

## 4. Principes théoriques et scientifiques des capacités sensori-motrices

### Introduction

Les différentes approches scientifiques des capacités sensori-motrices vont s'articuler dans plusieurs domaines, de la physiologie, à la psychologie en passant par les neurosciences. Les études scientifiques au niveau sensori-moteur sont nombreuses. Une approche de ces différentes études est importante pour favoriser les liens et la compréhension entre ces différents domaines et ainsi favoriser la mise en pratique sportive des capacités de coordination. L'organe central de toutes ces sciences reste incontestablement le cerveau dont bien des secrets restent à découvrir.



*Fig.1 – Le cerveau [www.maxisciences.com]*

## 4.1. Physiologie du système neuro-musculaire.

Un simple geste est le fruit d'une multitude de contractions et de relâchements de fibres musculaires finement coordonnées les unes avec les autres.

Ces fibres, de types différents, appliquant des forces et des vitesses variables, sont contrôlées par des mécanismes nerveux complexes. Une multitude d'informations des milieux internes et externes parviennent, comme un flux sensoriel, par les voies afférentes au système nerveux. Ces informations sont traitées, organisées, mémorisées à différents niveaux du système nerveux central et sont transmises par les voies afférentes au système neuromusculaire, permettant ainsi la contraction des muscles.

L'unité fonctionnelle du mouvement est communément appelée unité motrice. Elle est composée d'un motoneurone, transmettant l'influx nerveux, et de fibres musculaires de types et de nombres différents selon le geste ordonné.

### 4.1.1. Le motoneurone et l'unité motrice

Un motoneurone est constitué d'un corps cellulaire, d'un axone et de dendrites.



*Fig.2 – Neurones reliés par des synapses (à gauche) et une plaque motrice (à droite)  
[www.photosearch.jp]*

Les transmissions nerveuses en contact avec la fibre musculaire forment la plaque motrice. Elles transmettent à la fibre musculaire un potentiel d'action, sous la forme d'un si-

Paragraphe tiré du livre "Biologie du sport" de Jürgen Weineck p.57

- La modulation fine se fait par l'augmentation de la fréquence de décharge des motoneurones impliqués.
- La modulation grossière s'obtient par la variation du nombre d'unité motrice recrutées. La plus grande tension que le muscle est capable de générer nécessite le recrutement de toutes les unités motrices disponibles, par une activation synchrone de la plus courte durée possible.
- La variation de la vitesse d'un mouvement s'effectue par l'activation d'unités motrices particulières (fibres FT, ST; petite et grandes unités motrices) en fonction du seuil d'excitation des différents motoneurones. Les grands motoneurones alpha dont la fréquence de décharge est élevée, mais qui sont moins facilement excitables, sont liés aux fibres musculaires FT. Les plus petits, à fréquence de décharge plus basse mais dont le niveau d'excitabilité est supérieur, sont liés aux fibres ST (Bruke et Edgerton 1975, 31).

Le geste sportif d'un individu sera le résultat de toutes ces actions neuromusculaires, on parle alors de **coordination motrice**.

## 4.1.2. Système nerveux et hiérarchisation

Comment est géré ce système nerveux neuromusculaire ? Pour que des stimuli engendrent une activité musculaire, il faut comprendre comment le système nerveux central traite les informations sensorielles dans leur ensemble. L'embryon est constitué d'un corps cérébral et d'une moelle épinière.

Tout semble tourner autour de cette structure. Le cerveau mature s'est développé par compartiments bien spécifiques, il est capable de répondre à toutes les informations et de les traiter.



Fig.4 – Embryon humain [area.autodesk.com]

