

et celui d'anticipation aux pratiques plus ouvertes. L'incertitude générée par la présence d'un adversaire nécessite de dépasser le présent pour se situer dans l'instant d'après afin d'entrevoir ses intentions et s'organiser en conséquence. Préparer une action dépend donc des conditions de sa réalisation. Si tous les paramètres peuvent être connus par avance (cas des habiletés fermées), ils pourront être intégrés à la phase qui précède le geste. La préparation pourra être très spécifique. Au contraire, si des incertitudes demeurent (qu'elles soient liées aux adversaires directs ou à des aspects fluctuants de l'environnement) le sportif n'aura d'autre recours que de se préparer, tout en étant déjà engagé dans l'action. L'obtention de la performance exigera l'anticipation.

1.2 L'organisation du mouvement

Les activités physiques et sportives posent des problèmes d'organisation de la commande et de contrôle de l'exécution. Pour les résoudre, le système nerveux doit tenir compte des contraintes extérieures qui font des pratiques sportives des activités porteuses de plus ou moins d'incertitude. Celle-ci dépend de deux facteurs : le milieu environnant et la présence d'adversaires. Milieu instable et opposition directe apportent à la pratique sportive une forte indétermination. Plus elle est élevée et plus le sujet devra diversifier les solutions qu'il aura construites, pour pouvoir les étendre au plus grand nombre de situations possibles. Plus elle est réduite, plus il pourra renforcer l'organisation interne de ses conduites motrices.

Le sportif doit tout d'abord construire des savoir-faire techniques. Le répertoire des programmes primaires va constituer son registre de base. L'utilisation de cette banque de mouvements constitue la première démarche du système nerveux dans la pratique sportive. Elle est facilitée par la modularité du système nerveux central (ses caractéristiques de flexibilité et de plasticité) qui permet de multiplier les formes d'un mouvement pour l'adapter à des usages voisins mais différents. Avec plusieurs variantes d'un même plan d'action, on peut composer, à volonté, des applications voisines mais non identiques. La diversité des insertions musculaires, souvent pluri-articulaires ainsi que la combinaison des degrés de liberté des articulations⁽⁶⁹⁾ facilitent la mise en œuvre

⁽⁶⁹⁾ Le simple mouvement de flexion de l'avant-bras sur le bras peut être obtenu par une pluralité de combinaisons des contractions du biceps brachial et du long supinateur. Tous deux sont pluri-articulaires, le biceps croise l'épaule et le coude, le long supinateur le coude et le poignet.

de cette commande modularisée. Il reste toujours possible de construire une motricité nouvelle. À terme, il ne s'agit plus seulement de modifier des circuits nerveux existants, mais d'en stabiliser de nouveaux, qui déboucheront sur des comportements originaux. C'est un acquis personnel plus ou moins performant, qui va différencier deux acteurs d'une même discipline : l'acquisition de techniques transforme le sportif en un pratiquant hautement spécialisé. Le système nerveux confère à chacun la capacité d'organiser ses conduites à sa manière. C'est la deuxième réponse qu'il apporte, grâce à ses potentialités à mémoriser des comportements qui ne sont pas pré-inscrits dans les centres nerveux, véritables neuroprocesseurs dont les structures de communication interne sont modulables. La mémorisation est liée, en partie, à l'aptitude des synapses à transmettre la commande nerveuse et à leur renforcement par la pratique répétée. C'est sur ce principe que reposent l'apprentissage du geste, son évolution par l'entraînement et sa stabilisation dans une perfection recherchée. Se pose ensuite le problème du contrôle de l'exécution.

1.3 Le contrôle du mouvement

L'idéal serait de pouvoir le faire à chaque instant du déroulement de l'action, surtout si elle a lieu dans un milieu incertain. Ceci est possible lorsque la durée de l'action est relativement importante. Compte tenu des exigences des pratiques sportives dans lesquelles la vitesse d'exécution est un critère d'efficacité cela n'est pas toujours possible. En particulier, la rapidité des mouvements balistiques et l'impossibilité, dans ce cas, d'agir sur le projectile lancé, font que le sportif doit prérégler les paramètres du mouvement avant d'enclencher son exécution. Lorsque le contexte de la pratique est prévisible (incertitude réduite) le sujet peut programmer par avance l'ensemble des paramètres de l'exécution. Toutefois, les rétroactions offrent une possibilité de vérification supplémentaire pour les mouvements lents et cette redondance confère une certaine fiabilité à la réalisation du geste.

