



**HAL**  
open science

# IMAGERIE MENTALE ET PERFORMANCE MOTRICE

Nicolas Robin

► **To cite this version:**

Nicolas Robin. IMAGERIE MENTALE ET PERFORMANCE MOTRICE. Psychologie. Université de poitiers, 2005. Français. NNT: . tel-01529487

**HAL Id: tel-01529487**

**<https://hal.science/tel-01529487>**

Submitted on 30 May 2017

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**UNIVERSITE DE POITIERS - FACULTE DES SCIENCES DU  
SPORT**

Laboratoire Performance Motricité et Cognition (LPMC)  
(EA 3814)

Ecole Doctorale en Sciences Humaines, Economiques et Sociales

**IMAGERIE MENTALE ET PERFORMANCE  
MOTRICE**

**THESE de l'Université de Poitiers**

présentée

**par Nicolas ROBIN**

En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat, mention Sciences et  
Techniques des Activités Physiques et Sportives, réalisée sous la co-  
direction de **Yannick Blandin** et **Lucette Toussaint**.

Membres du Jury :

- Professeur Yannick **BLANDIN**, Université de Poitiers, France
- Docteur Christian **COLLET**, Université C. Bernard de Lyon, France
- Professeur Luc **PROTEAU**, Université de Montréal, Canada
- Professeur Bernard **THON**, Université P. Sabatier de Toulouse, France
- Docteur Lucette **TOUSSAINT**, Université de Poitiers, France

- 25 Octobre 2005 -

## **Remerciements**

Je tiens à rendre hommage à Lucette Toussaint et Yannick Blandin qui se sont particulièrement impliqués dans mes travaux de DEA puis de THESE en me faisant part de leurs grandes compétences et de leurs conseils éclairés. Ils m'ont donné goût au travail de recherche, ce qui m'a permis de leur soumettre mes propres problématiques de recherches dans le domaine du tennis notamment. Je suis content de pouvoir leur témoigner que je leur dois cette formation scientifique et je les remercie sincèrement.

Je remercie ensuite les membres du laboratoire LPMC aussi bien les enseignants que les doctorants avec qui nous avons pu échanger, collaborer, discuter aux cours de ces années de thèse. Leur aide m'a été précieuse.

Je remercie bien sûr ma famille et particulièrement mes parents ainsi que mon oncle et ma tante qui m'ont soutenu financièrement et mentalement pendant ces années de thèse avec une pensée particulière pour mon(a) futur(e) neveu(nièce).

Je remercie enfin Messieurs les rapporteurs et/ou Membres du jury pour l'examen de ce travail de thèse.

## RÉSUMÉ

Ce présent travail examine la similarité fonctionnelle entre pratique en imagerie et pratique réelle en ce qui concerne le traitement privilégié des modalités sensorielles spécifiques (visuelles et/ou proprioceptives). Les expériences réalisées s'intéressent aux effets de la pratique mentale sur la performance motrice, et plus particulièrement à l'influence des modalités d'imagerie (expériences 1, 3, 4 et 5) et des capacités d'imagerie (expériences 1 et 2). Ces expériences utilisent des tâches de reproductions de configuration corporelles simples ou de pointage dans lesquelles les sujets disposent (expériences 3 et 4) ou non (expériences 1, 2 et 5) des informations visuelles sur le mouvement en cours de réalisation. Les principaux résultats obtenus dans cette thèse montrent que les modalités d'imagerie visuelle et/ ou proprioceptive n'ont pas la même importance dans chacune des expériences réalisées. Dans une tâche de pointage de cible avec laser (expérience 3) ou de reproduction de configurations corporelles simples, une pratique qui sollicite la modalité d'imagerie visuelle permet une plus forte amélioration de la performance motrice lorsque celle-ci est réalisée face à un miroir (expérience 4). En revanche, lorsque la vision de l'effecteur ou du mouvement en cours de réalisation n'est pas disponible (expériences 1 et 5), aucun transfert positif de la modalité visuelle à la modalité proprioceptive ne semble s'opérer, et l'augmentation de la précision des gestes moteurs n'apparaît que chez les sujets réalisant à une pratique d'imagerie proprioceptive. Celle-ci est d'autant plus bénéfique que les sujets rapportent avoir des facilités à simuler mentalement une action (« bons imageurs » versus « mauvais imageurs », expériences 1 et 2). Dans le cas où la modalité d'imagerie visuelle est la plus pertinente (expériences 3 et 4), une pratique mixte donne de moins bons résultats, tandis que l'amélioration de la précision motrice, observée dans les tâches bénéficiant favorablement d'une pratique en imagerie proprioceptive (expériences 1, 2 et 5), est similaire pour des pratiques d'imagerie proprioceptive et mixte. L'ensemble de ces résultats nous conduit à réfléchir sur les facteurs pouvant induire une dominance d'imagerie, sur une généralisation possible de l'hypothèse de spécificité de l'apprentissage à la pratique mentale, et sur les conditions nécessaires à l'expression des différences inter-individuelles en ce qui concerne la pratique en imagerie.

**Mots-clés :** Imagerie, Modalités d'imagerie, Capacités d'imagerie, Apprentissage moteur, Intégration sensorielle.

# TABLE DES MATIÈRES

---

# TABLE DES MATIERES

---

AVANT PROPOS	1
--------------	---

---

## PARTIE THEORIQUE

---

<b><u>I/ THEORIES ET MODELES EXPLICATIFS DES EFFETS DE L'IMAGERIE MENTALE</u></b>	<b>4</b>
I) A) THEORIE PSYCHO-NEURO-MUSCULAIRE	4
I) B) THEORIE DE L'APPRENTISSAGE SYMBOLIQUE	5
I) C) THEORIE BIO-INFORMATIONNELLE DE LANG	7
I) D) MODELES DE DOUBLE CODAGE	7
I) E) MODEL ANALOGIQUE	9
<b><u>II/ LES DETERMINANTS DE L' IMAGERIE MENTALE</u></b>	<b>12</b>
II) A) LES DIFFERENTES MODALITES D'IMAGERIE	12
II) A) 1) L'imagerie visuelle	12
II) A) 2) L'imagerie proprioceptive	13
II) A) 3) Confusion entre perspectives et modalités d'imagerie	13
II) B) CAPACITE D'IMAGERIE	16
II) C) AUTRES DETERMINANTS DE L'EFFICACITE DE LA PRATIQUE EN IMAGERIE MENTALE	20

**III / SIMILARITE ENTRE PRATIQUE REELLE ET PRATIQUE EN  
IMAGERIE** 23

III) A) CHRONOMETRIE MENTALE 23

III) B) IMAGERIE MENTALE ET ACTIVITE CEREBRALE 24

III) C) MESURE D'INDICES PHYSIOLOGIQUES 26

**IV/ APPRENTISSAGE MOTEUR** 29

IV) A) MODALITES SENSORIELLES 29

IV) B) TACHE DE REPRODUCTION DE CONFIGURATIONS CORPORELLES 31

IV) C) PARADIGME DE TRANSFERT D'APPRENTISSAGE 33

IV) D) EFFET DE SPECIFICITE ET CONTRAINTES DE TACHE 35

---

**P A R T I E E X P E R I M E N T A L E**

---

**V/ EXPERIENCES** 38

POINT COMMUN ENTRE LES EXPERIENCES :

PROBLEMATIQUE 38

METHODE 39

*Sujets* 39

*Matériel et procédure expérimentale* 40

*Analyse des données* 42

**EXPERIENCE 1 : INFLUENCE DE LA CAPACITE D'IMAGERIE ET DES MODALITES  
D'IMAGERIE DANS UNE TACHE DE REPRODUCTION DE CONFIGURATIONS CORPORELLES  
SIMPLES** 44

**INTRODUCTION** 44

**METHODE** 47

*Sujets* 47

*Procédure expérimentale* 47

*Analyse des données* 48

**RESULTATS** 48

*Les effets des capacités d'imagerie et des modalités d'imagerie* 48

*Des effets liés à la pratique mentale ?* 49

**DISCUSSION** 50

**EXPERIENCE 2 : A PROPOS DES CAPACITES D'IMAGERIE LORS D'UNE PRATIQUE  
SOLLICITANT L'IMAGERIE PROPRIOCEPTIVE** 53

**INTRODUCTION** 53

**METHODE** 54

*Sujets* 54

*Procédure expérimentale* 54

*Analyse des données* 55

**RESULTATS** 55

**DISCUSSION** 56

**EXPERIENCE 3 : SUR L'IMPORTANCE D'UNE IDENTITE ENTRE MODALITES  
SENSORIELLES DOMINANTES DE LA TACHE A REALISER ET MODALITES D'IMAGERIE** 58

<b>INTRODUCTION</b>	58
<b>METHODE</b>	60
<i>Sujets</i>	60
<i>Tâche et dispositif</i>	60
<i>Procédure</i>	60
<i>Analyse des données</i>	61
<b>RESULTATS</b>	61
<i>Analyse de la pratique physique</i>	61
Importance des conditions de pratique (laser-on/off)	62
Comparaison fin d'acquisition, Test 1	62
<i>Analyse de la pratique en imagerie</i>	63
<b>DISCUSSION</b>	64
<i>Dominance sensorielle suite à la pratique physique</i>	64
<i>Dominance sensorielle suite à la pratique en imagerie</i>	65
<b><u>EXPERIENCES 4 ET 5 : INFLUENCE DES MODALITES D'IMAGERIE EN FONCTION DES CONTRAINTES DE TACHE ET DE LA QUANTITE DE PRATIQUE</u></b>	67
<b>INTRODUCTION</b>	67
<b><u>EXPERIENCE 4 : TACHE A DOMINANTE VISUELLE</u></b>	69
<b>METHODE</b>	69
<i>Sujets</i>	69
<i>Tâche et dispositif</i>	69
<i>Procédure</i>	69
<i>Analyse des données</i>	70

<b>RESULTATS</b>	71
<b>DISCUSSION</b>	71
<b><u>EXPERIENCE 5 : TACHE A DOMINANTE PROPRIOCEPTIVE</u></b>	73
<b>METHODE</b>	73
<i>Sujets</i>	73
<i>Matériel, tâche et procédure expérimentale</i>	73
<i>Analyse des données</i>	74
<b>RESULTATS</b>	74
<b>DISCUSSION</b>	75
<hr/> <b>PARTIE DISCUSSION / CONCLUSION GENERALE</b> <hr/>	
<b><u>CONCLUSION GENERALE</u></b>	77
<b>VARIABILITE DU POIDS DES MODALITES D'IMAGERIE</b>	78
<b>HYPOTHESE DE SPECIFICITE ET PRATIQUE MENTALE</b>	80
<b>CAPACITE D'IMAGERIE</b>	83
<b>IMPLICATIONS DANS LE DOMAINE DU SPORT</b>	85
<b>PERSPECTIVES DE RECHERCHES</b>	86
<b><u>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</u></b>	89

<b><u>INDEX DES FIGURES</u></b>	107
<b><u>INDEX DES TABLEAUX</u></b>	111
<b><u>ANNEXES</u></b>	128

# AVANT PROPOS

## Avant propos

Depuis l'avènement des Jeux Olympiques modernes en 1896 à Athènes, l'engouement pour les activités sportives ne cesse d'augmenter. La réalisation de toute activité sportive nécessite cependant un apprentissage qui évoluera jusqu'à l'atteinte d'un certain degré de maîtrise ou d'expertise. Les travaux réalisés en psychologie cognitive montrent qu'il existe de nombreux moyens d'apprendre ou d'améliorer des habiletés motrices comme la pratique réelle, l'apprentissage par observation et la pratique en imagerie mentale. Selon Jeannerod (1999), l'amélioration des performances suite à ces différentes formes de pratiques reposerait sur un système de représentation commun. Les représentations sont « des modèles intériorisés de l'environnement du sujet et de ses actions dans cet environnement ; ces modèles sont utilisables par l'individu comme source d'information sur le monde et comme instrument de régulation et de planification de ses conduites » (Denis, 1989). Ces représentations vont guider la réalisation des mouvements et vont tenir compte des informations sensorielles issues de l'environnement extérieur mais aussi issues de notre propre corps. L'image mentale est une forme de représentation qui constitue un modèle interne du monde que l'individu construit à partir de son action et qu'il utilise pour organiser cette action. Les images mentales sont construites sur la base des modalités sensorielles visuelles, proprioceptives, auditives, pluri-sensorielles (combinaison de deux ou plusieurs modalités sensorielles) et à un degré moindre : tactiles, gustatives et olfactives (Kosslyn, 1990). Ces images fournissent au sujet des informations pertinentes qu'il peut manipuler mentalement : elles ont ainsi une valeur cognitive et fonctionnelle (Cadopi, 1994).

L'imagerie motrice, réalisée à partir des images mentales, est un processus conscient durant lequel les sujets simulent intérieurement une action motrice sans la réaliser réellement, sans mouvement apparent ou contraction musculaire apparente (Papaxanthis, 2002). La pratique en imagerie améliore la performance motrice mais de façon légèrement inférieure à la pratique physique réelle (Feltz & Landers, 1983). L'amélioration des performances observée suite à une pratique en imagerie ou suite à une pratique physique a amené des auteurs à proposer que ces deux types de pratiques seraient fonctionnellement équivalentes (Hall, Bernoties & Schmidt, 1995). Cette équivalence a été confirmée dans des études utilisant des paradigmes expérimentaux variés comme le paradigme de chronométrie mentale (Decety & Michel, 1989), la

mesure d'indices physiologiques (Roure, Collet, Deschaumes-Molinaro, Delhomme, Dittmar & Vernet-Maury, 1999), mais aussi les techniques d'imageries cérébrales (Ingvar & Philipson, 1977 ; Jeannerod, 1999). Les résultats de ces études montrent que les mécanismes cognitifs de planification, de construction et de programmation de la réponse (Decety & Grèzes, 1999), mais aussi de préparation des conséquences sensorielles (Bonnet, Decety, Jeannerod & Requin, 1997), mis en œuvre au cours de l'imagerie mentale sont similaires à ceux de la pratique physique réelle.