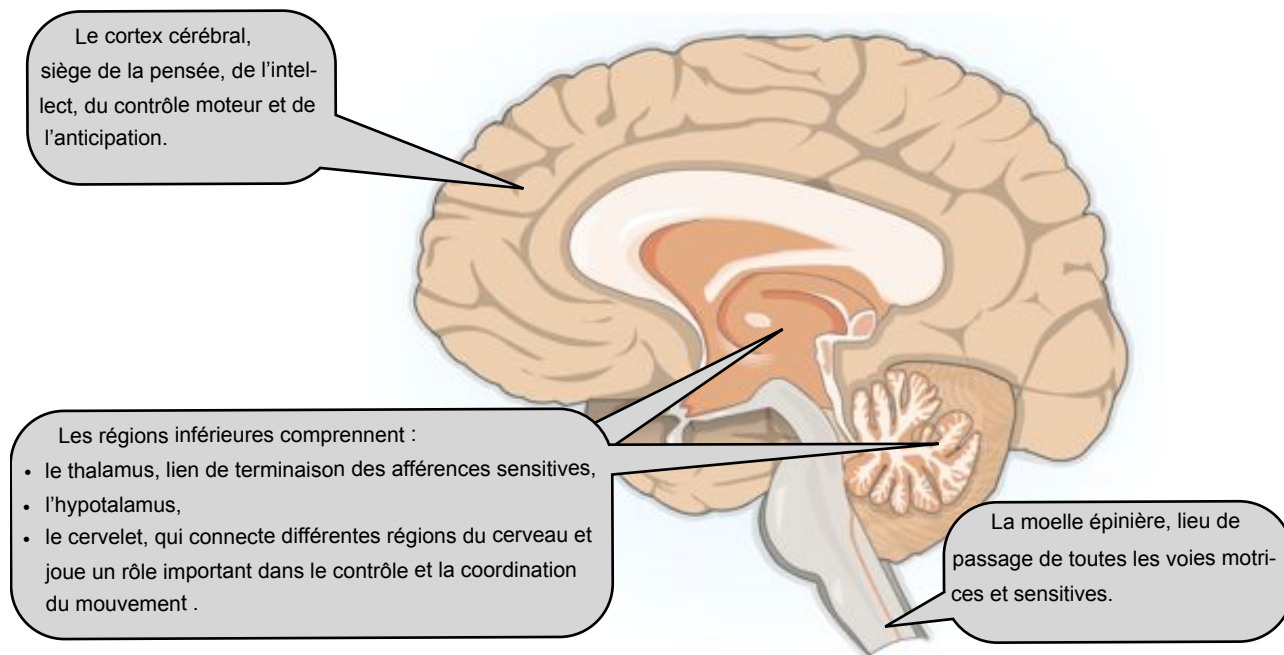


Fig.5 – Cerveau mature [adapté de edumedia-sciences.com]

Lorsque les récepteurs sensitifs perçoivent un stimuli, ils le transmettent par les voies sensibles afférentes à l'aide de neurones sensitifs.

Le système nerveux central hiérarchise les informations, les traite, les ordonne, les coordonne et ce sont les motoneurones qui acheminent le potentiel d'action jusqu'à la plaque motrice par les voies afférentes.

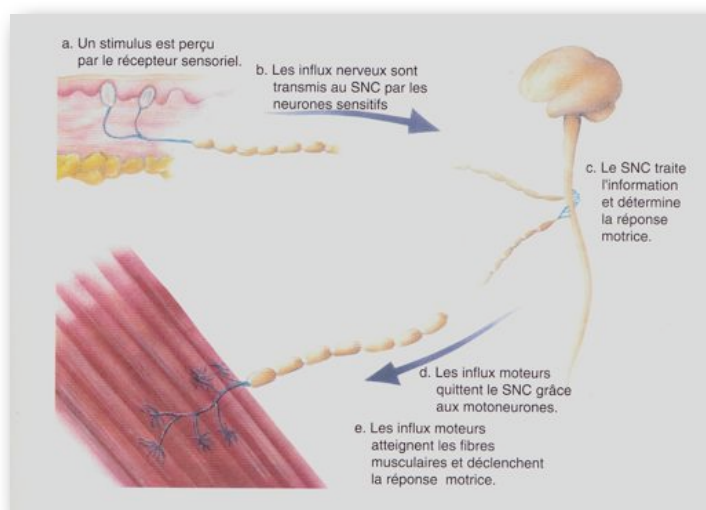


Fig.6 – Séquence d'événements dans l'intégration sensori-motrice [Willmore et Costill, *Physiologie du sport et de l'exercice physique*, p.59]

### 4.1.3. Hiérarchisation des réponses sensori-motrices

Les influx nerveux sensitifs peuvent être traité à différents étages du SNC.