La diversité des activités sportives fait que toutes les possibilités sont envisageables : utilisation ou déstructuration de la motricité primaire, environnement stable ou changeant ; l'ensemble des combinaisons est possible. Il s'agit d'étudier les problèmes de préparation, d'organisation de commande et de contrôle du mouvement, à travers l'exemple de plusieurs séquences sportives, avec leurs exigences particulières. Pour chacune d'elle, une courte analyse mettra d'abord en avant le problème qu'elle pose au

objets. L'analyse des caractéristiques de l'outil serait effectuée par les secteurs pariétaux comme si le sujet devait réellement s'en servir. L'existence de système de neurones miroirs ne serait donc pas réduite aux seules aires prémotrices mais pourrait être étendue aux réseaux de neurones organisés somatotopiquement. Paccalin et Jeannerod (2000) ont observé des altérations comparables du cycle respiratoire dans les mêmes conditions d'exécution et d'observation. Deux tâches différentes ont conduit à cette conclusion : le levage d'une charge et une course sur tapis roulant à vitesse variée (de 2,5 à 10 km/h). La fréquence respiratoire a augmenté corrélativement à la vitesse du tapis roulant jusqu'à dépasser la fréquence de repos de 30 %. En revanche, aucune modification du rythme cardiaque n'a été mise en évidence.

Les résultats des travaux menés dans le champ de l'imagerie mentale et de l'observation sont convergents. Les mêmes réseaux de neurones seraient activés dans ces conditions et, bien sûr, lors de l'exécution. Ces données risquent de renouveler les conceptions de l'apprentissage moteur dans lequel l'activité mentale pourrait prendre une plus large part. Loin de remplacer l'expérience motrice effective, observation et représentation mentale pourraient néanmoins contribuer à la renforcer, tout comme l'exercice de la motricité modifie notre représentation et change également notre manière de l'observer.

3. Organisation, commande et contrôle du mouvement face aux contraintes liées au milieu et aux adversaires

3.1 Renforcement des programmes primaires dans un environnement stable

3.1.1 TIR et posture

Les activités de tir (pistolet, carabine ou arc) ont toutes la même exigence, celle de stabiliser la position de l'arme, afin que l'œil et le viseur soient alignés sur la cible au moment du tir. Le maintien de l'arme se fait généralement en position debout, bien que certaines épreuves, comme le biathlon (ski nordique et tir à la carabine), conservent une épreuve de tir couché. Le problème posé au tireur est de stabiliser sa posture, afin que l'arme soit le plus immobile possible (Meyer et Baron, 1982, Era *et al.*, 1996).