Cette thèse examine les similitudes entre pratique mentale et pratique réelle en ce qui concerne les processus d'intégration sensorielle résultant de l'apprentissage moteur. Une méconnaissance des processus qui sous-tendent les effets des modalités d'imagerie et des capacités d'imageries en fonction des contraintes de tâches justifient ce présent travail.

Le plan général du travail présenté ici se subdivise en trois parties. La première est consacrée à une revue de littérature synthétisant les résultats des différents travaux portant sur l'imagerie mentale. Dans le chapitre I, les théories et modèles explicatifs de l'imagerie mentale seront abordés. Ensuite, le chapitre II montrera que comme la pratique réelle, la pratique en imagerie peut-être influencée par des facteurs tels que les modalités sensorielles, les différences inter-individuelles ou les contraintes de tâche. Puis dans le chapitre III, les similarités entre la pratique réelle et la pratique en imagerie seront évoquées, au travers d'études portant sur la chronométrie mentale, l'imagerie cérébrale et la mesure d'indices physiologiques. Enfin, comme l'objectif de cette thèse est d'évaluer s'il existe des similitudes entre pratique en imagerie et pratique réelle en ce qui concerne le traitement privilégié de modalités sensorielles spécifiques (visuelles et/ou proprioceptives), une synthèse des résultats et modèles obtenus en pratique réelle sera réalisée dans le chapitre IV.

La recherche expérimentale est illustrée dans la deuxième partie qui comporte 5 expériences. Les expériences 1 et 2 examinent les effets de la capacité d'imagerie sur la performance d'une tâche de positionnement segmentaire. Les expériences 1 et 3 questionnent la nécessité de conserver à l'identique la(les) modalité(s) sensorielle(s) dominante(s) de la tâche à réaliser et les modalités d'imagerie. Enfin les expériences 4

et 5 sont dédiées à l'étude de l'évolution du rôle des informations sensorielles en fonction de la quantité de pratique en imagerie et des contraintes de la tâche.

Enfin, la troisième partie comprenant la discussion générale et la conclusion s'achèvera par les perspectives de recherches.

# PARTIE THÉORIQUE

# CHAPITRE I

## THEORIES ET MODELES EXPLICATIFS DES EFFETS DE L'IMAGERIE MENTALE

## **Chapitre I : Les théories et modèles explicatifs des effets de l'imagerie mentale**

Plusieurs théories et modèles cognitifs ont tenté d'expliquer les effets de l'imagerie mentale sur l'apprentissage ou l'amélioration de tâches motrices comme les théories de l'apprentissage symbolique, psycho-neuro-musculaire, ou bio-informationnelle ainsi que les modèles de double codage et le modèle analogique.

### **A. Théorie psycho-neuro-musculaire**

La théorie de Jacobson (1932) a été une des premières théories expliquant les effets de l'imagerie mentale sur les performances motrices. Cette théorie dite psycho-neuro-musculaire est basée sur l'observation qu'au cours de l'imagerie d'un mouvement particulier, les mêmes muscles, voies neuro-motrices et motoneurones sont activés qu'au cours de l'exécution réelle de ce mouvement (Boshker, 2001 ; Driskell, Cooper & Moran, 1994 ; Page, Levine, Sisto & Johnston, 2001). Elle propose que lorsqu'un individu simule mentalement l'exécution d'un mouvement, des impulsions nerveuses sont envoyées du cortex moteur aux muscles cibles. Ces impulsions, similaires mais plus faibles que celles produites au cours de l'exécution réelle d'action, seraient suffisantes pour produire des rétroactions proprioceptives utilisables pour renforcer le programme moteur correspondant aux actions simulées mais aussi pour permettre des régulations lors des essais ultérieurs (Magill, 1998).

Les résultats des expériences de Jacobson (1931, 1932) supportent cette théorie. En effet chez des sujets qui avaient comme consigne de s'imaginer réaliser des mouvements de flexion pour lever un poids avec leur bras droit, l'auteur a enregistré des micro-contractions au niveau du biceps dans plus de 90% des essais. Cependant, au cours de l'imagerie, l'amplitude des micro-contractions était une fraction de celle observée en pratique réelle. Ces résultats ont été confirmés par des études plus récentes qui ont mis en évidence une activité électromyographique limitée aux muscles participant aux actions mentalement simulées et proportionnelle à la quantité d'effort imaginé (Bakker, Boschker & Chung, 1996 ; Boschker, 2001 ; Hashimoto & Rothwell, 1999 ; Weiss & Hansen, 1994).

Cependant, selon Kohl et Roenker (1983), l'activité neuro-musculaire enregistrée au cours de la simulation mentale d'un mouvement n'est pas un argument suffisant pour expliquer les effets positifs de ce type de pratique sur la performance. De plus, selon Schmidt (1993), l'activité neuro-musculaire mesurée au cours de la pratique en imagerie n'a pas la configuration de celle enregistrée en pratique réelle. Cette activité ou « résidu d'activité musculaire » serait le résultat d'une inhibition incomplète de la commande motrice (Jeannerod, 1994).

Des arguments supplémentaires allant à l'encontre de la théorie psycho-neuro-musculaire ont été apportés par une étude de Yue et Cole (1992) qui ont comparé la production de force maximale volontaire de l'auriculaire après un entraînement par contraction isométrique maximale avec un entraînement mental. La moyenne de la force d'abduction du doigt entraîné a augmenté de 30% pour le groupe de contraction, de 22% pour le groupe d'imagerie, dont l'enregistrement de l'activité neuro-musculaire a révélé une absence d'activité musculaire, tandis que le groupe contrôle n'a pas montré d'amélioration. De plus, les résultats montrent que la force a augmenté de 10% pour le membre controlatéral. Une augmentation de la force est donc possible sans contraction musculaire apparente ce qui a amené les auteurs à conclure que cette augmentation obtenue suite à une pratique en imagerie ne résultait pas de changements au niveau exécutif, mais était plutôt liée au système moteur impliqué dans la planification et la programmation des actions. Les résultats de cette étude semblent plutôt en accord avec la théorie de l'apprentissage symbolique que nous allons définir dans le paragraphe suivant.

## B. Théorie de l'apprentissage symbolique

La théorie de l'apprentissage symbolique (Sackett, 1934 ; Savoyant, 1986) considère l'imagerie mentale comme étant une activité à caractère hautement symbolique. Elle propose que l'imagerie permet la répétition cognitive des différentes composantes de la tâche tout en prenant en compte les caractéristiques spatiales de celle-ci, les problèmes potentiels ainsi que les buts. Selon Wisberg et Ragsdale (1979), l'imagerie reflète la mise en œuvre d'un plan d'action élaboré au niveau central. Elle a

donc (au moins) en commun avec la pratique physique l'étape de planification des actions (Fitts & Posner, 1967 ; Theios, 1975). La théorie statue enfin que l'imagerie est plus efficace pour des tâches à dominantes cognitives que pour des tâches purement motrices car elle attribue essentiellement l'efficacité de l'imagerie au traitement cognitif qui accompagne cette activité.

Plusieurs études ont obtenu des résultats en accord avec cette théorie (Feltz & Landers, 1983 pour revue). Par exemple, Ryan et Simons (1983) ont comparé l'acquisition d'une tâche très cognitive, facile à apprendre avec celle d'une tâche moins cognitive, difficile à apprendre. Les tâches consistaient à reproduire une forme géométrique en tournant des molettes qui bougeaient un stylet soit de façon horizontale, soit de façon verticale. La tâche simple consistait à utiliser une seule main pour reproduire une forme simple, tandis que la tâche complexe consistait à utiliser les deux mains afin de déplacer le curseur en diagonale pour reproduire des formes géométriques plus complexes. Ces deux tâches étaient réalisées soit en pratique physique soit en pratique en imagerie. Les auteurs ont fait l'hypothèse que si l'imagerie était un processus essentiellement cognitif, alors l'apprentissage de la tâche facile à dominante cognitive bénéficierait plus d'une pratique en imagerie que la tâche difficile à dominante motrice. Comme prédit, la performance obtenue suite à une pratique en imagerie était supérieure à celle obtenue sans pratique mentale uniquement pour la tâche simple.

Cette théorie est appuyée par de nombreux travaux qui ont mis en évidence que l'imagerie activait des aires cérébrales connues pour leur rôle dans la programmation et la planification motrice (Jeannerod, 1999 pour revue). Cependant, elle laisse des questions sans réponse en n'expliquant pas comment les novices peuvent bénéficier d'une pratique en imagerie ni comment les performances s'améliorent chez les personnes entraînées qui possèdent déjà des patrons de mouvements bien établis (Hall, 2001). De plus il paraît difficile de quantifier la composante cognitive dans les tâches motrices.

### C. Théorie bio-informationnelle de Lang (1979)

La théorie bio-informationnelle de Lang (1979) est une théorie intégrative basée sur la conception de Pylyshyn (1973) qui considère que les images sont des structures propositionnelles logiques ou verbales. Cette théorie donne une grande importance aux paramètres psycho-physiologiques et considère que l'imagerie et le comportement observable sont en étroite interaction. Selon Lang (1985), l'imagerie mentale proviendrait de la capacité du cerveau à produire des informations et serait très précisément organisée en trois niveaux stockés en mémoire à long terme : la proposition de stimulus, la proposition de réponse et la proposition de signification. La proposition de stimulus, regroupant le contenu du scénario à imaginer, s'appuierait sur les informations visuelles et verbales et fournirait des informations sur l'environnement imaginé. La proposition de réponse associerait aux comportements des réponses physiologiques ainsi que des paramètres verbaux. Enfin la proposition de signification contiendrait des informations sur le sens des stimuli ainsi que sur les conséquences des actions.

La théorie bio-informationnelle semble être à cheval entre d'une part la théorie de l'apprentissage symbolique car elle attribue à l'imagerie mentale une fonction de traitement cognitif des informations avec la proposition de stimulus, et d'autre part la théorie psycho-neuro-musculaire car l'imagerie faciliterait l'utilisation des informations neuromusculaires avec la proposition de réponse. Cependant, contrairement aux modèles de double codage comme le modèle ALI d'Annett (1988, 1994), la théorie bio-informationnelle n'évoque pas clairement le lien que l'imagerie permettrait de faire entre l'action et les autres formes de traitement de l'information comme le langage (Hall, 2001).

### D. Modèles de double codage

Dans son modèle, Paivio (1969, 1971, 1975) a contribué à donner à l'imagerie mentale une légitimité nouvelle en développant l'hypothèse du double codage. Il existerait ainsi deux « systèmes de codage » ou « modes de représentation symbolique » qui régiraient l'activité psychique. Le premier est le format imagé. C'est un système de

représentations figuratives, basé sur une « sémantique de la ressemblance » dont le développement est lié à l'expérience perceptive de l'environnement. Il est composé de représentations mentales imagées d'objets et de leurs transformations qui se rapprochent des perceptions sensorielles et qui ne sont donc pas seulement visuelles. Le second est le codage verbal. C'est un système de représentation abstrait de forme propositionnelle qui est lié à l'expérience que l'individu a du langage. Il consiste en une symbolisation linguistique de l'information sous forme de mots, phrases et textes. Selon Paivio (1975), la mise à disposition des informations sous différents formats de représentation permet d'alléger le travail de la mémoire de travail ainsi que la charge cognitive.

Plus récemment, Annett (1988, 1994, 1995) a proposé un modèle à double codage spécifique au domaine moteur : le modèle Action-Langage-Imagerie (ALI) voir Figure 1. Selon ce modèle, il existe deux principaux moyens pour acquérir des informations sur une habileté : la démonstration et les instructions verbales qui sont deux systèmes d'encodages distincts. Le premier ou système moteur est spécialisé dans l'encodage des actions tandis que le second ou système verbal encode le langage, la gestuelle linguistique et inclut le langage écrit. Chaque système a ses propres classes d'entrées et de sorties et dispose d'un stockage qui lui est propre (Annett, 1996). Aussi bien le système des actions que celui du langage est divisé en une composante perceptive/représentationnelle en amont et une composante motrice/exécutive en aval (cf. Figure 1, ci-contre). L'auteur ajoute que le système des actions utilise un « vocabulaire » d'actions généralement intitulé prototypes d'actions. Ces prototypes d'actions incluent des actions élémentaires comme attraper, lancer, montrer et aussi des actions difficilement verbalisables. Comme représenté sur la Figure 1, la connexion entre les représentations d'actions et les représentations verbales est directe au niveau des prototypes d'actions. Annett, (1996) fait l'hypothèse qu'il y a une forte interaction entre le système de représentation et le système exécutif. Cependant, ces deux systèmes peuvent être dissociés de telle sorte que la perception ne soit pas inévitablement transformée en action imitative et que les actions puissent être imaginées sans être transformées en mouvements réels. Aussi bien la perception que l'imagerie doivent impliquer un mécanisme d'inhibition particulièrement fin et précis. Selon Annett (1988) il y aurait un lien entre ces deux systèmes faisant référence au pont action-langage. Ce pont rend possible la description et la génération d'action (Hall, 2001). Annett (1990, 1996) a mis en évidence que les images sont essentielles pour transformer les actions

d'un codage moteur à un codage verbal. Un principe de base de cette théorie est qu'un encodage des informations conjointement dans le système des actions et le système du langage devrait produire un apprentissage supérieur à un encodage dans un seul des systèmes. Une étude de Hall, Moore, Annett et Rodgers (1997) a confirmé ce principe. Cette étude portait sur le rappel de patrons de mouvements présentés par démonstration ou par guidage passif de la main après que la vision ait été éliminée. Les sujets avaient pour consigne de répéter chacun des 12 patrons de mouvement en utilisant une des trois stratégies : imagerie, indice verbal, imagerie plus indice verbal ou aucune stratégie de répétition (groupe contrôle). Les résultats montrent que le nombre de patrons rappelés était plus important lorsqu'une combinaison d'imagerie et d'indice verbal était utilisée en comparaison avec l'utilisation de l'imagerie seule. De façon générale, la théorie du double codage offre une bonne explication du lien que l'imagerie tisse entre l'action et le langage.