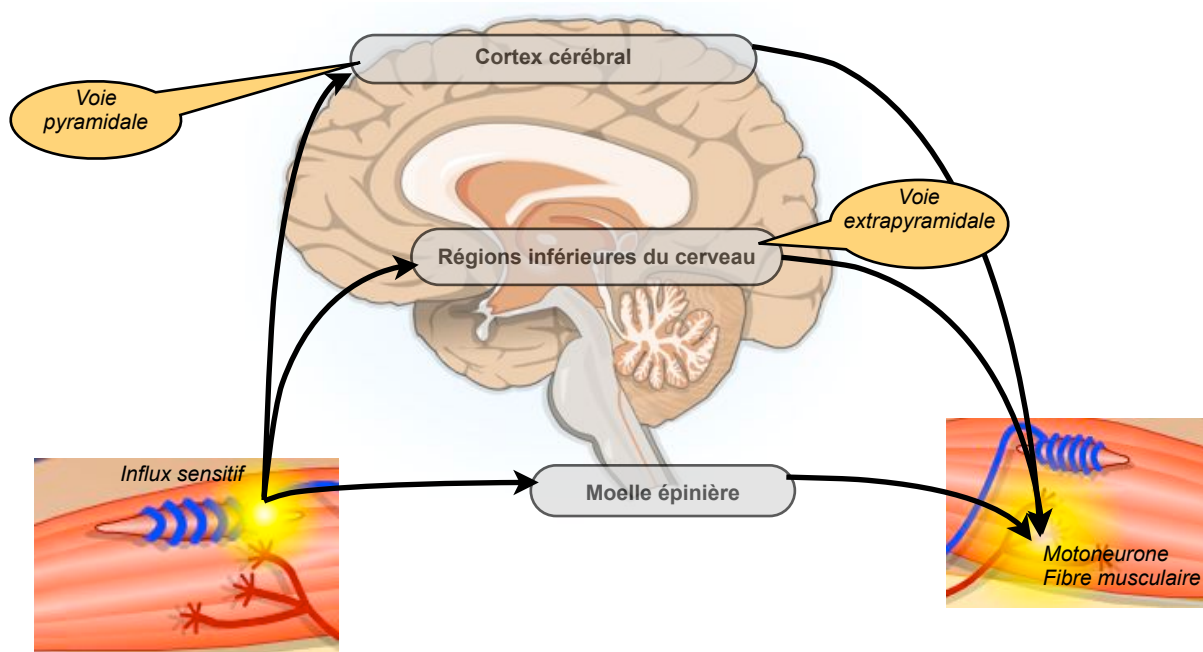
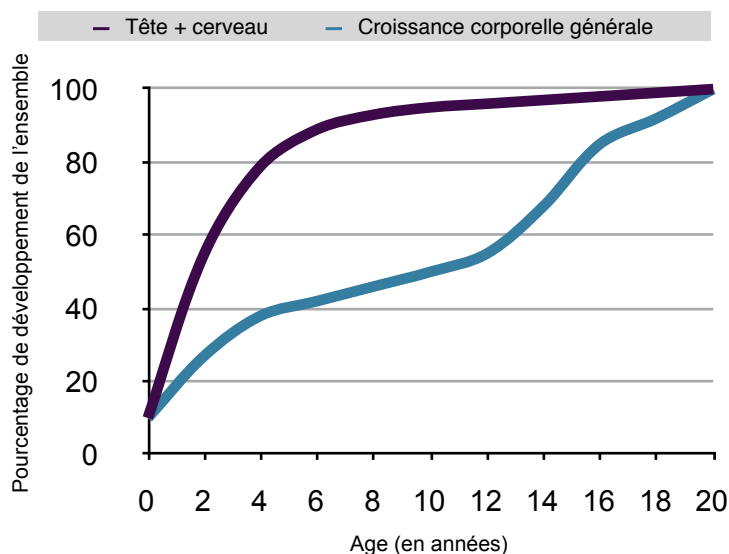


Fig.7 – Voies et niveaux de réponse

Les différentes voies de réponse motrice :

- a) Moelle épinière: exécution de mouvements simples, de mouvements réflexes. Les réponses sont programmées et elles sont instantanées.
- b) Régions inférieures du cerveau: le cerveau moyen assure une coordination motrice complémentaire entre une motricité de soutien et une motricité orientée. Le cervelet joue un rôle important dans le contrôle des mouvements spatio-temporels. Cet étage extrapyramidal gère des modèles pré-programmés.
- c) Cortex cérébral: il est responsable des mouvements fins et précis. Il décide, il anticipe, il traite les informations et il les met en mémoire. C'est à cet endroit que sont gérés et mémorisés les programmes moteurs. Lors de l'apprentissage d'un geste, le cortex assimile les réponses motrices. Le geste