L'activité ne remet pas le référentiel postural habituel en cause : appuis plantaires avec absence de déplacement, verticalité du buste et horizontalité du regard, orientation vers l'avant sont les caractéristiques qui en sont conservées. Son utilisation permet à chacun de faire du tir sans réel apprentissage préalable. Un ajustement postural anticipé permet de pallier le déséquilibre provoqué par la montée à l'horizontale du bras porteur de l'arme⁽⁷¹⁾. Cette régulation est incluse dans le programme du mouvement volontaire. Pendant la visée, l'immobilité constitue une position inhabituelle. C'est en fait une régulation posturale discontinue qui va l'assurer car l'entraînement va se centrer sur deux points particuliers : limiter les oscillations du centre de gravité autour de sa position d'équilibre puis stabiliser la position de l'arme en les compensant. C'est en travaillant le contrôle rétroactif des positions segmentaires que l'on parvient petit à petit à minimiser l'ampleur de ces régulations posturales. Le tireur adopte la position la plus stable possible, en écartant ses deux pieds plus qu'à l'accoutumée. Le port de chaussures spéciales, avec une semelle large améliore encore davantage la stabilité. La fixation des articulations des membres inférieurs et du tronc par des contractions isométriques (activité tonique des muscles posturaux) renforce également la position. Cette stabilisation corporelle générale constitue la base sur laquelle va se construire une régulation posturale discontinue. L'activité n'a pas de contrainte temporelle réelle. Au dire des tireurs, ils ont le temps de vérifier une à une les attitudes qui constituent la clé d'un tir précis, ce qu'ils font de manière sérielle. S'il importe de maintenir la position du corps, il est sans doute encore plus important d'assurer celle de l'arme. Elle va devenir la référence posturale, certainement à égalité avec la tête. Konttinen *et al.* (1998) ont montré que les tireurs d'élite se concentrent d'abord sur la stabilisation de leur arme, grâce à des informations rétroactives corporelles, alors que les espoirs de la spécialité font davantage confiance aux informations visuo-spatiales. Le passage du niveau espoir à celui d'expert suppose la réorganisation du contrôle postural, en minimisant le repérage exocentré et en privilégiant la construction d'une référence corporelle. Dans des conditions statiques, la tête fait bloc avec le bras qui tient l'arme pour rester le plus immobile possible grâce à des oscillations du corps autour des appuis (modèle du pendule inversé). La proprioception articulaire et musculaire fournit les bases nécessaires à cette

⁽⁷¹⁾ Cette séquence sportive se rapproche de l'expérience de W.A. Lee, décrites pages 78 et 79.

signalera les changements de position et le canal semi-circulaire horizontal les mouvements de rotation dans le plan correspondant. Les informations proprioceptives seront utilisées pour contrôler l'alignement du tronc et des membres inférieurs, sans le support de la vision. Cette dernière devient donc accessoire pour contrôler la verticale renversée. Sans doute les données visuelles continuent-elles à être recueillies sans pour autant être prises en compte : un repère sur le sol sera sans doute conservé bien qu'il ne soit pas indispensable chez l'expert. L'importance relative des différents systèmes sensoriels varie donc en fonction de la position et des modes de déplacements adoptés et avec le niveau de pratique du gymnaste. La vision constitue le moyen primordial de repérage à distance. Lors des figures aériennes, en particulier, c'est elle qui va assurer la reprise de contact des pieds avec le sol : l'attention portée à la surface de réception va déclencher une préparation tonique des membres inférieurs, une anticipation nécessaire à l'amortissement. Le repérage visuel va aussi permettre le guidage terminal des pieds vers le tapis, lors de cette phase qui peut être assimilée à une tâche de pointage (Pozzo et Studeny, 1987). Cependant, lors de rotation, l'ancrage visuel dans l'environnement peut s'avérer plus perturbateur qu'utile. On constate d'ailleurs que si les gymnastes prennent un repère extra-corporel juste avant la rotation, ils acceptent de le perdre durant celle-ci et le retrouvent en phase terminale : la recherche d'un repère visuel pendant la rotation peut donner l'illusion d'un arrêt brusque du mouvement du corps et, par suite, celle du défilement de l'environnement autour de soi (Pozzo et Studeny, 1987). Cela provoque une impression désagréable, pendant laquelle on ne sait plus où on se trouve. Sans doute le gymnaste apprend-il à ne plus tenir compte momentanément des données visuelles, pour mettre son corps sous le contrôle des informations proprioceptives, y compris vestibulaires. Au terme du mouvement, la vision retrouve toute son efficacité en fixant par anticipation, la zone de réception. Lors de la rotation et à cause de son inertie, la tête est en retard sur l'œil. Elle tourne encore lorsque l'œil amorce un mouvement inverse pour stabiliser le repérage au sol. Cette situation constitue un exemple typique du fonctionnement du réflexe vestibulo-oculaire lors d'un mouvement gymnique : c'est la vision qui permet au corps de maîtriser son point de chute. Le contrôle des déplacements aériens, grâce aux informations proprioceptives, est acquis par un long entraînement. Ainsi, le débutant n'a-t-il pas encore construit cette référence corporelle lui permettant d'y parvenir. La perte momentanée des repères visuels, lors d'une