#### E. Le modèle analogique

Contrairement au modèle propositionnel (Pylyshyn, 1973), les travaux de Kosslyn (1973) ont permis d'expliquer les rapports existant entre la perception et l'imagerie. L'auteur a ainsi proposé qu'il y aurait une analogie fonctionnelle entre la structure de l'image mentale et celle de l'objet. Les images mentales seraient des représentations qui entretiendraient avec l'objet une correspondance analogique non arbitraire, c'est-à-dire qu'à chaque partie de l'objet correspondrait une partie de la représentation conservant les caractéristiques structurales de l'objet (distances et tailles relatives par exemple) (Kosslyn, 1980). L'étude de Kosslyn, Ball et Reiser (1978) est à la base de la théorie analogique. En effet, les auteurs ont utilisé une carte représentant une île imaginaire que les sujets devaient mémoriser jusqu'à ce qu'ils puissent la redessiner. Sur cette carte étaient représentés 7 lieux (rocher, herbe, arbre, lac, puits, hutte et sable) placés de telle façon à ce que les 21 distances entre ces 7 lieux soient distinctes. Les sujets avaient pour consignes d'explorer mentalement différents trajets séparant deux lieux. Ces trajets étaient chronométrés par le sujet qui avait pour consigne d'appuyer sur un bouton dès qu'il était arrivé à destination. Les résultats de cette étude font apparaître une relation linéaire entre la durée des trajets imaginés et la distance qui séparait les lieux sur la carte. Le modèle de Kosslyn (1994) a donc été élaboré en considérant que les images

mentales, qui s'inscrivent dans une mémoire visuelle tampon, sont assimilées à des représentations mentales conservant les distances relatives et entretenant une relation analogique avec les objets.

Au centre de ce modèle se trouve une structure qui, d'une part, traite les informations provenant de la rétine et qui, d'autre part, sert de support aux représentations imagées (voir Figure 2, ci-contre). Cette structure est le *buffer visuel* qui selon l'auteur permet une articulation entre la perception et l'image mentale. Comme il est fréquent que cette structure contienne plus d'informations qu'il n'est possible d'en traiter à un moment donné, une fenêtre d'attention est activée afin de permettre de sélectionner la région du *buffer visuel* où sont stockées les informations pertinentes. Le *buffer visuel* est connecté d'une part au système de codage des propriétés de l'objet (forme, couleur, texture) et d'autre part au système de codage des propriétés spatiales (localisation, orientation, taille) ce qui permet sa reconnaissance. Les informations issues de ses deux systèmes vont converger vers la mémoire associative où elles seront associées aux informations sémantiques et lexicales issues du système d'encodage verbal. C'est à ce niveau que l'objet sera identifié. Deux autres systèmes, celui de recherche des informations et celui du déplacement de l'attention, vont permettre un retour vers le *buffer visuel* et vont commander la fenêtre d'attention afin de confirmer ou infirmer le résultat du traitement perceptif. Au cours de l'imagerie mentale, le fonctionnement du système est inversé. Lorsque l'on réalise l'imagerie mentale, la représentation visuelle n'est pas causée par une afférence sensorielle directe mais elle est construite à partir d'informations mémorisées qui peuvent être déformées. Selon Kosslyn (1980), les images mentales sont malléables, il est ainsi possible de les transformer et les faire tourner car elles sont mémorisées à partir de plusieurs représentations différentes. Cependant ces dernières se détériorent et s'estompent rapidement et leur maintien en mémoire demande un effort.

Le modèle analogique permet une description neuro-anatomique de l'imagerie mentale cependant, comme la plupart des modèles et théories qui ont été précédemment évoqués, il ne prend pas en compte les effets des déterminants de la pratique en imagerie sur la performance ou l'apprentissage de tâches motrices. Nous allons, dans le chapitre suivant, aborder ces déterminants afin de mieux comprendre leur influence sur la pratique en imagerie et nous verrons, dans la partie discussion générale, s'il est

possible d'articuler les résultats obtenus dans les expériences réalisées au cours de cette thèse avec les différents modèles précédemment décrits.

## CHAPITRE II

# LES DETERMINANTS DE L'IMAGERIE MENTALE

## **Chapitre II : Les déterminants de l'imagerie mentale**

De nombreux facteurs influencent les effets de la pratique en imagerie. Selon Hall (2001), les facteurs comme les modalités d'imageries et la capacité d'imagerie ont un rôle principal tandis que d'autres comme le moment de réalisation ou la durée des séances semblent secondaires.

### **A. Les différentes modalités d'imagerie**

Les images mentales se construisent sur la base des modalités sensorielles disponibles dans notre environnement ou fournies par notre propre corps. Elles peuvent être répertoriées en plusieurs catégories : les images visuelles, proprioceptives, auditives, tactiles, gustatives, olfactives et plurimodales. Si nous nous plaçons dans le champ des pratiques sportives, l'imagerie visuelle consiste à voir un objet, une action ou une scène. Nous verrons dans la partie suivante qu'elle peut-être réalisée dans une perspective externe mais aussi dans une perspective interne. L'imagerie proprioceptive (ou kinesthésique) va consister à évoquer mentalement les sensations relatives aux actions. Les autres modalités d'imagerie étant accessoirement utilisées nous en avons fait une brève définition dans le tableau 1. Bien que l'imagerie visuelle soit la plus couramment utilisée et la plus étudiée, il est possible de construire des images combinant plusieurs modalités sensorielles, chaque modalité pouvant avoir des effets différenciés sur la performance motrice. C'est pourquoi, selon Hall, Buckolz et Fishburne (1992), lorsque l'on réalise une pratique en imagerie, les consignes précisant quelle(s) modalité(s) d'imagerie utiliser sont extrêmement importantes. Dans la plupart des études en imagerie, les modalités d'imagerie généralement utilisées sont l'imagerie visuelle et l'imagerie proprioceptive.

#### **1) L'imagerie visuelle**

L'imagerie visuelle peut-être réalisée dans une perspective externe, c'est à dire que le sujet va s'imaginer se voir réaliser un mouvement ou une séquence de mouvements à la troisième personne. C'est un peu comme si le sujet était un observateur externe de sa propre action ou de celle d'une tierce personne. Elle peut

aussi être réalisée dans une perspective interne dans laquelle le sujet va s'imaginer voir les changements découlant de la réalisation d'une action du point de vue de l'exécutant. De nombreuses études ont montré une amélioration de la performance suite à une pratique en imagerie visuelle (interne ou externe) dans des tâches variées comme le Karaté, la gymnastique ou l'escalade (Hardy, 1997 ; Hardy & Callow, 1999). Cependant, après avoir brièvement défini l'imagerie proprioceptive, nous mettrons en évidence, d'une part, qu'il existe une confusion entre les différentes perspectives et modalités d'imagerie et, d'autre part, que la nature des tâches à réaliser semble influencer l'efficacité d'un apprentissage axé sur l'une ou l'autre de ces modalités d'imagerie.

## 2) L'imagerie proprioceptive

L'imagerie proprioceptive est liée à la sensation d'un mouvement ou d'une action (Hall et al., 1992). Au cours de cette modalité d'imagerie, il est demandé au sujet d'évoquer mentalement les sensations de mouvement, de force et d'effort accompagnant la réalisation d'une action sans l'exécuter physiquement (Hall, Pongrac & Buckolz, 1985 ; Jeannerod, 1994 ; MacIntyre & Moran, 2000). La plupart des études confirment l'intérêt de la pratique en imagerie proprioceptive pour de nombreuses activités sportives comme le patinage artistique, l'aviron, le karaté et la gymnastique (Barr & Hall, 1992 ; Hardy, 1997 ; Hardy & Callow, 1999 ; Mumford & Hall, 1985 ; Rodgers, Hall & Buckolz, 1991). Cependant, de nombreux auteurs ont observé que l'imagerie proprioceptive ne permettait une amélioration des performances qu'une fois un certain degré d'expertise atteint (Hardy & Callow, 1999 ; Isaac, 1992 ; Mahoney & Avenier, 1977).

## 3) Confusion entre perspectives et modalités d'imagerie.

Selon Hardy (1997), lorsque que l'on réalise des travaux de recherche portant sur les différentes perspectives et modalités d'imagerie, il est nécessaire de prendre certaines précautions avant d'interpréter les résultats. D'une part, une définition commune (unique) des différentes modalités d'imagerie est nécessaire pour permettre une comparaison entre les résultats issus de différentes expériences. Par exemple, des chercheurs ont confondu l'imagerie visuelle interne avec l'imagerie proprioceptive

(White & Hardy, 1995). En effet Mahoney et Avenier (1977) ont proposé qu'au cours de l'imagerie interne, une personne s'imagine être à l'intérieur de son corps et ressentir les sensations qu'il éprouverait au cours d'une situation réelle. Il semble donc que ce type d'imagerie s'apparente plus à l'imagerie proprioceptive qu'à l'imagerie visuelle interne. D'autre part, plusieurs auteurs ont proposé que certaines modalités et perspectives en imagerie sont plus efficaces que d'autres en fonction de la nature de la tâche utilisée (Hall, Mack, Paivio & Hausenblas, 1998 ; Munroe, Hall, Simms & Weinberg, 1998 ; Paivio, 1985). White et Hardy (1995) ont dans un premier temps proposé que l'imagerie visuelle externe aurait des effets supérieurs sur l'acquisition et la performance d'habiletés dont la forme est une composante principale comme un enchaînement de mouvements de bras en gymnastique. Dans un deuxième temps les auteurs ont argumenté que l'imagerie visuelle interne serait supérieure pour l'acquisition et la performance d'habiletés ouvertes dont l'exécution correcte est sous la contrainte de facteurs perceptifs comme le slalom en canoë par exemple.

Une explication théorique de ces prédictions a été suggérée par Hardy (1997) qui a proposé que l'imagerie exerce un effet bénéfique sur l'acquisition et la performance d'une habileté motrice lorsque les images générées supplémentent (complètent) les informations utiles disponibles pour le pratiquant. Ainsi, dans les tâches à dominante morphocinétique, l'imagerie visuelle externe permet au pratiquant de "voir" les positions précises et mouvements requis pour une performance de qualité, informations qui ne sont pas directement accessibles lors de l'exécution de ces actions (ATR en gymnastique). Inversement, dans les habiletés ouvertes sur lesquelles pèsent de fortes contraintes perceptives, l'imagerie visuelle interne permet au pratiquant de répéter mentalement la localisation spatiale, les conditions environnementales et le moment où les mouvements clés doivent être réalisés (imaginer un slalom en canoë ou un tackle au football). Hardy (1997) a enfin suggéré que l'imagerie proprioceptive devrait permettre au pratiquant de faire correspondre la durée et les sensations des mouvements avec les images visuelles utilisées.