*Fig.8 – Développement du cerveau et du poids du corps [Weineck, Manuel de l'entraînement sportif, p.77]*

Cette première figure démontre la croissance rapide du cerveau entre 0 et 12 ans. En comparaison, le poids reste plus ou moins stable de 7 à 12 ans. Par conséquent les apprentissages gestuels sont facilités puisque, dans cette catégorie d'âge, le poids reste stable et que le SNC se perfectionne.

L'entraînement de l'enfant au niveau gestuel et plus particulièrement au niveau des capacités de coordination sera efficace.

C'est durant cette période que la capacité d'assimilation des gestes de coordination motrice est la plus performante.

Ce bagage moteur sera alors en quelque sorte « automatisé », le cortex aura stocké ces capacités de coordination dans de nouveaux programmes moteurs prêts à être utilisés lors de nouvelles tâches motrices dont la complexité peut encore évoluer.

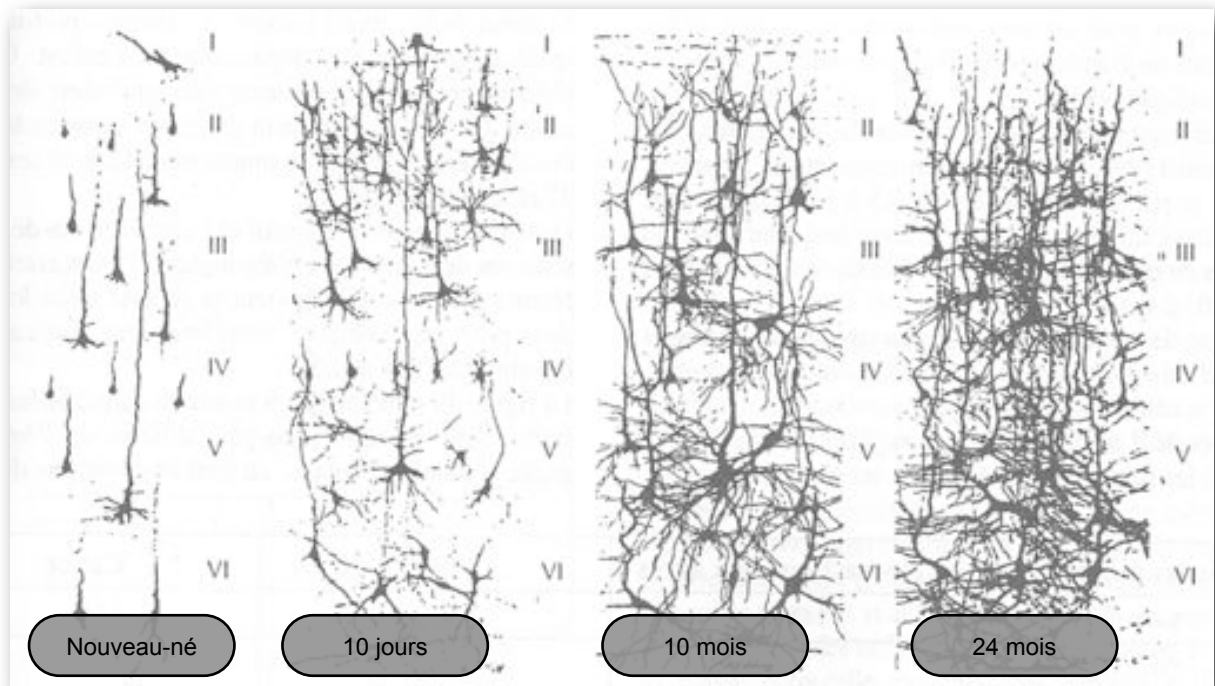


Fig.9 – Cellules nerveuses et leurs interconnexions synaptiques [Weineck, Manuel de l'entraînement sportif p.77]

La deuxième figure démontre que la densité et les connexions des neurones augmentent rapidement durant les premiers mois de vie. Cette augmentation améliore les possibilités de réponses motrices et la coordination neuromusculaire.