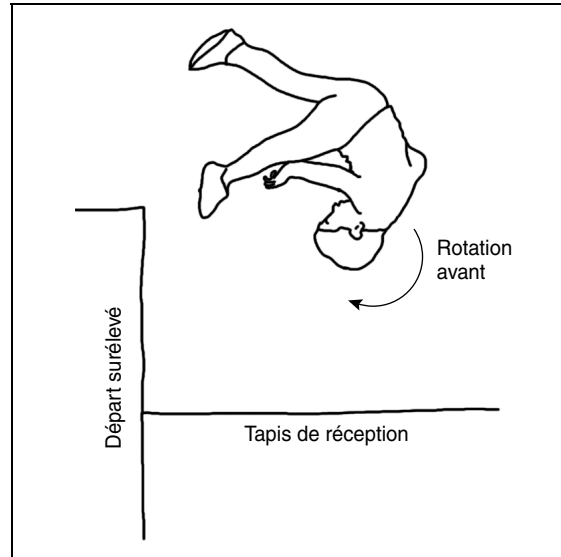


Figure 7.16

Attitude caractéristique du débutant lors d'une rotation vers l'avant (adaptation d'une photographie de J.P. Bonnet, 1988)

Le déséquilibre est accepté et la rotation est engagée par une flexion de la tête sur le tronc. Les systèmes visuel et tactile sont alors inopérants pour permettre à l'enfant de se repérer dans l'espace. Ce n'est qu'en construisant une autre référence, basée sur les informations proprioceptives qu'il y parviendra. Cela implique la mémorisation d'un repérage corporel dynamique, grâce à la répétition.

simple rotation vers l'avant, crée chez lui un instant d'absence de repérage. Cette situation peut être un prétexte au jeu car elle provoque une sorte de « trou noir », mais également une source d'anxiété, certains enfants refusant de s'y engager. Lorsqu'ils y parviennent, la tête se fléchit sur le tronc, entraînant la rotation du reste du corps. Mais leur attitude en suspension est généralement passive : ils attendent la réception qui leur permettra de retrouver les informations sensorielles habituelles (Figure 7.16).

3.3 Renforcement des programmes primaires dans un environnement changeant

3.3.1 BOXE et posture

Le but de cette activité est de marquer des points en frappant une cible à l'aide des poings, pour la boxe anglaise, des poings et pieds pour la boxe française (buste et visage pour la première, auxquels se rajoutent les membres inférieurs pour la seconde). Il existe des variantes qui donnent naissance à d'autres activités de boxe (utilisation des coudes et des genoux en boxe thaïlandaise, par exemple). Pour chaque boxeur, l'objectif est d'assurer sa propre protection tout en essayant d'atteindre lui-même l'adversaire. Les esquives sont assurées par des inclinaisons du tronc, latéralement ou vers l'arrière, coordonnées ou non à des déplacements d'appuis. Le boxeur doit toutefois maintenir la verticalité de son buste, pour être le plus souvent possible en situation d'atteindre lui-même, la cible adverse. Le

train de se dérouler. Il s'agit d'établir comment le contrôle de l'action peut évoluer en fonction des exigences et contraintes des différentes activités sportives. Les pré-réglages de l'action et les rétroactions générées par la propre activité du sujet doivent sans cesse être prises en compte. Les activités qui se déroulent dans un milieu stable vont privilégier les données proprioceptives ; celles qui prennent place dans un contexte aléatoire vont davantage se fonder sur les informations extéroceptives. Cette affirmation doit être nuancée et inciter à raisonner en termes de dominance. Les contrôles visuels et auditifs ne sont jamais absents des habiletés fermées ; les retours musculo-articulaires et tendineux sont indispensables aux habiletés ouvertes. Tact et informations vestibulaires se partagent entre l'extéro- et la proprioception.

