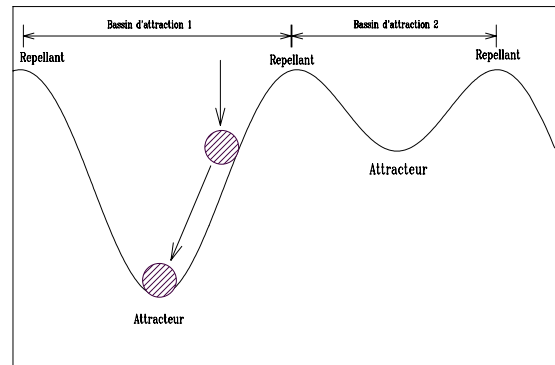


Figure 5: Représentation schématique d'un paysage d'attracteurs. Les attracteurs correspondent aux coordinations préférées du système, et les repellants aux coordinations les plus instables. Le trajet de la bille représente l'évolution de la coordination, à partir d'un quelconque état initial.

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 préférée, ou spontanée, offre une réponse au problème de la nature du comportement des novices. Nous avons par exemple montré que les principes décrits plus haut (synchronisation absolue des phases et des fréquences) permettaient de prédire le comportement de débutants confrontés à une tâche gymnique complexe (Delignières *et al.*, 1998). Nul besoin ici de se référer à des "connaissances", ou "représentations" préalablement construites. Le système obéit à des tendances naturelles, et tous les débutants adoptent une coordination identique dont l'ultime caractéristique est sans doute la facilité de contrôle (la synchronisation des points de revirement des principaux oscillateurs constitue sans doute le critère le plus marquant à ce niveau; cf Swinnen *et al.*, 1997). Retenons donc que l'apprentissage n'apparaît pas *ex-nihilo*, mais sur la base des coordinations spontanées du système.

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 paramètres de contrôle.

On appelle *paramètre de contrôle* tout facteur non spécifique (c'est-à-dire ne définissant 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 (voir figure 4): si l'on accroît la fréquence d'oscillation des deux index, un système en antiphase tend au delà d'une certaine fréquence à se déstabiliser et à se "réfugier" dans une coordination en phase. Le lecteur peut sur le champ tenter l'expérience: mobilisez vos index comme deux essuie-glaces, puis augmentez la fréquence des mouvements. A un certain moment, à votre insu, vos deux index vont basculer dans un mode en phase. Alors qu'à faible fréquence deux attracteurs coexistent (le paysage des attracteurs ressemble alors à celui décrit en figure 5, 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.

L'apprentissage dans les situations de compétition.

Rappelons qu'il s'agit, dans ces situations, de quitter un attracteur naturel pour adopter et stabiliser un comportement qui n'appartient pas à l'origine au répertoire du système. Zanone et Kelso (1992) ont étudié l'apprentissage d'un décalage de phase de 90° entre les mouvements des deux index (comportement

correspondant à un répulsif naturel du système). Cette expérience a montré qu'avec la pratique, les sujets étaient capables de réaliser cette coordination non naturelle. De plus, cette coordination nouvelle devient stable, et tend à attirer le comportement des sujets lorsqu'ils tentent une coordination voisine (par exemple une coordination à 75° de décalage de phase): l'apprentissage débouche donc sur le "creusement" d'un nouvel attracteur, au niveau de la coordination requise. L'expérience montre également qu'une autre coordination, non pratiquée, s'est stabilisée: il s'agit de la coordination à 270° de décalage de phase, qui constitue la réplique en miroir de la coordination apprise. Enfin, on assiste à une déstabilisation transitoire de la coordination antiphase, qui constituait pourtant l'un des attracteurs naturels du système (bien qu'étant intrinsèquement moins stable que la coordination en phase).

Cette expérience montre que l'apprentissage ne se résume pas à l'acquisition d'une coordination spécifique, mais modifie l'ensemble du paysage des attracteurs, c'est-à-dire la dynamique du paramètre d'ordre. Cette propriété permet une lecture nouvelle des phénomènes de transfert, positifs et négatifs, dans le processus d'apprentissage: l'acquisition d'une coordination nouvelle peut avoir pour résultat la déstabilisation de coordinations naturelles ou précédemment apprises, mais en retour elle peut faciliter l'exercice de coordinations non pratiquées jusqu'alors. D'autres recherches sont évidemment nécessaires pour explorer les implications de ce type d'hypothèses, dans des tâches mettant en jeu des coordinations motrices plus complexes.