Il est prouvé actuellement, dans de récentes études, que si l'on augmente les stimuli sensori-moteurs durant ces périodes, le système nerveux répond favorablement en augmentant le nombre de neurones et de connexions.

Lors de l'apprentissage d'un geste, plus les neurones sont connectés, meilleure est la mise en programme. Le geste peut alors devenir stable et fluide.

Cette période, comprise entre 6 et 12 ans, propice aux apprentissages des capacités de coordination, est communément appelée « l'âge d'or de la coordination ».

«Ce que petit Jean n'a pas appris, Jean n'apprendra plus».

## 4.2. Eclairage psychologique de Jean Piaget

Jean Piaget, psychologue né à Neuchâtel en 1896, a été le premier à élaborer une théorie sur l'évolution et la structuration de la pensée. Ses travaux ont porté: sur l'intelligence, les opérations logiques, sur les notions de nombre, d'espace, de temps et des perceptions. La représentation du monde et ces perceptions sont à la base de tout mouvement et c'est pour cette raison que cet éclairage psychologique va nous permettre de mieux comprendre l'évolution gestuelle dans le temps et comment l'on peut faire évoluer les capacités de coordination en parallèle avec l'évolution de l'intelligence.

Le développement de l'intelligence de l'enfant est le passage d'un état de moindre équilibre à un état d'équilibre. Les travaux de Piaget sont à la base d'une prise de conscience de la formation de l'intelligence et de la représentation du milieu dans lequel l'individu évolue. L'enfant va sans cesse questionner le monde qui l'entoure pour se le représenter et par la suite l'assimiler. Piaget ne nous rappelle-t-il pas que : « connaître ne consiste pas à copier le réel, mais à agir sur lui et le transformer ». Il nous parle bien d'agir sur le milieu.

Selon lui, le nourrisson passe par une période de l'intelligence sensori-motrice, d'actes réflexes à des habitudes, jusqu'à l'âge de deux ans.

Ces premières actions de coordination sont le fruit de ces flux sensoriels, de succion, de vision, de recherche d'équilibre entre autres, qui vont lui permettre de mieux appréhender les objets et le monde qui l'entoure.

Puis vient la période des intentions, comme la recherche d'un objet par anticipation. Vers 8 à 12 mois, l'enfant commence à mieux coordonner ses schémas secondaires, applique cette nouvelle coordination à des situations nouvelles, il agit sur le milieu. De plus en plus, l'enfant manipule les objets en combinant leur mouvement. Vers 2 ans, il fait preuve d'une intelligence très développée.

Durant la période pré-opératoire de 2 à 7 ans, la pensée de l'enfant est égoцентриque .Il développe l'imitation et la représentation par des jeux symboliques. Il faut qu'il touche, qu'il



expérimente à fin d'adaptation intellectuelle. C'est une période sensori-motrice riche au niveau de l'apprentissage et la coordination des gestes.

La période de 7 à 12 ans, est une période de représentation logique contrôlée. L'enfant se socialise, il accepte des règles variées et il est capable de réversibilité, de déduction et de combinaisons. Les tâches motrices demandées peuvent être plus complexes et il peut en résoudre. D'où une possibilité d'augmenter la difficulté des exercices de coordination en les combinant de manière à les rendre complexes.

De 12 à 16 ans, c'est la période de représentation logique abstraite. L'adolescent peut poser des hypothèses sous des conditions variées. Il acquiert une pensée hypothético-déductive, il est capable d'une insertion affective et intellectuelle dans la société.

### **4.3. Eclairage par les neurosciences**

Les neurosciences sont l'ensemble des disciplines scientifiques qui étudient le cerveau et le système nerveux.

Notre approche sommaire va s'appuyer uniquement sur les travaux de Jacques Paillard, neurophysiologiste français, né à Nemours (1920-2006).

Son étude définit des niveaux sensori-moteurs et cognitifs du contrôle de l'action. Les neurosciences laissent entrevoir une nouvelle dimension dans le traitement des actions du système sensori-moteur. Les régulations automatiques étant définies par la biologie, les neurosciences ouvrent des domaines touchant au contrôle psychique de l'action et au niveau de conscience. La qualité de l'apprentissage moteur est liée aux opérations mentales supérieures.

Les représentations mentales permettent la conception, la planification et l'exécution d'une action motrice, ce qui va nous amener dans le chapitre suivant à parler de préparation mentale.