Afin de tester les prédictions proposées précédemment, White et Hardy (1995) ont examiné l'utilisation de l'imagerie visuelle interne et de l'imagerie visuelle externe dans l'acquisition de deux habiletés, l'une dépendant principalement du traitement d'indices corporels (enchaînements de positions des bras) et l'autre dépendant du

traitement d'indices environnementaux (slalom en fauteuil roulant). Les résultats montrent que la pratique en imagerie visuelle externe a permis d'obtenir des performances supérieures à celles d'une pratique en imagerie visuelle interne aussi bien en acquisition qu'en rétention dans la tâche de mouvements de bras. En revanche, en ce qui concerne la tâche de slalom, les résultats montrent que les sujets qui ont utilisé l'imagerie visuelle interne ont fait moins d'erreurs spatiales dans un test de transfert (nouveau parcours) que ceux qui ont utilisé l'imagerie visuelle externe. Cependant, les sujets qui ont utilisé l'imagerie visuelle externe ont réalisé la tâche plus rapidement aussi bien en acquisition qu'en transfert. Les auteurs ont suggéré qu'un trade-off vitesse précision s'était produit parce que l'imagerie visuelle externe améliore la conduite compétitive des participants. Afin d'approfondir les résultats obtenus dans cette étude, Hardy et Callow (1999) ont récemment examiné, au travers de trois expériences, l'efficacité relative de différentes perspectives en imagerie sur la performance de tâches dans lesquelles la forme est importante. Au cours de l'expérience 1, 25 karatékas experts ont appris un nouveau Kata en utilisant l'imagerie visuelle interne ou l'imagerie visuelle externe. Les résultats indiquent que l'imagerie visuelle externe était significativement plus efficace que l'imagerie visuelle interne. Lors de l'expérience 2, 40 sujets novices ont appris une routine simple en gymnastique dans l'une des 4 conditions suivantes : imagerie visuelle interne ou externe avec ou sans imagerie proprioceptive. Les résultats révèlent un effet principal des perspectives en imagerie : l'imagerie visuelle externe a permis de meilleurs résultats que l'imagerie visuelle interne cependant, l'ajout de l'imagerie proprioceptive aux modalités d'imagerie visuelle interne et externe n'a pas eu d'influence sur la performance. L'expérience 3 a utilisé le même paradigme expérimental que l'expérience 2 mais avec des experts en escalade réalisant des parcours difficiles. Les résultats montrent que l'imagerie visuelle externe a permis une amélioration de performance supérieure à celle de l'imagerie visuelle interne et que l'ajout d'imagerie proprioceptive à l'imagerie visuelle externe permettait l'obtention d'une performance supérieure à celle de l'imagerie visuelle interne + imagerie proprioceptive et à celles des deux modalités d'imagerie visuelles réalisées seules. Les résultats de ces trois études supportent fortement l'hypothèse que l'imagerie visuelle externe est supérieure à l'imagerie visuelle interne pour l'acquisition et la performance de tâches à dominantes morphocinétiques. La comparaison des performances des sujets ayant réalisé une pratique en imagerie proprioceptive, en plus de l'imagerie visuelle, dans les expériences 2 et 3 suggère que l'imagerie proprioceptive

serait seulement efficace une fois que le pratiquant a acquis un certain degré d'expertise comme c'est le cas des sujets experts utilisés dans de l'expérience 3. Bien que des chercheurs continuent de suggérer que le fait d'associer l'imagerie visuelle externe avec l'imagerie proprioceptive soit très complexe (Collins & Hale, 1997), l'expérience 3 démontre clairement que les pratiquants peuvent utiliser l'imagerie proprioceptive ajoutée à l'imagerie visuelle externe et que cette addition peut être bénéfique à la performance.

Les résultats de ces études (Hardy & Callow, 1995, 1999) montrent que la pratique en imagerie est influencée par les modalités d'imagerie, dont l'efficacité semble être conditionnée par les contraintes (nature) de la tâche utilisée.

## B. Capacité d'imagerie

Selon Hall et al. (1985), il est important d'identifier et de mesurer les capacités ou traits qui sous tendent les performances des tâches motrices. De nombreux auteurs considèrent qu'il est nécessaire de considérer la capacité d'imagerie du mouvement qui représente la facilité ou difficulté à réaliser l'imagerie mentale (Hall, 2001 pour revue). Bien que virtuellement tout le monde semble avoir la capacité de générer et d'utiliser des images, il existe de fortes différences interindividuelles en imagerie qui seraient le produit de l'interaction entre l'expérience et les variabilités génétiques (Hall et al., 1992 ; Paivio, 1986).

Des chercheurs ont tenté de déterminer s'il était possible de prédire la performance ou l'apprentissage de tâches motrices en fonction des capacités en imagerie des individus. Il est raisonnable de penser que si on demande aux sujets d'utiliser l'imagerie afin d'apprendre ou d'améliorer la réalisation d'une tâche alors qu'ils ont de faibles capacités d'imagerie, c'est-à-dire des difficultés à réaliser l'imagerie, la pratique en imagerie aura peu ou pas d'effet. A l'opposé, les sujets à fortes capacités d'imagerie devraient au contraire être capables d'utiliser l'imagerie de façon très efficace.

Afin d'évaluer les différences inter-individuelles en imagerie, des questionnaires ont été mis au point. Ces questionnaires sont des tests subjectifs dans lesquels il est demandé au sujet d'estimer sa capacité à former des images mentales. De nombreux tests ont été élaborés comme le « Questionnaire upon Mental Imagery » de Betts (1909), le « Test of Visual Imagery Control » de Gordon (1949) modifié par Richardson (1969), ainsi que le « Vividness of Visual Imagery Questionnaire » de Marks (1973). Ces questionnaires, au travers de plusieurs items (entre 12 et 150), ont tenté de mesurer la capacité ou vivacité<sup>1</sup> d'imagerie de sujets se représentant des scènes familières, des gens ou des lieux. La critique la plus pertinente qui peut être faite à propos de ces tests est que n'évaluant pas de façon adéquate les différences inter-individuelles en capacité d'imageries, ils n'ont pas été en mesure de montrer qu'il existait une relation entre le facteur capacité d'imagerie et les performances dans les tâches réalisées (voir Ernest, 1977 pour revue). Ceci était d'autant plus vrai lorsque les études utilisaient des tâches motrices (Epstein, 1980 ; Hall & Martin, 1997 ; Start & Richardson, 1964). Les travaux de Ryan et Simons (1982) ont cependant obtenu des résultats plus positifs en évaluant les effets d'une pratique mentale sur l'apprentissage d'une tâche de balancement d'un stabilomètre. Les résultats de cette étude montrent d'une part que les sujets qui avaient recours à la pratique en imagerie avaient amélioré leur performance dans la tâche et étaient meilleurs que les sujets qui n'avaient pas eu recours à une pratique en imagerie. D'autre part, les sujets qui avaient rapporté, dans un questionnaire élaboré par les auteurs, avoir des images mentales vives ont obtenu de meilleures performances suite à la pratique en imagerie que les sujets qui avaient rapporté avoir des images mentales moins vives.

Pourquoi ces études ont-elles obtenu des résultats différents ? Hall et al. (1985) ont proposé qu'elles n'avaient pas spécifiquement mesuré la capacité ou vivacité d'imagerie des habiletés motrices utilisées. En effet les tests qui étaient administrés classaient les sujets « bons » ou « mauvais » imageurs sur la base de questions portant sur les gens, lieux et scènes de la vie quotidienne. C'est pourquoi d'autres questionnaires ont été développés afin de mesurer la capacité d'imagerie ainsi que la

---

<sup>1</sup> Les notions de capacité et de vivacité d'imagerie sont très proches. Elles attestent d'une « bonne » imagerie (Morris & Hampson, 1983) et réfèrent à la facilité à réaliser des images mentales précises et détaillées. Ces deux notions seront utilisées comme synonyme dans cette thèse.

vivacité des images spécifiquement pour des tâches motrices (voir Hall, 1998 pour une revue).

Hall et Pongrac (1983) ont ainsi développé le Questionnaire en Imagerie du Mouvement (MIQ) afin d'évaluer les différences inter-individuelles en capacité d'imagerie en relation avec le mouvement. Le MIQ est un auto-rapport composé de 18 items dont la moitié est dédiée à l'imagerie visuelle et l'autre concerne l'imagerie proprioceptive. L'estimation de la capacité d'imagerie visuelle ou proprioceptive de chaque item se fait au moyen d'une échelle de Lickert à 7 degrés (allant de 1 « très facile à imaginer ou à ressentir » à 7 « très difficile à imaginer ou à ressentir »). Chaque item implique des mouvements de bras, de jambe ou du corps en entier et évalue aussi bien les aspects visuels que les aspects proprioceptifs du mouvement. La passation du MIQ se fait en 4 étapes. La première décrit la position de départ que doit prendre le sujet. Dans la seconde, le mouvement est décrit avant d'être réalisé par le sujet. Au cours de la troisième, le sujet a pour consigne de revenir en position de départ avant d'imaginer réaliser le mouvement précédemment produit selon une perspective visuelle ou proprioceptive. Enfin lors de la quatrième étape le sujet doit évaluer la facilité ou difficulté avec laquelle il a imaginé le mouvement au moyen de l'échelle à 7 degrés (voir MIQ en annexe).

Dans une étude, Hall et al. (1985) ont montré que le MIQ mesurait de façon acceptable les différences inter-individuelles en capacité d'imagerie du mouvement. En effet les auteurs ont obtenu un coefficient de consistance interne de 0.87 et de 0.91 pour les modalités visuelle et proprioceptive respectivement, ainsi qu'un coefficient de stabilité du test (réalisé une semaine après) de 0.83. La fiabilité du MIQ a été confirmée par une étude de Atienza, Balaguer et Garcia-Merita (1994) dont les résultats supportent la validité de la structure bi-factorielle du questionnaire (pour les dimensions visuelle : 0.89 et proprioceptive : 0.88), ainsi que la cohérence interne de ses échelles de mesure. Goss, Hall, Buckolz et Fishburne (1986) ont administré le MIQ afin de mettre en évidence le lien existant entre la capacité d'imagerie et la performance motrice après une pratique en imagerie. Le MIQ a permis une sélection de trois groupes de capacité d'imagerie distincts. Le premier était composé de sujets ayant des difficultés à réaliser aussi bien l'imagerie visuelle que l'imagerie proprioceptive (IV-IP-), le second était composé de sujets ayant des facilités à réaliser l'imagerie visuelle et des difficultés à

réaliser l'imagerie proprioceptive (IV+IP-) et enfin le troisième groupe était composé de sujets ayant des facilités à réaliser aussi bien l'imagerie visuelle que l'imagerie proprioceptive (IV+IP+). Sur 219 sujets ayant passé le MIQ, aucun d'entre eux ne rapportait avoir des difficultés à réaliser l'imagerie visuelle et des facilités à réaliser l'imagerie proprioceptive (IV-IP+). Les auteurs ont observé qu'une forte capacité d'imagerie (IV+IP+) facilitait l'acquisition, après une pratique en imagerie proprioceptive, de quatre patrons de mouvements relativement simples. Dans une autre étude, Hall, Buckolz et Fishburne (1989) ont aussi classé les sujets « bons imageurs » (IV+IP+) et « mauvais imageurs » (IV-IP-) en fonction des scores obtenus au MIQ. Les sujets étaient testés au moyen de tests de rappel ou de reconnaissance évaluant la façon dont ils se souvenaient des mouvements appris au cours de la phase d'acquisition. Bien qu'il n'y avait pas de différence de performance au test de reconnaissance entre les deux groupes (lorsque la précision des mouvements qui devaient être reproduits était évaluée), les sujets « bons imageurs » étaient plus précis que les sujets « mauvais imageurs » au test de rappel. Les résultats de ces études montrent que la capacité d'imagerie peut influencer l'apprentissage et la performance de tâches motrices.

Plusieurs études ont cependant mis en évidence des limites au MIQ telles que la longueur du questionnaire (qui demande entre 20 et 45 minutes), la demande physique de certains items comme les sauts avec rotation ou les roulades avant qui peuvent poser des problèmes pour une population non sportive, ainsi que l'échelle de mesure qui peut porter à confusion (un score élevé indiquant des difficultés à réaliser une modalité d'imagerie et inversement pour un score faible)(Corlett, Anton, Kozub, & Tardif, 1989 ; Hall, Buckolz & Fishburne, 1989). Une version révisée du MIQ, le « revised Movement Imagery Questionnaire » (MIQ-R) de Hall et Martin (1997) a donc été élaborée en tenant compte des limites du MIQ. Le (MIQ-R) composé de 2 x 4 items (choisi parmi les 2 x 9 items du MIQ) est ainsi plus rapide et moins physique que le MIQ (choix d'items simples).

Le « Vividness of Movement Imagery Questionnaire » (VMIQ) de Isaac, Marks et Russel (1986) est un autre test utilisé en imagerie afin d'évaluer la vivacité des images mentales. Ce test est composé de 24 questions dans lesquelles les sujets doivent se représenter quelqu'un effectuer un mouvement, puis dans un deuxième temps se voir eux-mêmes le réaliser. Isaac (1992) a examiné l'influence de la vivacité sur la

performance d'une tâche de trampoline. Les sujets étaient classés dans des groupes de « forte » ou « faible » vivacité d'imagerie en fonction des scores obtenus au VMIQ. Les résultats montrent que les sujets qui ont réalisé une pratique en imagerie ont plus amélioré leur performance que les sujets contrôles. De plus, les sujets ayant une « forte » vivacité en imagerie ont obtenu une amélioration supérieure aux sujets ayant une « faible » vivacité en imagerie. Cependant, les analyses de Campos et Perez (1990) n'ont pas confirmé la structure factorielle bi-dimensionnelle de ce test concernant les composantes d'imageries visuelle et proprioceptive (les auteurs ayant associé « se représenter quelqu'un effectuer un mouvement » à de l'imagerie visuelle et « se voir soi-même réaliser une action » à de l'imagerie proprioceptive). En effet, l'analyse de la composante factorielle principale ne rapporte qu'un seul facteur qui montre que le VMIQ n'estime que la vivacité des images visuelles et pas celle des images proprioceptives. De plus, une étude récente de Callow et Hardy, (2004) a suggéré que le VMIQ ne mesurait pas la capacité d'imagerie visuelle de la propre performance des sujets mais plutôt la capacité à imaginer visuellement l'action d'une autre personne ce qui implique de prendre des précautions lors de l'interprétation des résultats des études utilisant ce questionnaire.

Si l'on se place dans le domaine de la motricité, les résultats des études ayant utilisé le MIQ et le VMIQ ont permis de mettre en évidence que la capacité d'imagerie et un déterminant de l'imagerie qu'il est important de prendre en compte pour interpréter les effets d'une pratique en imagerie sur la performance ou l'apprentissage d'une habileté donnée.