4.2 Les activités fermées

4.2.1 DANSE et HALTÉROPHILIE

La danse est une morphocinèse ; elle n'a pas de but spatialement défini. C'est l'inverse pour l'haltérophilie, dans laquelle l'environnement (la barre à soulever) doit être dominé. On la qualifie de topocinèse. Pourtant, ces deux activités se déroulent dans un environnement stable, qui va conditionner en partie le contrôle des mouvements à partir des informations corporelles. La vision, sans être inutile n'aura qu'un rôle de repérage général dans l'espace, une fonction localisatrice. Le niveau de pratique rend ce point de vue relatif : les novices sont beaucoup plus dépendants d'un repérage basé sur les informations extéroceptives. En danse, les exigences de la performance supposent la construction d'une référence interne, d'une représentation ou d'une image du corps en mouvement (Cadopi, 1980). Le sujet code certaines propriétés invariantes de son geste, en particulier les rapports spatio-temporels. De ce fait, le danseur peut réaliser ces séquences morphocinétiques avec des amplitudes et des rythmes différents, sans que le résultat final, autrement dit la forme générale, soit modifié (Cadopi, 1990). Les séquences de mouvement, dont l'exécution est ample et conduite à faible vitesse, vont être contrôlées par des rétroactions proprioceptives (musculaires, articulaires et vestibulaires) et tactiles. Ce sont elles qui permettront la construction de la référence interne (Cadopi, 1988). À chaque répétition, les réafférences issues de l'exécution sont comparées aux consignes mémorisées, qui servent de référence au geste juste. Chez le danseur débutant, cela reste difficile et incertain : c'est une évidence dans des tâches de transfert, où

le sujet doit réaliser différentes configurations d'un mouvement avec un bras, les reproduire avec le même bras et le bras controlatéral. On enregistre des différences significatives dans la reproduction de ces configurations gestuelles (Cadopi, 1988). Les modalités proprioceptives priment en danse individuelle. Dans le cas du ballet, on doit souligner l'importance des informations visuelles, non seulement pour le réglage des déplacements de chacun et la synchronisation avec les autres danseurs, mais aussi dans le contrôle postural individuel (Hugel *et al.*, 1999). En étudiant le rôle de la vision dans la régulation des attitudes propres au ballet (pointe et demi-pointe), ces auteurs observent que les danseurs font mieux que la population témoin, mais seulement s'ils conservent les yeux ouverts. Golomer *et al.*, (1997) avaient mené un triple parallèle acrobates, danseuses de ballet, sujets naïfs. Dans la régulation posturale, les premiers sont moins dépendants de la vision que les secondes, elles-mêmes moins assujetties que les témoins. Les danseuses utilisent bien une référence interne construite grâce aux informations somesthésiques. Ce contrôle se retrouve chez des danseuses pré et post-pubères : il semble relativement indépendant du développement.

En haltérophilie, la performance dépend aussi de la construction d'un modèle interne même si la vision participe à la régulation posturale du système sujet + charge. Elle va alimenter des rétroactions comme elle le fait lorsque l'athlète évolue sans charge additionnelle. Cependant, tout comme le danseur, l'haltérophile va construire sa technique à partir d'informations corporelles. Le tact semble prendre plus d'importance que chez le danseur parce que la barre est saisie avec les mains, mais surtout parce qu'elle reste en contact avec le corps de l'haltérophile au cours de la levée. Il faut raccourcir le plus possible le bras de levier qui soutient la charge surtout pendant l'extension des membres inférieurs. L'haltérophile contrôle le trajet de la barre avec la partie antérieure des cuisses, aussi bien dans le mouvement d'arraché que dans celui d'épaulé-jeté. Pour ce dernier, deux actions peuvent être distinguées, avec un temps d'arrêt à la position « épaulé » où la barre est maintenue par les mains sur les deux ceintures scapulaires et la position « jeté », lorsqu'elle s'immobilise au-dessus de la tête, membres inférieurs et supérieurs en extension. Un contrôle de position s'opère au contact des épaules avant de se limiter ensuite aux mains, les bras étant en extension et l'haltère hors du champ visuel. En arraché, excepté le contact de la barre au niveau scapulaire, les mêmes informations proprioceptives vont contrôler le maintien de la charge dans le temps où