« Tout acte moteur est cause d'une modification du champ sensoriel auquel l'organisme accède par ses organes des sens. La notion de dialogue sensori-moteur traduit l'idée que ce n'est pas seulement l'environnement qui interroge le système mais que c'est aussi, et peut être surtout, l'action motrice qui questionne l'environnement en suscitant sa réponse. Et ce sont précisément les réponses de l'environnement au questionnement moteur de l'organisme qui sont source de connaissance pour ce dernier. En ce sens, les dialogues sensori-moteurs deviennent la source essentielle d'enrichissement d'une représentation interne abstraite du réel sensible dans les mémoires de l'appareil cognitif »

Paillard Jacques,(1985)<sup>3</sup>

Ce paragraphe s'ouvre aux voies de la conscience. Comment un geste peut-il interroger son environnement et pourquoi le fait-il ? L'acte physique devient alors un acte d'une grande complexité. Pour le comprendre, nous avons besoin de différentes approches scientifiques.

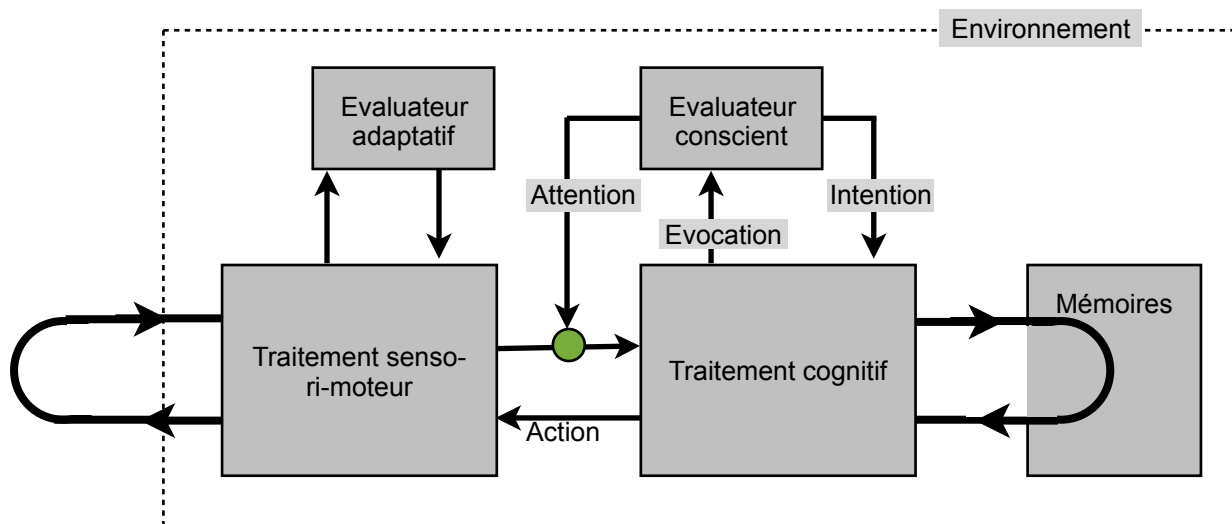


Fig.11 – Schéma simplifié montrant l'articulation des comportements sensori-moteur et cognitif [Paillard, Les niveaux sensori-moteur et cognitif du contrôle de l'action p.150]

Ce schéma proposé par Jacques Paillard met en évidence deux niveaux de dialogue qu'entretient le système avec le monde. Ces deux niveaux sont en relation par des boucles externes pour le traitement sensori-moteur, tandis que le traitement cognitif, qui opère sur les représentations mentales, interroge les mémoires du système.

<sup>3</sup> Paillard Jacques,(1985) : Les niveaux sensori-moteur et cognitif du contrôle de l'action, p.161.

### **Le traitement sensori-moteur**

Au lieu des régulations automatiques, on parle de modules servo-assistés. Des programmes génétiquement câblés permettent l'organisation des comportements moteurs de base de nutrition, de reproduction, de sauvegarde de l'espèce.

Un système d'adaptation va permettre le remaniement interne de la circuiterie nerveuse et va permettre une réadaptation continue. Les programmes moteurs vont ainsi évoluer sans passer par le niveau cognitif. C'est ce que Jacques Paillard nomme le processus adaptatif. Ce processus peut alors définir plus clairement la distinction entre des actes moteurs automatisés pré-cablés, et des actes moteurs automatisés acquis par des apprentissages moteurs.