### C. Autres déterminants de l'efficacité de la pratique en imagerie mentale

Il existe d'autres facteurs qui influencent, bien que de façon moins importante, le bénéfice lié à une pratique en imagerie mentale (Hall et al., 1992). Parmi ces facteurs on retrouve : la durée des séances, le contexte dans lequel l'imagerie est réalisée et le degré d'expertise des sujets.

Les études qui se sont intéressées à la durée des séances d'imagerie sont peu nombreuses et arrivent à des résultats contradictoires. Des auteurs ont par exemple

observé que les sujets qui réalisaient des séances de 1 à 5 minutes de pratique en imagerie obtenaient des performances supérieures aux sujets réalisant des séances allant de 5 à 7 minutes (Etnier & Landers, 1996 ; Weinberg, 1982). D'autres auteurs ont au contraire suggéré que le bénéfice de la pratique en imagerie serait obtenu avec des séances de 20 minutes d'imagerie (Feltz & Landers, 1983). Ces derniers ont argumenté que des séances d'imagerie trop courtes (inférieures à 15-20 minutes) ne permettaient pas de réaliser mentalement un nombre suffisant d'essais limitant ainsi le bénéfice lié à une pratique en imagerie. De même les séances de plus de 20 minutes semblent inadaptes car il est difficile de rester concentré et de maintenir une bonne vivacité des images pendant une durée relativement longue (Driskell et al., 1994 ; Murphy, 1990, 1994).

Très peu d'études ont évalué les effets du contexte environnemental dans lequel la pratique en imagerie est réalisée. Dans une expérience, Guillot, Collet et Dittmar (2005) ont suggéré que le contexte environnemental pouvait aider les sujets à construire une représentation mentale des séquences motrices. Les sujets devaient s'imaginer réaliser des retours de service en tennis de table dans deux contextes spécifiques. Un groupe réalisait la pratique en imagerie dans un environnement neutre ne contenant aucune information sur le tennis de table tandis qu'un second groupe avait pour consigne de s'imaginer réaliser la même séquence motrice dans une situation très proche de la situation réelle (sujets en tenue de sport, raquette à la main, placés devant la table). Les résultats montrent que les sessions d'imagerie réalisées dans un contexte le plus proche possible de la pratique réelle sont plus efficaces que les sessions d'imageries réalisées dans un environnement neutre. Les paramètres environnementaux (« en contexte » versus « hors contexte ») semblent aider à la construction des représentations des actions.

Enfin, des auteurs ont cherché à déterminer si la pratique en imagerie était plus efficace chez les novices que chez les experts. Certains d'entre eux comme Wrisberg et Ragsdale (1979), en relation avec la théorie de l'apprentissage symbolique, ont affirmé que l'imagerie devrait être plus efficace dans les premiers stades de l'apprentissage au cours desquels les processus cognitifs jouent un rôle particulièrement important. D'autres ont, au contraire, proposé que la pratique en

imagerie serait plus efficace chez des athlètes de haut niveau en argumentant qu'il était nécessaire d'avoir des compétences dans la tâche pour bénéficier d'une pratique en imagerie (Noel, 1980). Les résultats obtenus dans la littérature montrent que les novices tout comme les experts bénéficient de la pratique en imagerie (Driskell et al., 1994 ; Feltz & Landers, 1983 ; Hall et al, 1992, pour revues). Les différences de performance entre les experts ou les novices, comme nous l'avons évoqué précédemment, seraient plutôt liées aux modalités d'imageries utilisées. Par exemple l'imagerie proprioceptive serait plus facilement utilisée par les experts que par les novices (Hardy & Callow, 1999).

# CHAPITRE III

## SIMILARITE ENTRE PRATIQUE REELLE ET PRATIQUE EN IMAGERIE

### **Chapitre III : Similarité entre pratique réelle et pratique en imagerie**

L'imagerie mentale permet une amélioration de la performance qui est cependant moins importante que l'amélioration obtenue suite à une pratique réelle (Driskell et al., 1994). Selon Jeannerod (1999), l'amélioration de la performance observée en pratique réelle comme en pratique en imagerie suggère que ces deux types de pratique seraient fonctionnellement similaires (partageant des mécanismes cognitifs sous-jacents comme la planification et la programmation des actions par exemple). Les résultats obtenus dans plusieurs études basées sur différents paradigmes expérimentaux comme la chronométrie mentale, la mesure de l'activité cérébrale et la mesure d'indices physiologiques, fournissant des arguments en faveur de cette similarité, ont été recensés dans ce chapitre.

#### **A) Chronométrie mentale**

Afin de mieux comprendre le parallèle existant entre la pratique physique et la pratique en imagerie, plusieurs études ont utilisé un paradigme de chronométrie mentale dans le but de comparer la durée des actions réelles avec celle des actions imagées (Guillot & Collet, 2005 pour revue). De nombreux auteurs ont mis en évidence une corrélation entre la durée de parcours mental et la distance effectuée (Cocude, Gonvalvez & Memmi, 1999 ; Denis & Cocude, 1989 ; Kosslyn, et al., 1978). Des résultats similaires ont été obtenus avec des tâches de rotation mentale (Shepard & Feng, 1972 ; Shepard & Metzler, 1971). Par exemple, Parsons (1987) a observé que les durées de rotation mentale du pied ou de la main étaient similaires à celles des mouvements réels. De plus, l'auteur a montré que la durée mise par les sujets pour déterminer si l'image présentée était une main droite ou une main gauche était similaire à celle que les sujets prenaient pour réaliser une rotation réelle de la main. D'autres auteurs se sont intéressés à des tâches beaucoup plus complexes comme l'écriture ou la locomotion (Decety, 1993 ; Decety & Michel, 1989 ; Papaxanthis et al., 2002). Il apparaît ainsi que les temps requis pour écrire et simuler mentalement la production écrite étaient très proches (Decety & Michel, 1989), de même que les durées respectives d'un déplacement réel ou simulé sur des distances spécifiques (Decety, Jeannerod & Prablanc, 1989 ; Papaxanthis et al., 2002). Ces auteurs ont proposé que la durée des

actions réelles et des simulations mentales était basée sur des mécanismes communs comme les processus de planification et de contrôle (Jeannerod, 1994). Papaxanthis et al. (2002) ont de plus montré que les contraintes d'inerties et de gravité sont précisément incorporées dans la composante temporelle de l'imagerie motrice qui apparaît être très proche de celle des mouvements réels. Pour Mellet, Petit, Mazoyer, Denis et Tzourio (1998) ces résultats peuvent être considérés comme des arguments en faveur d'une similarité fonctionnelle entre la préparation à l'action et l'imagerie mentale.

Cependant, dans plusieurs études, une sous ou surestimation des durées de simulation mentale a été mise en évidence (Guillot & Collet, 2005 pour revue). Ces auteurs montrent que la durée de simulation d'une action imaginée est influencée par des facteurs comme la difficulté de la tâche (Decety et al., 1989), les contraintes environnementales (Ceritelli, Maruff, Wilson & Currie, 2000) et le degré d'expertise (Barthais, 1998). Par exemple en escalade, Vieilledent (1996), a comparé la durée de simulation mentale et d'exécution réelle d'un parcours. Les résultats montrent que les mouvements imaginés étaient moins longs que ceux réellement exécutés. De façon diamétralement opposée, Calmels et Fournier (2001) ont observé, dans une tâche de gymnastique, que la durée de simulation mentale de figures complexes était surestimée par rapport à la durée de réalisation réelle de l'enchaînement. Les auteurs ont proposé que la complexité des actions inciterait les sujets à davantage porter leur attention sur la qualité des représentations mentales au détriment des caractéristiques temporelles des actions. Ces résultats ne sont donc pas incompatibles avec l'idée qu'il existe une similarité fonctionnelle entre la pratique réelle et la pratique en imagerie. Cela illustre seulement que la similarité temporelle entre l'imagerie et la pratique réelle qui est observée dans de nombreuses études peut être quelques fois conditionnée par le type de tâche et les contraintes environnementales (voir tableau 2).

## B) Imagerie mentale et activité cérébrale

D'autres techniques ont apporté des arguments en faveur de l'existence d'une similarité (d'activation cérébrale) entre pratique en imagerie et pratique physique. Les techniques d'imagerie cérébrale comme la tomographie par émission de positons (TEP)

et l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) ont été utilisées pour déterminer si la pratique en imagerie et la pratique réelle étaient similaires en ce qui concerne les structures cérébrales impliquées. La plupart de ces recherches s'accordent à dire qu'exécuter réellement une action et s'imaginer mentalement réaliser cette même action, ou que voir un objet et l'évoquer mentalement, impliquent des structures cérébrales communes (Ingvar & Philipson, 1977 ; Mellet, Tzourio, Pietrzyk, Raynaud, Denis & Mazoyer, 1993 ; Roland, Erikson, Stone-Elander & Widen, 1987).

Les récents travaux en imagerie ont proposé qu'en plus d'une implication de structures cérébrales communes, il y aurait un rôle différencié des hémisphères droit et gauche qui seraient conjointement impliqués dans la formation des images mentales (Gerardin, Sirigu, Lehericy, Poline, Gaymard, Marsault, Agid & Le Bihan, 2000 ; Ishai, Ungerleider & Haxby, 2000). Kosslyn et al. (1995) ont proposé que les deux hémisphères seraient capables former des images mentales. L'hémisphère droit générerait des images pour lesquelles la localisation spatiale est importante (images de cartes spatiales par exemple) tandis que l'hémisphère gauche serait plutôt associé à la description des images. Ainsi selon les auteurs, la participation de l'un ou l'autre des hémisphères et plus précisément des aires impliquées dans la formation des images mentales, serait liée au type de tâche utilisé, et de ce fait indirectement liée aux contenus ou modalités des images réalisées.

Davidson et Schwartz, (1977) se sont précocement intéressés aux aires cérébrales impliquées en fonction des modalités d'imagerie réalisées. Ils ont observé que lorsqu'il était demandé à des sujets de s'imaginer une lumière clignotante, l'activité cérébrale augmentait spécifiquement dans le cortex visuel, tandis que lorsqu'ils s'imaginaient que quelqu'un leur touchait le bras, l'activité augmentait au niveau du cortex somato-sensoriel. Dans une étude plus récente, Ruby et Decety (2001) ont comparé l'activation cérébrale lors de la simulation mentale d'actions avec un objet usuel en fonction de la modalité d'imagerie : première ou troisième personne. Les résultats de cette étude montrent des activations communes aux deux modalités d'imageries mentales (précunéus, complexe MT/V5 et des aires pré-centrales et frontales supérieures) mais aussi des activations spécifiques à chacune des modalités d'imagerie (voir Figure 3). Ainsi, l'imagerie réalisée à la troisième personne active principalement le lobule pariétal inférieur et le précunéus droit, et dans une moindre

mesure les cortex fronto-polaires et cingulaires postérieurs gauches. En revanche, l'imagerie à la première personne active spécifiquement le lobule pariétal inférieur, l'insula postérieur et le cortex post-central gauche, mais aussi bilatéralement le cortex occipital inférieur. La comparaison des aires activées dans ces deux cas (imagerie à la première personne / imagerie à la troisième personne) fait donc apparaître des zones activées sélectivement par l'une ou l'autre des modalités d'imagerie utilisées.

Les résultats de la littérature montrent que l'imagerie mentale et la pratique physique réelle sont fonctionnellement similaires en ce qui concerne les structures cérébrales engagées et qu'il existe une spécialisation de ces structures en fonction des modalités d'imagerie.

### C) Mesure d'indices physiologiques

Une troisième méthode, permettant d'évaluer le parallèle existant entre pratique réelle et pratique en imagerie, consiste à enregistrer, au niveau périphérique, l'activité végétative (Collet, Guillot, Bolliet, Delhomme & Dittmar, 2003). En effet, selon ces auteurs l'activité végétative peut être considérée comme un modèle inférentiel du fonctionnement du système nerveux central. Les études mesurant l'activité du système nerveux végétatif ont recours à un enregistrement multiparamétrique, car il existe d'une part de fortes variations interindividuelles et d'autre part un, voire plusieurs paramètre(s) individuel(s) préférentiel(s) (Deschaumes-Molinario, Dittmar, Sicard & Vernet-Maury, 1992 ; Vernet-Maury, Sicard, Dittmar & Deschaumes-Molinario, 1990). Afin de mesurer ces différents paramètres, une chaîne de mesure a été conçue par l'équipe « Micro-capteurs et Micro-systèmes Biomédicaux » du laboratoire LPM de Lyon. Cette chaîne permet d'enregistrer simultanément 6 paramètres physiologiques et de traiter les données recueillies. Comme illustré sur la Figure 4, les données sont réparties en 3 catégories.

La première concerne les réponses électro-dermales qui comprennent la résistance cutanée et le potentiel cutané. Ces indices montrent des variations, respectivement à court et long terme, bien corrélées avec l'activité mentale (Vernet-Maury, Robin & Dittmar, 1996). Par exemple, dans une expérience de réception de service en volley-ball, Roure, Collet, Deschaumes-Molinario, Delhomme, Dittmar et Verney-Maury (1998) ont enregistré une diminution de la résistance cutanée lors de l'imagerie mentale, similaire à celle observée en pratique réelle. Ces résultats ont été confirmés par Oishi, Kasai et Maeshima (2000) pour une course de vitesse en patinage sur glace.