D'autres enseignements peuvent être tirés de ces expérimentations. On peut noter tout d'abord que l'apprentissage est le résultat de la pratique: ce n'est qu'après un nombre conséquent d'essais que les sujets parviennent à stabiliser la nouvelle coordination. Cette stabilisation requiert de l'effort et suppose la répétition. Par ailleurs, un modèle du pattern à apprendre est présenté en continu aux sujets: ces derniers doivent par exemple tenter de synchroniser leurs mouvements avec les battements d'un métronome. On appelle *information comportementale* tout facteur spécifiant la coordination à adopter (rappelons qu'à l'inverse un paramètre de contrôle modifie la coordination sans la spécifier directement): une démonstration, une instruction verbale, un aménagement matériel peuvent prendre le statut d'information comportementale, pour peu qu'ils spécifient la coordination à adopter. A ce niveau, l'approche dynamique ne récusé en rien les approches classiques de l'aide à l'apprentissage, mais offre une nouvelle manière de les envisager: l'apprentissage va s'opérer au travers d'une compétition entre dynamique intrinsèque et information comportementale, la première déterminant les coordinations spontanées et la seconde le pattern à apprendre. Cette approche suggère notamment un réexamen de la problématique de la démonstration: dans quelles mesures une démonstration spécifie-t-elle le pattern à apprendre, et

comment peut-on optimiser la spécification du pattern par la démonstration (focalisation de l'attention du sujet sur certains aspects du modèle, recours à des modèles rythmiques, etc...).

Un certain nombre de recherches ont également montré (rejoignant en cela les résultats des approches prescriptives) que l'adjonction de feedback sur la performance permettait d'améliorer l'apprentissage (voir par exemple Swinnen et al., 1997). Néanmoins ce feedback ne semble efficace que s'il porte sur le paramètre d'ordre. Vereijken et Whiting (1990) ont montré par exemple, dans une série de travaux sur l'apprentissage sur un simulateur de ski, que les sujets ne tiraient pas de bénéfices de feedback relatifs à des variables non essentielles telles que l'amplitude, la fréquence ou la fluidité du mouvement. Les auteurs concluent à l'inutilité des feedback, pour peu que la tâche présente un certain niveau de complexité. Cette conclusion nous semble prématurée, et le feedback nous apparaît représenter une aide fondamentale à l'apprentissage, notamment dans les tâches de compétition. Cependant le feedback doit porter sur des variables pertinentes, c'est-à-dire les variables collectives ou paramètres d'ordre résumant la coordination.

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

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

De manière inverse, on peut agir sur un paramètre de contrôle pour rendre disponible, donc stable, une coordination non attractive à l'origine. Supposons (il ne s'agit que d'une illustration farfelue destinée à éclairer l'argumentation), que vous vouliez apprendre à un sujet à courir. Une première solution consisterait à le mettre sur un tapis roulant, pas trop rapide pour simplifier la tâche (par exemple 5 km/h) et à lui "expliquer" le pattern de course. Une solution sans doute plus efficace est d'accroître la vitesse du tapis au-delà de 7.5 km/h, de manière à ce que l'attracteur course émerge spontanément. Dans un registre plus réaliste, Wagenaar et van Emmerick (1994) ont montré qu'il était possible de réduire la coordination de marche de sujets handicapés, en leur imposant sur tapis roulant une vitesse de déplacement supérieure à celle qu'ils adoptaient spontanément: les patients retrouvent alors une coordination similaire à celle des sujets valides.