### **Le traitement cognitif**

Lors du contrôle psychique de l'action, le système nerveux va se créer des représentations, des images motrices, contenant des schémas d'action planifiés dans le temps afin de résoudre une action motrice complexe. Il va ensuite mobiliser un programme d'action tenant compte de variables telles que: des muscles à contracter, de la fréquence de l'influx, de la force à donner, de l'ordre dans lequel les muscles interviennent, de la spécificité temporelle.

Ces programmes sont soumis à évaluation, à association, à représentation dans différentes parties du cerveau. Ils sont en perpétuelle évolution.

« Une fois l'acte accompli, celui-ci sera évalué (au niveau frontal) par ses effets sensoriels en retour comme conforme ou non conforme aux conséquences sensorielles prévues et anticipées dans le projet d'action. De cette comparaison va résulter soit la cessation de l'activité, si ce retour sensoriel correspond à ce qui était attendu, soit un changement de stratégie, si l'objectif non atteint est maintenu ; soit enfin un changement du projet d'action lui-même »

Paillard (1982) Les niveaux sensori-moteur et cognitif du contrôle de l'action p.157

Ces modes de fonctionnement cognitifs sont d'une grande importance pour l'apprentissage des gestes.

## 4.4. Eclairage de la préparation mentale

### 4.4.1. Concept de la fluidité et de la confiance, le flow

Dans ce chapitre, nous allons définir quelques notions de préparation mentale importantes lors de l'apprentissage de gestes, en particulier lors de l'apprentissage d'exercices de capacité de coordination. Nous allons focaliser notre approche sur la fluidité, l'image mentale, en nous basant sur le livre de Christian Target, le manuel de préparation mentale.

« Simon Amman est conscient d'avoir le geste parfait à l'intérieur de lui »

Sylvain Freiholz, sauteur<sup>5</sup>

« Le geste parfait d'un lanceur de javelot, qui à la fin de son mouvement, devient le javelot lui-même »

Frank Salvi, entraîneur<sup>6</sup>

« La sensation de voler au dessus des bosses »

Carole Montillet, championne olympique de descente à Salt Lake City<sup>7</sup>

Ce concept de fluidité, appelé communément le flow, recherché par tous les sportifs pour atteindre leurs objectifs de performances, permet d'atteindre les gestes parfaits. Un sentiment de relâchement, de fluidité, de plénitude l'accompagne. Lorsque l'on regarde un Roger Federer, un Tiger Woods développer leur art, nous avons cette impression de légèreté, de confiance, de plaisir et d'efficacité. Cet état de fluidité ne peut être atteint que dans un état de conscience avancé, qu'en étant conscient de ce que l'on fait.

---

<sup>5</sup> tiré de l'article de Christian Despond, Le Matin 14 mars 2010

<sup>6</sup> tiré de l'article de Christian Despond, Le Matin 14 mars 2010

<sup>7</sup> Manuel de Préparation Mentale, Christian Target, p. 96

Christian Target dans son livre , Manuel de Préparation Mentale, nous propose une approche intéressante pour illustrer cet état de fluidité. Son expérience acquise au contact des athlètes lui a permis d'élaborer cette formule sur l'état de fluidité.