La seconde est l'activité thermo-vasculaire qui s'évalue d'une part avec la température cutanée et d'autre part avec le débit sanguin cutané. Ces indices sont préconisés car les stimulations émotionnelles produisent des vasoconstrictions cutanées indépendantes des processus de thermorégulation. Wilkin et Trotter (1987) ont observé qu'au cours d'un calcul mental, le débit sanguin cutané de la main chutait d'environ 60% tandis que la fréquence cardiaque augmentait. Selon Collet et al. (2003), au cours de la préparation motrice, les volumes sanguins sont redirigés vers les zones musculaires concernées par la réalisation des actions motrices et les territoires cutanés sont ainsi moins irrigués. Une variation similaire des volumes sanguins a été enregistrée dans une étude de Guillot, Collet, Dittmar, Delemer et Vernet-Maury (2003). Dans cette étude, l'évolution du débit sanguin cutané a été mesurée au cours d'une tâche d'imagerie mentale en pentathlon moderne au cours de laquelle les sujets s'imaginaient réaliser un tir. Les résultats montrent que l'activité mentale produit un arrêt des oscillations du débit sanguin cutané. Après la phase d'imagerie, l'activité oscillatoire reprend et le débit sanguin cutané revient à son niveau initial. La mesure de la température cutanée est aussi un indice (thermo-vasculaire) pertinent utilisé pour mettre en évidence la similarité existant entre la pratique physique et la pratique en imagerie. Deschaumes-Molinario et al. (1992) ont relevé des températures cutanées identiques lors de la réalisation et de la simulation mentale d'un tir.

Enfin, la troisième catégorie est représentée par l'activité cardio-respiratoire. La fréquence cardiaque est l'indice le plus utilisé afin d'établir des corrélats physiologiques existant entre l'exécution réelle d'une action et la simulation mentale de cette même action. Par exemple, Deschaumes-Molinario et al. (1992) ont observé que les fréquences

cardiaques enregistrées pendant le tir et l'imagerie mentale du tir étaient similaires. La fréquence respiratoire instantanée a aussi été souvent étudiée afin d'évaluer les effets de l'activité (Shea, 1996). Selon cet auteur, les modifications des cycles respiratoires constituent des témoins de l'activité mentale. En effet, dans une étude utilisant une tâche de locomotion sur tapis roulant réalisée à différentes vitesses, Decety, Jeannerod, Germain et Pastene (1991) ont mis en évidence une corrélation entre les modifications de l'activité respiratoire observées en marche ou en course et la simulation mentale de ces mêmes actions motrices.

La plupart des études utilisant la mesure d'indices neuro-végétatifs montrent qu'il existe une forte similarité entre l'activité mesurée au cours de la pratique physique réelle et celle mesurée lors de la pratique en imagerie. Selon Collet et al. (2003), l'imagerie mentale inclut des processus qui anticipent puis accompagnent la réalisation d'un mouvement. L'importance des manifestations végétatives périphériques augmente avec la quantité d'effort mental (Decety & Lindgren, 1991). De tels effets peuvent être expliqués en termes de programmation centrale par des structures telles que le système nerveux autonome capables d'anticiper les exigences métaboliques de la tâche (Guillot, thèse de doctorat, 2004).

**CHAPITRE IV**

**APPRENTISSAGE**  
**MOTEUR**

## **Chapitre IV : Apprentissage moteur**

L'exécution efficace d'actions comme la préhension ou un mouvement de jambe nécessite la mise en place d'une organisation spatiale conçue sur la base d'informations sensorielles qui sont principalement de nature visuelle et proprioceptive. La combinaison de ces différentes sources d'informations sensorielles permet à chaque individu de construire une représentation de son action qui sera utilisée afin d'élaborer et de planifier ses mouvements de façon spécifique. Dans ce chapitre, nous allons nous intéresser à la façon dont le système de traitement de l'information intègre les différentes sources d'informations sensorielles ainsi qu'à leur part respective dans le contrôle des actions au cours de l'apprentissage moteur.

### **A) Modalités sensorielles**

La vision est une information principalement extéroceptive qui permet de définir la structure physique de l'environnement. Elle fournit des informations sur le mouvement des objets dans l'environnement et permet aussi de détecter rapidement les mouvements du corps dans l'espace : son temps de traitement étant relativement faible (entre 50 et 100 ms, Paulignan, MacKenzie, Marteniuk & Jeannerod, 1990 ; Young & Zelaznik, 1992). Nombreuses sont les études qui ont montré que la vision joue un rôle important dans le contrôle et la précision des mouvements (Adams, Goetz & Marshall, 1972 ; Adams, Gopher & Lintern, 1977 ; Coull, Tremblay & Elliott, 2001 ; Soucy & Proteau, 2001).

La proprioception (ou kinesthésie), information interoceptive, informe rapidement (moins de 70 ms) les sujets sur la position des articulations, les forces produites par les muscles et l'orientation dans l'espace (Jeannerod, 1988 ; Schmidt & Lee, 1999 ; Schmidt & Wrisberg, 2004). Des études réalisées chez des singes (Polit & Bizzi, 1979), chez des patients désafférentés (Ghez, Gordon & Ghilardi, 1995), ou au moyen de techniques de vibrations tendineuses (Roll & Roll, 1988), ont montré que les informations proprioceptives et les mécanismes efférents des réponses motrices sont nécessaires au contrôle et à la précision des mouvements.

Bien que dans cette partie nous ayons dissocié les sources d'informations sensorielles visuelles et proprioceptives, il est important de souligner leur étroite intégration dans le contrôle et l'apprentissage moteur des actions (Vindras, Desmurget, Prablanc & Viviani, 1998). Il paraît donc important de connaître leur contribution respective lorsqu'elles sont disponibles dans une tâche afin d'identifier la modalité qui saura fournir l'information la plus pertinente pour permettre la réalisation efficace d'une action.

L'intégration des informations sensorielles a été observée dans des expériences utilisant des tâches de pointage réalisées avec (ou sans) vision de la main et de la cible avant l'initiation du mouvement (Desmurget, Rosseti, Jordan, Meckler & Prablanc, 1997), dans des tâches de dessin en miroir (Gullaud-Toussaint & Vinter, 2003 ; Lajoie, Paillard, Teasdale, Bard, Fleury, Forget & Lamarre, 1992) ou au moyen de déviations prismatiques du champ visuel (Redding & Wallace, 1988). Cette intégration, accordant plus de poids à l'une et/ou l'autre des modalités sensorielles (visuelle ou proprioceptive), permet la construction de représentations multi-sensorielles des actions (Rosseti, Desmurget & Prablanc, 1995). Ces représentations vont servir à élaborer et à planifier les mouvements de façon spécifique et ainsi améliorer le contrôle et l'apprentissage des habiletés motrices.

Certaines modalités sensorielles, dites dominantes, seraient préférentiellement et plus efficacement utilisées par les sujets. Par exemple, la vision, considérée comme la « reine des sens » (Jeannerod, 1988) est, à ce titre, appelée à remplir une fonction dominante par rapport aux autres sources d'informations sensorielles comme notamment la proprioception (Birch & Lefford, 1967). Cependant, des études ont montré que la dominance des informations visuelles sur les informations proprioceptives n'est pas toujours observée. En effet, Gullaud-Toussaint et Vinter (1996, 2003) ont observé, dans une tâche de production graphique en miroir, que des sujets mis en situation de conflit visuo-proprioceptif utilisaient soit une stratégie dans laquelle le référentiel sensoriel dominant était la vision, soit une stratégie au cours de laquelle le référentiel sensoriel dominant était la proprioception. Ces résultats montrent que la dominance visuelle généralement constatée peut être modulée par les préférences individuelles (ou différences inter-individuelles).

## B) Tâches de reproduction de configurations corporelles

Au travers de l'étude de différents paradigmes expérimentaux utilisant des tâches variées (reproduction de configurations corporelles simples, pointage...), nous allons dans les parties qui vont suivre nous intéresser aux travaux portant sur l'évolution des dominances sensorielles (visuelle versus proprioceptive) avec la pratique.

Les tâches de reproduction de configurations corporelles sont utilisées afin d'estimer le sens de la position qui, selon Velay (1984), représente la capacité des sujets à évaluer la position respective des pièces mobiles de leur squelette et leur localisation dans l'espace. Les études s'intéressant au sens de la position utilisent des tâches de reproduction de positions angulaires des membres supérieurs (Cadopi, 1982 ; Lönn, Crenshaw, Djupsjöbacka, Pedersen & Johansson, 2000 ; Velay, 1984) mais aussi des membres inférieurs (Bouet & Gahéry, 2000 ; Euzet & Gahéry, 1995, 1996, 1998 ; Rodier, Euzet, Gahéry & Paillard, 1991). Ces études utilisent généralement une articulation simple à un seul degré de liberté afin de faciliter la mesure des angles articulaires (Euzet, 1994 ; Rodier et al., 1991). Elles comprennent deux étapes distinctes : 1) présentation, par l'expérimentateur, de la position à atteindre ou à reproduire (phase d'encodage) et 2) reproduction de la position avec (ou sans) l'aide de la vision ou de toute autre information non proprioceptive (phase de rappel) (Clark & Horch, 1986). Ces phases peuvent être unimodalitaires ou plurimodalitaires.

Lorsqu'elles sont unimodalitaires, la procédure fait intervenir la proprioception lors des phases d'encodage et de rappel (Velay, Roll & Paillard, 1989). Ainsi, dans une tâche de type Proprioception-Proprioception (P-P), le sujet doit reproduire la position de référence adoptée par une de ses jambes (phase d'encodage utilisant la modalité proprioceptive) avec la jambe controlatérale (phase de rappel utilisant la modalité proprioceptive) sans l'aide de la vision.

Lorsque les étapes sont plurimodalitaires, l'encodage et le rappel se font dans deux modalités sensorielles différentes. Pour les tâches Proprioception-Vision (P-V), la

position d'une des jambes du sujet est préalablement stabilisée (phase d'encodage réalisée sans la vision de la jambe), puis est suivie par la présentation, sur un écran, du schéma représentant une position angulaire de l'articulation cuisse/jambe. Le sujet doit alors faire correspondre ce schéma, à l'aide d'une manette, à la position de sa jambe perçue (phase de rappel). Pour la tâche de type : Vision-Proprioception (V-P), la position de référence est donnée par un schéma présentant la position articulaire du genou visualisée sur un écran. Le sujet a pour consigne de reproduire cette configuration corporelle en mobilisant activement l'une de ses jambes sans l'aide de la vision (voir Figure 5, ci-contre).

Les résultats de ces études montrent qu'une plus grande précision de la performance motrice apparaît en situation unimodale P-P en comparaison avec les situations plurimodales P-V et V-P qui obtiennent des résultats similaires (le transfert de la vision à la proprioception étant aussi facile que celui de la proprioception à la vision) (Euzet & Gahéry, 1995, 1996, 1998 ; Rodier et al., 1991). Ils montrent aussi que la pratique d'une activité sportive permet, à long terme, de développer et d'améliorer la sensibilité proprioceptive, et que la réalisation régulière de cette pratique permet une meilleure utilisation des informations disponibles qu'elles soient d'origines périphériques ou centrales (copie d'efférence, décharge corollaire) (Bouet & Gahéry, 2000 ; Crémieux & Mesure, 1994 ; Euzet et al., 1996).

Les tâches de positionnement segmentaire nous semblent appropriées pour investiguer l'évolution du rôle des différentes informations sensorielles. Dans les études rapportées ci-dessus, peu d'essais ont été utilisés (entre 14 et 20 essais). De ce fait, elles ne nous renseignent que sur « l'état » de l'acuité du sens de la position à un moment donné (adolescents, adultes, novices, experts en sport). Aucune information n'est apportée concernant les dominances sensorielles ou l'évolution de la précision de la proprioception au cours de la pratique (apprentissage). Nous allons donc, dans les paragraphes suivants, évoquer un autre paradigme expérimental principalement utilisé en apprentissage moteur pour étudier l'évolution du rôle joué par les modalités sensorielles avec la pratique : le paradigme de transfert d'apprentissage.

### C) Paradigme de transfert d'apprentissage

De nombreuses études, s'intéressant au rôle joué par les différentes sources d'informations sensorielles dans l'apprentissage et le contrôle moteur, reposent sur un paradigme de transfert d'apprentissage. Ce dernier se décompose en deux parties : 1) une phase d'acquisition dans laquelle le nombre d'essai à réaliser ainsi que les conditions sensorielles peuvent varier et 2) une phase de transfert/rétention (post-test) réalisée immédiatement ou quelques jours après la phase d'acquisition (post-tests 10' et 24h par exemple). On remarquera que plus le délai entre la phase d'acquisition et les post-tests sera long, plus les changements observés dans le comportement moteur seront supposés refléter un encodage en mémoire à long terme.

Lorsqu'on s'intéresse à l'importance des modalités sensorielles, une expérience, utilisant un paradigme de transfert d'apprentissage, est au minimum composée de deux groupes : le premier (groupe contrôle) réalise une phase de transfert dans des conditions sensorielles identiques à celles de la phase d'acquisition tandis qu'un ajout ou une suppression d'information sensorielle est réalisée pour le second (groupe expérimental). Par exemple, si un groupe dispose uniquement des informations proprioceptives en phase d'acquisition, il réalisera une phase de transfert dans laquelle les informations visuelles et proprioceptives seront disponibles (voir exemple 1, Tableau 3, ci-dessous). Par contre un groupe qui bénéficiera des informations visuelles et proprioceptives en phase d'acquisition ne disposera plus que des informations proprioceptives en phase de transfert (voir exemple 2, Tableau 3). L'intérêt du groupe contrôle réside dans l'évaluation des effets sur la performance motrice accompagnant la suppression de la connaissance de résultat (celle-ci est tout le temps disponible en phase d'acquisition, jamais en phase de transfert).