Dans le domaine sportif on peut avancer l'exemple de l'apprentissage de la roue. Les situations classiques d'apprentissage de cet élément gymnique sont suffisamment connues: surélévation des mains pour favoriser la "poussée" des membres inférieurs, aménagement de lignes ou de couloirs pour favoriser l'alignement, modèles rythmiques pour susciter une pose espacée des appuis, consignes diverses concernant le lancer de la jambe libre, l'extension des membres inférieurs, etc... Ces procédures débouchent le plus souvent sur une roue réalisée à l'arrêt, progressant peu dans l'espace (le sujet pose en général les mains de manière simultanée à 20 cm du dernier pied). C'est oublier que la roue, comme d'ailleurs la rondade, est avant tout un déplacement quadrupédique, et dans la logique acrobatique une prise d'élan. Une roue doit s'intégrer dans un déplacement accéléré: on rentre dans la roue en avançant, et on doit quitter la roue en ayant gagné en vitesse. On peut supposer que la vitesse de déplacement, dans ce cas, constitue un paramètre de contrôle fondamental du système. On peut ici donner l'image du cerceau, ou de la bicyclette: c'est la vitesse de déplacement qui dans les deux cas donne de la stabilité au système, en d'autres termes actualise un attracteur potentiel.

L'apprentissage de la roue pourrait ainsi être abordée à partir des consignes suivantes (on considère que l'élève a déjà une image globale de ce qu'est une roue): *marcher, faire une roue, continuer à marcher*. Cette situation vise à installer le paramètre de contrôle vitesse à un niveau où la roue devient un attracteur du système. Notez que d'autres procédures peuvent converger vers le même résultat: courir (mais c'est une seconde étape), utiliser un plan incliné (descendant, évidemment), accompagner manuellement (propulser) le bassin de l'élève vers l'avant, etc... Dans tous les cas, les critères classiques (alignement, espacement des appuis) apparaissent comme conséquences de l'émergence de la roue.

L'apprentissage dans les situations de convergence.

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

On peut supposer qu'alors la stratégie d'un enseignant doit consister à accroître la force des attracteurs naturels, en jouant à nouveau sur les paramètres de contrôle pertinents. Nous avons testé ce type d'hypothèse lors d'une expérimentation réalisée sur un "simulateur de ski" (Delignières, Nourrit, Lauriot & Cadjee, 1997; Figure 6). Dans cette tâche, les sujets doivent manoeuvrer un chariot le long de deux rails, en exploitant les propriétés de deux rubans élastiques qui tendent à ramener le chariot en position centrale (notons, pour les puristes, que cette tâche n'a pas grand chose à voir avec le ski, même si la forme du mouvement peut évoquer une fine godille, sur piste bien damée...). La performance réalisée est caractérisée par l'amplitude des mouvements du chariot, de part et d'autre de la position centrale, et par leur fréquence.

L'expérience consistait à tester l'efficacité de différentes amplitudes de travail (soit 15, 22.5 ou 30 cm, de part et d'autre de la position centrale), sur l'acquisition et la stabilisation de la coordination. Les résultats ont montré que plus l'amplitude exigée des sujets était élevée, plus la coordination adoptée était stable et efficace. Dans ce cas l'amplitude semble jouer le rôle de paramètre de contrôle, dont l'accroissement stabilise et renforce les attracteurs du système.

On peut noter que dans ce cadre spécifique des tâches de convergence, *c'est paradoxalement en rendant la tâche plus exigeante que l'on facilite l'apprentissage*. Cette proposition nous semble particulièrement intéressante, en ce qu'elle contredit les principes généralement retenus dans le cadre des approches cognitivistes de l'apprentissage (voir par exemple Famose, 1990).

Intentions et représentations

Quelques mots pour finir sur les représentations, dont d'aucuns ont pu croire que l'approche dynamique sonnait le glas. Ici encore, le problème n'est pas de nier l'existence des cognitions, mais de reconsidérer leur rôle dans l'apprentissage. Il est clair, au travers des quelques exemples que nous avons décrits plus haut, que la représentation que le sujet a du pattern à produire, ou les intentions qu'il poursuit dans une situation donnée, sont susceptibles non pas déterminer de manière absolue le comportement, mais du moins

d'en orienter la dynamique. Il nous semble heuristique, dès lors, de considérer intentions et représentations comme des *contraintes cognitives*, pesant au même titre que les autres catégories de contraintes sur l'émergence du comportement (Delignières & Nourrit, 1997; Swinnen, Heuer, Massion & Casaer, 1994).



Figure 6: Le simulateur de ski (d'après Vereijken, 1991).