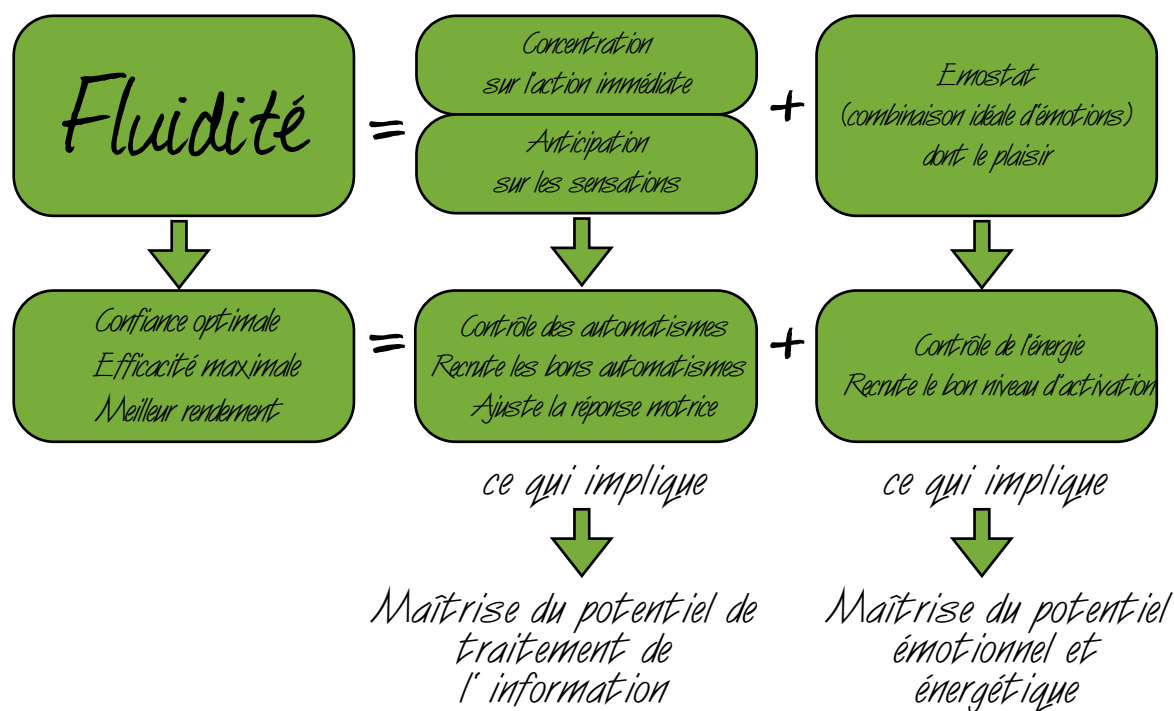


Fig.13 – Les composants opérationnels de la fluidité [Target, Manuel de préparation mentale p.99]

Ce concept de fluidité va être important pour l'exécution des exercices de coordination que nous allons proposer aux différents groupes.

#### 4.4.2. Concept de l'image mentale.

Comment pouvoir mieux gérer les réponses motrices? Un individu reçoit de son environnement un flux sensitif constant qu'il doit gérer, adapter en fonction de réponses motrices et émotionnelles. Se représenter son environnement va lui permettre de faciliter ses choix et de mieux imaginer les gestes à reproduire.

L'image mentale est comme « l'empreinte laissée par un sceau sur une tablette de cire »

Aristote, cité par Target, Manuel de préparation mentale, p. 48.

Cette image mentale est construite dans le cortex. La préparation des programmes moteurs à mettre en route, ainsi que les sensations sensorielles anticipées vont permettre une représentation du réel et faciliter la reproduction de ces gestes.

« Les images mentales sont un type de représentation utilisé lorsqu'on s'appuie sur une information stockée en mémoire plutôt que sur une information fournie directement par la perception »

Houdé O. & Mazoyer B. & Tzourio-Mazoyer N. <sup>8</sup>

Cela va permettre lors d'un apprentissage de se représenter « une tâche motrice cognitive pendant laquelle le sujet simule mentalement une action tout en bloquant son exécution » selon Ingvar et Decety. <sup>9</sup>

Les avantages de l'image mentale sont essentiels lors de :

<b>Apprentissage</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• efficace lors de processus d'apprentissage</li><li>• apprendre par répétition mentale</li><li>• corriger des erreurs</li></ul>
<b>Contrôle de l'énergie</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• relaxation</li><li>• relâchement et désactivation</li><li>• contraction décontraction</li></ul>
<b>Motivation</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• outil puissant d'activation</li><li>• construction du futur</li></ul>
<b>Contrôle émotionnel</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• gérer l'anxiété</li><li>• gérer le stress</li><li>• gérer les états mentaux positifs</li></ul>
<b>Confiance</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• image de réussite</li><li>• amène la fluidité</li></ul>

---

Tab.4 – Utilité de l'imagerie mentale par domaine

---

<sup>8</sup> Houdé O.; Mazoyer B.; Tzourio-Mazoyer N. (2002): Cerveau et psychologie, p 419.

<sup>9</sup> Ingvar et Decety (1990) : Brain Structure Participating in Mental simulation of Motor Behavior, Acta psychologica.