Tableau 3 : Exemples d'études utilisant un paradigme de transfert des conditions d'apprentissage. V = vision, P = proprioception, V + P = vision plus proprioception disponible dans la tâche.

Conditions	Groupes	Acquisition	Transfert
------------	---------	-------------	-----------

1) Ajout d'information sensorielle	Groupe expérimental	P	P + V
	Groupe contrôle	P	P
2) Suppression d'information sensorielle	Groupe expérimental	P + V	P
	Groupe contrôle	P + V	P + V

L'analyse des données de la phase d'acquisition permet de déterminer les bénéfices liés à la disponibilité des sources d'informations sensorielles (spécifiques à l'apprentissage de la tâche réalisée). Une comparaison des données obtenues en fin d'acquisition à celles obtenues en phase de transfert/rétention est ensuite réalisée. Une détérioration des performances motrices, en phase de transfert, traduit les effets de la modification du contexte sensoriel (par ajout ou suppression d'informations sensorielles) dans le groupe expérimental. Par déduction, de plus fortes détériorations chez ce dernier, comparé au groupe contrôle, peuvent être imputées aux manipulations du contexte sensoriel entre la phase d'acquisition et la phase de transfert.

Enfin, il est possible, dans une expérience, d'utiliser trois phases expérimentales : un pré-test, une phase d'acquisition et des post-tests (transfert/rétention). Le pré-test, permettant une évaluation du niveau de base des sujets, est réalisé avant la phase d'acquisition et se déroule dans des conditions strictement identiques à celles des post-tests. La comparaison des performances motrices des pré et post-tests permet d'évaluer les effets bénéfiques, neutres ou délétères d'une pratique réalisée dans des conditions sensorielles spécifiques. Le recours à un paradigme de transfert d'apprentissage paraît ainsi tout à fait approprié pour interroger le rôle joué par les afférences sensorielles (pour la vision) et/ou les mécanismes efférents (pour la proprioception) au cours de l'apprentissage d'une tâche.

L'utilisation d'un paradigme de transfert d'apprentissage avec notamment les travaux portant sur l'hypothèse de spécificité des conditions d'apprentissage (que nous allons définir ci-dessous) manipulant conjointement la durée des phases d'acquisition et le contexte sensoriel disponible en phase d'acquisition et en phase de transfert/rétention a permis la résolution des divergences théoriques relatives à l'évolution de l'utilisation des informations sensorielles visuelles et proprioceptives avec la pratique. Différents

auteurs ont mis en évidence une importance variable, avec la pratique, des informations visuelles et proprioceptives dans le contrôle de la précision des mouvements (Proteau, 1992 pour revue). Schmidt (1975) proposait une diminution du rôle des informations sensorielles avec la pratique tandis que Fleishman et Rich (1963) optaient pour le passage d'une dominance visuelle à une dominance proprioceptive. Proteau et collaborateurs (Proteau, Martenuik, Girouard & Dugas, 1987 ; Proteau et al., 1992) ont remis en cause ces deux propositions en montrant une augmentation du rôle des informations sensorielles, dans la précision des mouvements, avec la pratique. Selon ces auteurs, chaque individu développe et affine, avec la pratique, un cadre de référence sensoriel interne spécifique aux conditions dans lesquelles le mouvement a été appris. Les différents feedbacks sensoriels seraient intégrés et utilisés conjointement aux processus de planification centrale et d'exécution pour former la base de la représentation du mouvement (version initiale de l'hypothèse de spécificité).

#### D) Effet de spécificité et contraintes de tâche

Plus récemment, l'hypothèse de spécificité des conditions d'apprentissage a été révisée et reformulée par Tremblay et Proteau (1998). Cette hypothèse propose que quelle que soit la tâche, les sujets sont capables de déterminer la (ou les) source(s) d'information(s) afférente(s) qui permet(tent) d'obtenir une précision ou performance optimale. Une fois que sa dominance a été établie, le sujet va traiter principalement cette information au détriment des autres sources d'information sensorielles disponibles (Coull et al., 2001 ; Proteau & Carnahan, 2001 ; Soucy & Proteau, 2001 ; Tremblay & Proteau, 1998). Ainsi, la pratique ne s'accompagnerait pas d'une dépendance accrue à l'ensemble des informations sensorielles disponibles en phase d'acquisition, comme il avait été suggéré initialement (Proteau, 1992 ; Proteau et al., 1987, 1992), mais uniquement à l'information dont le rôle apparaît primordial pour assurer la précision des performances motrices, ce rôle pouvant être dévolu à la vision ou à la proprioception en fonction des contraintes spécifiques de la tâche à réaliser (version révisée de l'hypothèse de spécificité).

Dans le contexte des tâches de pointage vers une cible continuellement visible, il a été montré, conformément aux prédictions de l'hypothèse de spécificité, que la vision est précocement déterminée comme étant une source d'information dominante et plus pertinente que la proprioception (Proteau & Carnahan, 2001). La dominance des informations visuelles a été confirmée par de nombreuses études utilisant des tâches de pointage (Adams, Goetz & Marshall, 1972 ; Elliott & Jaeger, 1988 ; Proteau et al., 1987 ; Proteau & Carnahan, 2001 ; Proteau et al., 1992 ; Soucy & Proteau, 2001) ainsi que d'autres tâches variées de marche (Proteau, Tremblay & De Jaeger, 1998), de soulevé de charge (Tremblay & Proteau, 1998), d'interception de balle (Tremblay & Proteau, 2001) , de production orale (Siegel, Schork, Pick, & Garber, 1982). Ces différentes études ont montré 1) que les sujets sont plus précis en phase d'acquisition avec, que sans indices visuels et 2) que le retrait de ces informations sensorielles en phase de transfert, engendre une diminution de la précision spatiale des sujets. Ainsi, la vision peut être considérée comme la source d'information dominante pour l'apprentissage moteur et le contrôle des mouvements de pointage manuel vers des cibles continuellement visibles (Proteau, 1995).

Cependant, cette dominance visuelle semble être modulée par les contraintes de la tâche. En effet, les résultats d'une étude de Tremblay et al. (2001) utilisant des mouvements de pointage de faible amplitude en direction de cibles situées devant le sujet ont montré une diminution du rôle des informations visuelles au cours de l'apprentissage : la suppression de la vision entraînant de plus fortes détériorations de la performance après 15 essais de pratique qu'après 150 essais de pratique. Selon les auteurs, la diminution du rôle des informations visuelles avec la pratique laisserait probablement place au traitement des indices proprioceptifs. Les résultats obtenus, répliqués par Lhuisset et Proteau (2004) avec des mouvements de pointages situés sur l'axe sagittal médian, s'expliquent par l'absence de contraintes en direction pesant sur les pointages à réaliser ainsi que par la faible amplitude des mouvements. Cette explication est en accord avec les travaux de Boucher, Velay et Paillard (1992) qui montrent que l'amplitude des mouvements de pointage implique principalement un mode de contrôle proprioceptif. Ces résultats ont aussi été confirmés par une étude de Robin, Toussaint, Blandin & Vinter (2004) qui a montré que l'apprentissage moteur, pour des cibles auto-définies (encodées à la fois avec la vision et la proprioception), ne

résultait pas en une utilisation plus efficace des informations visuelles pour le contrôle ou la planification des mouvements mais que la dominance visuelle moindre après une pratique intensive de la tâche pourrait résulter d'un traitement accru des informations en provenance des récepteurs proprioceptifs. Ces résultats suggèrent qu'une dominance de nature proprioceptive pourrait s'établir à la suite d'un apprentissage réalisé en présence conjointe des informations visuelles et proprioceptives. Cette dominance apparaîtrait tardivement, nécessitant une plus grande quantité de pratique, comparé à la dominance visuelle dont la précocité a été souvent rapportée pour des tâches de pointages manuels en direction de cibles continuellement visibles (Adams et al., 1977 ; Elliott & Jaeger, 1988 ; Proteau & Carnahan, 2001 ; Soucy & Proteau, 2001). Ces résultats semblent confirmer le point de vue défendu par Tremblay et Proteau (1998) soutenant l'idée que les sujets seraient capables d'extraire, dans une tâche donnée, les informations les plus fiables pour assurer une performance motrice optimale.

L'objectif de ce travail de thèse est de questionner les similitudes entre la pratique en imagerie mentale et la pratique physique réelle en ce qui concerne le rôle des informations sensorielles dans la production motrice. Nous allons à présent aborder les études que nous avons réalisées, au cours des trois années de thèse, dans le but de répondre à cette question.

**PARTIE  
EXPERIMENTALE**

## Chapitre V : Expériences

### Problématique

Les études comportementales rapportées dans la suite du manuscrit s'intéressent tout particulièrement aux effets de la simulation mentale d'une action sur la performance motrice.

La première expérience examine l'influence des modalités d'imagerie (visuelle et proprioceptive) et des différences inter-individuelles relatives aux capacités d'imagerie dans une tâche de reproduction de configurations corporelles simples. La question du traitement privilégié d'une modalité sensorielle au détriment de l'autre modalité est également examinée à partir d'une pratique en imagerie mixte, le but étant la généralisation de l'effet de spécificité des conditions d'apprentissage à une pratique en imagerie.

L'absence de résultat dans la première expérience concernant l'effet des capacités d'imagerie lors d'une pratique mentale, contraire aux données de la littérature (Goss et al., 1986 ; Hall et al., 1989 ; Ryan & Simons, 1982), nous conduit à retravailler sur ce facteur dans la seconde expérience. Le facteur expertise pouvant être important pour augmenter l'efficacité de l'imagerie proprioceptive (Hardy & Callow, 1999 ; Isaac, 1992 ; Mahoney & Avenier, 1977), cette modalité étant la plus à même d'améliorer la précision de la reproduction de configurations corporelles simples (cf. expérience 1), des sujets « bons » et « mauvais » imageurs ont participé à une séance de pratique physique avant de participer aux séances d'imagerie. Cette expérience minimale de la tâche à réaliser apparaît effectivement comme étant bénéfique pour illustrer l'importance des capacités d'imagerie sur la performance motrice.

La troisième expérience s'intéresse au poids des différentes modalités d'imagerie (visuelle et/ou proprioceptive), chez des sujets bons imageurs, dans une tâche de pointage. Contrairement à la première expérience qui sollicitait fortement le

recours au traitement des informations proprioceptives, cette tâche de pointage sollicite d'avantage le traitement des informations visuelles. La modulation des contraintes de la tâche vis-à-vis des processus de dépendance sensorielle entre les deux premières expériences et celle-ci est intéressante pour examiner le lien entre la modalité sensorielle dominante de la tâche à réaliser et la modalité sollicitée par la pratique mentale. Une seule et même modalité bénéficie-t-elle à ces deux pratiques (physique et simulation), ou la pratique mentale est-elle favorisée, quelles que soient les contraintes de la tâche, par une modalité d'imagerie spécifique, sans rapport avec la modalité privilégiée lors de la réalisation effective de la tâche ? La comparaison des résultats obtenus dans les expériences 1 et 3 nous permettra de répondre à cette question.

Enfin, les deux dernières expériences ont été réalisées dans le but d'évaluer l'évolution du rôle des informations sensorielles en fonction de la quantité de pratique en imagerie, dans des tâches de placements corporels sollicitant (expérience 4) ou non (expérience 5) l'information visuelle. Le but principal de ces deux expériences était d'examiner l'importance des pratiques en imagerie visuelle et/ou proprioceptive au début d'une séance d'imagerie et plus tardivement. Ce questionnement résulte de travaux qui montrent que lorsque des individus pratiquent réellement une tâche motrice, l'efficacité liée au traitement des indices visuels peu s'exprimer rapidement (Tremblay & Proteau, 1998), alors qu'une quantité de pratique plus importante peut-être nécessaire pour le traitement des informations proprioceptives (Robin et al., 2004). Ce rôle variable des modalités sensorielles en cours d'apprentissage est donc évalué, dans ce travail, au regard de la pratique mentale.

#### Méthode commune aux 5 expériences

Sujets : Tous les sujets sélectionnés dans nos études ont réalisé le Questionnaire en Imagerie du Mouvement (MIQ) de Hall et Pongrac (1983). Ce questionnaire, décrit dans le chapitre II et présenté en annexe, a été administré dans les expériences 1 et 2 pour classer les sujets en fonction de leurs capacités d'imagerie. Conformément à la terminologie employée par les auteurs, le groupe IV+IP+ rassemble les sujets « bons imageurs » tant pour la modalité visuelle que pour la modalité proprioceptive, le groupe IV-IP- rassemble les sujets « mauvais imageurs » pour les deux modalités sensorielles

considérées et le groupe IV+IP- est constitué de sujets « bons imageurs » pour ce qui est de la modalité visuelle et « mauvais imageurs » pour ce qui est de la modalité proprioceptive<sup>1</sup>. Dans les expériences 3, 4 et 5, le MIQ a été utilisé dans le but de sélectionner uniquement des sujets bons imageurs (IV+IP+). Cette sélection a été réalisée, comme l'ont suggéré Hall et al. (1992), afin d'éviter que le facteur capacité d'imagerie n'influence la performance des sujets réalisant une pratique en imagerie.