Ce point de vue ne manquera pas de choquer ceux qui ont pris l'habitude de considérer les cognitions comme des ressources, s'opposant aux contraintes du système. Il faut garder à l'esprit que dans le cadre de cette approche, le concept de contrainte n'a pas le même sens que dans le couple ressources/contraintes popularisé notamment par l'approche systémique. Les contraintes ne s'opposent pas à l'atteinte du but, mais canalisent la dynamique du comportement en restreignant l'étendue des possibles.

Les travaux précités de Zanone et Kelso (1992) et Swinnen *et al.* (1997) suggèrent que la représentation d'un pattern à apprendre constitue une information comportementale, suscitant la transformation du paysage des attracteurs. Encore faut-il se poser la question des caractéristiques de la représentation efficace. On peut supposer que plus la représentation est en rapport avec la coordination dont rend compte la variable collective pertinente, plus elle sera efficace. Cette proposition ne suppose évidemment pas de privilégier des représentations savantes et mathématisées. Il s'agit de rendre compte, de manière parlante pour le sujet, des aspects essentiels de la coordination à adopter. Des consignes métaphoriques peuvent à ce niveau se révéler particulièrement efficaces (Cadopi & Thon, 1997).

Enfin les intentions du sujet peuvent jouer un rôle fondamental dans le processus d'apprentissage, dans la mesure où elles sont susceptibles de contraindre le système à faire évoluer un des paramètres de contrôle, et par ce biais de rendre disponible certains attracteurs, ou de réduire le potentiel d'attraction de certaines coordinations spontanées. En situation naturelle, c'est

l'intention de se rendre rapidement d'un point à un autre qui rend disponible l'attracteur "course".

Les entraîneurs et les enseignants d'EPS possèdent un vaste répertoire de "ficelles" pédagogiques, de consignes particulièrement efficaces, qu'ils ont élaborées plus ou moins intuitivement au cours de leur pratique. Ces consignes visent à donner aux athlètes les "bonnes" intentions dans une situation donnée: on peut proposer à titre d'exemple la consigne du "shoot", sur salto arrière, qui semble être particulièrement efficace sur le placement du gymnaste à l'impulsion. On peut faire l'hypothèse que l'efficacité de ces intentions (c'est-à-dire du système de buts et sous-buts qu'elles génèrent), est liée au fait qu'elle induisent l'évolution favorable d'un paramètre de contrôle du système. Cette voie d'investigation nous paraît particulièrement intéressante, d'une part pour permettre le dialogue entre chercheurs et praticiens, et d'autre part pour tenter de généraliser des savoirs qui demeurent très spécifiques.

Perspectives futures

Nous avons conscience que cette présentation demeure superficielle et lacunaire. Elle tente de répondre à la demande de nombreux enseignants qui nous demandaient des précisions sur l'approche dynamique et sur ce qu'elle pouvait leur apporter dans leur pratique professionnelle. Nous espérons avoir apporté quelque éléments de réponse, même si nous avons ici le sentiment d'anticiper sur les résultats de la recherche.

Il est clair que ce texte ne fournit pas de solutions immédiates et universelles. Les enseignants et entraîneurs désireux d'approfondir ces propositions vont devoir se confronter, pour chaque situation d'apprentissage, aux problèmes que tentent de résoudre quotidiennement les chercheurs qui bataillent dans ce champ. Un certain nombre de questions doivent être posées, de manière spécifique:

1.- Quel(s) paramètre(s) d'ordre permet(tent) de décrire de manière satisfaisante la coordination?

2.- Quels sont les attracteurs naturels du système? Se situe-t-on dans une situation de convergence ou dans une situation de compétition?

3.- Quels sont les paramètres de contrôle du système? Dans quelle mesure une action sur ces paramètres permet-elle la réduction ou l'accroissement de la force des attracteurs naturels, ou encore la mise à disposition d'attracteurs non présents à l'origine dans la dynamique du paramètre d'ordre?

La tâche peut paraître ardue. Cependant, comme nous l'avons dit plus haut, souvent les entraîneurs et enseignants possèdent déjà les réponses à ces questions, et la recherche ne pourra que redécouvrir a posteriori des procédures déjà validées par la pratique. Ce n'est pas pour autant une tâche inutile. Elle est

susceptible de générer des procédures inédites, de favoriser des transferts de procédures d'activité à activité, de questionner l'utilité de certaines pratiques davantage justifiées par l'habitude que par leur efficacité réelle.

Enfin, ces propositions ne concernent en l'état que le problème de l'acquisition des coordinations motrices complexes. Si certaines activités à dominante technique, telles que l'athlétisme, la gymnastique, la natation, l'escalade, la danse, etc... sont directement interpellées, les aspects stratégiques et décisionnels des activités dites ouvertes ne sont pas dans l'immédiat concernés. Dans l'immédiat, car l'activité perceptivo-décisionnelle ayant toute les caractéristiques d'un système complexe et dynamique, son investigation au travers du paradigme que nous avons évoqué ne saurait tarder (voir par exemple Williams, 1997).

Note: Je tiens à associer à cet article les étudiants de la Faculté des Sciences du Sport de Montpellier qui travaillent sur ces thématiques, et en particulier Déborah Nourrit, Brice Lauriot, Thibault Deschamps et Felix Chevrant. Je tiens également à remercier Marc Durand, Carole Sève et Marie-Estelle Godar, pour leur lecture critique d'une première version de ce manuscrit.

Références

Cadopi, M. & Thon, B. (1997). *Habilités motrices, langage, image*. Communication présentée au VIIème Congrès International des Chercheurs en Activités Physiques et Sportives, Marseille, 3-5 novembre 1997.

Delignières, D. & Nourrit, D. (1997). Neuere Entwicklungen und aktuelle Perspektiven der Forschung zum Motorischen Lernen in Frankreich. In G. Treutlein & C. Pigeassou (Eds.), *Sportwissenschaft in Deutschland und Frankreich* (pp. 133-146). Hamburg: Czwalina Verlag.

Delignières, D., Nourrit, D., Lauriot, B. & Cadjee, I. (1997). *L'apprentissage des habilités motrices complexes*. Communication présentée au VIIème Congrès International des Chercheurs en Activités Physiques et Sportives, Marseille, 3-5 novembre 1997.

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*, sous presse.

Deneubourg, J.L. (1977). Application de l'ordre par fluctuation à la description de certaines étapes de la construction du nid chez les termites. *Insectes Sociaux*, **24**, 117-130.

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

Holt, K.G., Hamill, J. & Andres, R.O. (1990). Predicting the minimal energy cost of human walking.

Medecine and Science in Sports and Exercise, **23**, 491-498.

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.

Kugler, P.N. & Turvey, M.T. (1987). *Information, natural law, and the self-assembly of rhythmic movement*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Lintern, G. & Kugler, P.N. (1991). Self-organization in connectionist models: Associative memory, dissipative structures, and thermodynamic law. *Human Movement Science*, **10**, 447-483.

Newell, K.M. (1986). Constraints on the developpement of coordination. In M.G. Wade & H.T.A. Whiting (Eds.), *Motor Development in Children: Aspects of Coordination and Control* (pp. 341-360). Dordrecht: Nijhoff.

Swinnen, S.P.; Dounskaia, N., Walter, C.B. & Serrien, D.J (1997). Preferred and induced coordinations modes during the acquisition of bimanual movement with a 2:1 frequency ratio. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **23**, 1087-1110.

Swinnen, S.P., Heuer, H., Massion, J. & Casaer, P. (1994). *Interlimb coordination. Neural, dynamical and cognitive constraints*. New York: Academic Press.

Vereijken, B. (1991) *The dynamics of skill acquisition*. Amsterdam: Free University Press.

Vereijken, B. & Whiting, H.T.A. (1990). In defence of discovery learning. *Canadian Journal of Sport Psychology*, **15**, 99-106.

Wagenaar, R.C. & van Emmerick, R.E.A. (1994). Dynamics of pathological gait. *Human Movement Science*, **13**, 441-471.

Walter, C.B. & Swinnen, S.P. (1990). Kinetic attraction during bimanual coordination. *Journal of Motor Behavior*, **22**, 451-472.

Williams, A.M. (1997). *Visual research in sport: A dynamical perspective*. Communication présentée au IX World Congress of Sport Psychology, Netanya, Israel, 5-9 Juillet 1997.

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.