Matériel et procédure expérimentale : Les sujets étaient assis confortablement sur une table surélevée. Leur jambe gauche, dans le vide, pouvait se déplacer librement à partir de l'articulation du genou. Tous les sujets étaient munis d'un potentiomètre goniométrique (Sternice, 5KΩ 0127) placé au niveau de l'articulation du genou gauche de telle sorte que l'axe de rotation du goniomètre corresponde à l'axe de rotation du genou. Le potentiomètre était fixé au mollet et à la cuisse par des velcros. Après avoir équipé les sujets du potentiomètre, l'expérimentateur mesurait la position de repos pour chacun d'eux. Cette valeur angulaire servait de position de référence pour la suite des expériences, notamment pour recueillir les données lors des pré- et post-tests. Rappelons que l'enregistrement de la précision des performances motrices avant (pré-test) et après (post-tests) une pratique en imagerie est le seul moyen d'obtenir des données comportementales permettant d'évaluer les effets de la simulation mentale d'une action. Lors de ces tests, au cours des expériences 1, 2 et 5 les sujets devaient garder les yeux fermés pour que le contrôle des mouvements s'effectue uniquement sur la base des informations proprioceptives, tandis que dans les expériences 3 et 4, des informations visuelles sur les gestes réalisés étaient données au moyen soit d'un miroir placé sur la gauche des sujets, à environ 1 mètre (expérience 4), soit d'un pointeur laser fixé sur la cheville des sujets et permettant de réaliser des pointages en direction des cibles placées face à eux (expérience 3). Dans les expériences 1, 2, 4 et 5, lors des pré-tests et post-tests, l'expérimentateur présentait, par positionnement actif de la jambe, une position d'encodage que les sujets avaient ensuite pour consigne de reproduire (position de rappel) le plus précisément possible en bénéficiant d'informations sensorielles spécifiques (proprioception et/ou vision tel que mentionné précédemment). La présentation de la position d'encodage se faisait pendant 4 secondes, avant que le

---

<sup>1</sup> Rappelons que dans la littérature, l'ensemble des études examinant l'effet des capacités d'imagerie lors d'une pratique mentale distingue essentiellement trois groupes de sujets (IV+IP+, IV+IP- et IV-IP-), peu d'individus rapportant avoir des difficultés en imagerie visuelle et des facilités en imagerie proprioceptive (IV-IP+).

sujet ne puisse replacer sa jambe en position repos (valeur angulaire : 90°) (voir Figure 6, ci-contre). Lors de ces expériences, 3 positions angulaires étaient utilisées 132°, 147° et 161°. Pour tous les sujets, l'expérience débutait par une procédure de familiarisation (2 essais d'une valeur de 139° et 154°).

La procédure d'encodage-rappel n'a pas été utilisée dans l'expérience 3, les sujets réalisant tout simplement une tâche de pointage en direction d'une cible lumineuse. Trois cibles ont été retenues, le pointage de chacune d'elles correspond à des valeurs angulaires au niveau de l'articulation du genou similaires à celles utilisées dans les autres expériences (132°, 147° et 161°) (voir Figure 7, ci-contre).

Au cours des pratiques mentales réalisées dans les expériences 1, 3, 4 et 5<sup>2</sup>, les sujets avaient pour consigne de réaliser soit : de l'imagerie visuelle (IV), de l'imagerie proprioceptive (IP), de l'imagerie mixte (IM : combinaison d'imageries visuelle et proprioceptive) ou une absence d'imagerie (groupe contrôle). Lors de la pratique en imagerie visuelle, les sujets devaient s'imaginer se voir atteindre la position (perspective à la troisième personne), indiquée verbalement par l'expérimentateur, le plus précisément possible en focalisant leur attention sur les informations visuelles. Les sujets réalisant une pratique en imagerie proprioceptive devaient d'évoquer mentalement les sensations de mouvement, de force et d'effort accompagnant l'atteinte d'une position en focalisant leur attention sur les informations proprioceptives. Au cours de la pratique en imagerie mixte, les sujets avaient pour consignes de réaliser une combinaison d'imagerie visuelle et d'imagerie proprioceptive. Ces consignes, utilisées dans les expériences 1, 2, 4 et 5 étaient légèrement modifiées dans l'expérience 3 dans laquelle les sujets devaient s'imaginer se voir réaliser des pointages avec la jambe pour l'imagerie visuelle et s'imaginer ressentir les sensations correspondant à ces mêmes pointages pour l'imagerie proprioceptive. Au cours des pratiques mentales, les sujets du groupe contrôle réalisaient une tâche neutre de lecture dont la durée correspondait à la durée des séances d'imagerie

Tableau 4 : Résumé des tâches (Pos. Segm. = tâche de positionnement segmentaire / pointage), contextes sensoriels (V : vision / P : proprioception), capacité d'imagerie

---

<sup>2</sup> Au cours de l'expérience 2, la pratique mentale était uniquement constituée d'imagerie proprioceptive et d'imagerie mixte.

(IV+IP+ : bons imageurs / IV-IP- : mauvais imageurs / IV+IP- : bons imageur en vision et mauvais imageur en proprioception), nombre d'essais (15 / 90 / 150) et modalités de pratique en imagerie (IV : Imagerie Visuelle / IP : Imagerie Proprioceptive / IM : Imagerie Mixte / Cont : Contrôle) mis en œuvre dans chacune des expériences.

Expériences	Tâche	Contextes sensoriels disponibles	Groupes de capacités d'imagerie	Pratique physique	Pratique en imagerie	
					Nombre d'essais	Modalités
Exp. 1	Pos. Segm.	P	IV+IP+ IV+IP- IV-IP-	Non	90	IV IP IM Cont
Exp. 2	Pos. Segm.	P	IV+IP+ IV+IP- IV-IP-	15 essais	90	IP IM
Exp. 3	Pointage	V + P	IV+IP+	45 essais	90	IV IP IM Cont
Exp. 4	Pos. Segm.	V + P	IV+IP+	Non	15 + 150	IV IP IM Cont
Exp. 5	Pos. Segm.	P	IV+IP+	Non	15 + 150	IV IP IM Cont

Analyse des données : Pour chaque essai réalisé lors des pré- et post-tests, l'erreur de repositionnement correspondant à la différence entre la position d'encodage et la position de rappel (expériences 1, 2, 4 et 5) ou à l'écart par rapport à la position cible (expérience 3) ont été enregistrés. A partir des valeurs obtenues, différents indices de précision ont été calculés (exprimés en degrés) : l'Erreur Absolue (EA), l'Erreur Variable (EV) et l'Erreur Quadratique Moyenne (EQM) permettant d'évaluer l'évolution de la performance motrice des pré- aux post-tests. Les données obtenues ont

été soumises à des analyses de variance (ANOVAs) dont les plans seront spécifiés dans la partie méthode de chacune des expériences. Ces analyses ont été complétées par des tests de comparaison de moyennes (Test de Newman-Keuls). Le seuil de significativité retenu est de .05. Pour les 5 expériences, comme des résultats identiques ont été obtenus pour les trois positions (132°, 147° et 161°), les analyses statistiques ont été réalisées sur les moyennes des erreurs (EA, EV et EQM) toutes positions confondues.

Expérience 1 : Influence de la capacité d'imagerie et des modalités d'imagerie dans une tâche de reproduction de configurations corporelles simples<sup>3</sup>.

## Introduction

L'imagerie mentale correspond à la répétition symbolique et consciente d'une activité motrice en dehors de son exécution réelle (Cadopi, 1994). Elle permet une amélioration de la performance qui est cependant moins importante que l'amélioration obtenue à la suite d'une pratique réelle (Driskell et al., 1994). Selon Jeannerod (1999), l'amélioration de la performance observée en pratique réelle comme en pratique en imagerie suggère que ces deux types de pratiques sont fonctionnellement similaires et partagent un système de représentation commun des actions. Cette similarité fonctionnelle a été mise en évidence dans de nombreuses expériences utilisant des paradigmes expérimentaux variés comme la chronométrie mentale (Decety & Michel, 1989), la mesure de l'activité végétative (Collet et al., 1999) et les techniques d'imagerie cérébrale (Ingvar & Philipson, 1977 ; Sirigu, Daprati, Pradat-Diehl, Franck & Jeannerod, 1999). Les résultats de ces études suggèrent que les mécanismes cognitifs sous-jacents l'élaboration, la planification, la programmation et le contrôle des actions sont aussi bien impliqués lors de leur exécution que lors de leur simulation (mentale) (Decety & Grèzes, 1999 ; Jeannerod, 1999 pour revue).

A notre connaissance, l'équivalence fonctionnelle entre pratique réelle et pratique en imagerie n'a pas été examinée en ce qui concerne les processus d'intégration sensorielle. Or à ce jour, l'évolution des processus d'intégration sensorielle résultant d'une pratique motrice réelle est relativement bien documentée. Récemment, plusieurs études ont testé l'hypothèse de spécificité des conditions d'apprentissage (Coull et al., 2001 ; Proteau, 1995 ; Proteau & Carnahan, 2001 ; Proteau & Isabelle, 2002 ; Robin et al., 2004 ; Soucy & Proteau, 2001, Tremblay & Proteau, 1998 ; Tremblay et al., 2001). Cette hypothèse suggère que l'importance des informations sensorielles afférentes ne diminue pas avec la pratique, et que les sujets traitent prioritairement la(les) source(s) d'information(s) qui permet(tent) l'obtention d'une performance optimale au détriment des autres sources d'informations disponibles. Cette hypothèse a été confirmée par de

---

<sup>3</sup> Robin, N., Toussaint, L., & Blandin, Y. (en cours). Effects of mental practice on the enhancement of accurate body configurations reproduction.

nombreux travaux expérimentaux, portant sur différents types de tâche : pointage (Proteau et al., 1987 ; Robin et al., 2004), soulevé de charge (Tremblay & Proteau, 1998), production orale (Siegel, Schork, Pick, & Garber, 1982), interception de balle (Tremblay & Proteau, 2001), poursuite (Coull, Tremblay & Elliott, 2001) et coordination inter-segmentaire (Yoshida, Cavanagh & Crow, 2004), qui ont rapporté la dominance des informations visuelles ou proprioceptive et/ou des mécanismes efférents en fonction des contraintes de chacune d'elles.

Lors d'une pratique en imagerie, l'étude de l'influence des modalités sensorielles n'est possible qu'au travers des instructions qui encouragent les sujets à utiliser une ou plusieurs modalités d'imageries. Ces modalités sont le plus souvent les modalités d'imageries visuelles (selon une perspective interne ou externe) ou la modalité d'imagerie proprioceptive. Les études examinant les différentes perspectives en imagerie visuelle ont montré que l'imagerie visuelle externe est plus efficace que l'imagerie visuelle interne dans des tâches à dominante morphocinétique comme les Katas ou les routines en gymnastique (Hardy & Callow, 1999 ; White & Hardy, 1995). L'imagerie proprioceptive favorise, lorsqu'elle est réalisée seule, l'apprentissage de tâches dans lesquelles le temps (timing) ou les coordinations inter-segmentaires sont importantes (Féry, 2003 ; Féry & Morizot, 2001), mais elle a aussi un effet bénéfique sur la précision de la forme lorsqu'elle est réalisée après une pratique en imagerie visuelle externe, comme cela a été observé chez des experts en escalade (Hardy & Callow, 1999). Bien que les études de Hardy et collaborateurs (Hardy & Callow, 1999 ; White & Hardy, 1995) soulignent le rôle d'une pratique en imagerie visuelle externe ou d'une pratique combinée (succession de séances d'imagerie visuelle et d'imagerie proprioceptive) dans des tâches dans lesquelles la forme à produire est importante, le poids respectif des modalités d'imagerie visuelle et proprioceptive sur l'amélioration de la performance doit être étudié en comparant les performances obtenues suite à une pratique en imagerie visuelle avec celles obtenues suite à une pratique en imagerie proprioceptive. Cette comparaison a été récemment examinée dans une tâche de reproduction de configurations corporelles simples réalisée sans l'aide de la vision (Robin, Toussaint & Blandin, sous presse). Les résultats montrent que seule l'imagerie proprioceptive améliore la précision des performances motrices (tests de rétention immédiate et différée), tandis que l'imagerie visuelle n'entraîne pas d'amélioration, voire conduit à leur détérioration transitoire (test de rétention immédiat). Les résultats

obtenus dans cette étude ont amené les auteurs à proposer que la pratique par imagerie visuelle ne permettrait pas de s'améliorer dans une tâche qui sollicite majoritairement le référentiel proprioceptif<sup>4</sup>, et qu'il serait alors nécessaire de maintenir constantes les modalités sensorielles dominantes de la tâche à réaliser et les modalités d'imageries sollicitées lors d'une pratique mentale.

Notons que dans cette étude, les meilleures performances découlant d'une pratique en imagerie proprioceptive ne résultent pas de capacités d'imagerie supérieures dans ce groupe, comparé au groupe d'imagerie visuelle, comme l'attestent les performances au Questionnaire en Imagerie du Mouvement (MIQ, Hall & Pongrac, 1983) recueillies en fin d'expérience (Robin, Toussaint & Blandin, sous presse).

L'étude présentée ici vise d'une part, à répliquer, dans une tâche de reproduction angulaire sollicitant les membres inférieurs, l'effet de supériorité d'une pratique en imagerie proprioceptive comparée à une pratique en imagerie visuelle au cours de laquelle une détérioration transitoire apparaît (post-test 10') (Robin et al., sous presse), mais également à déterminer l'effet des capacités d'imagerie sur l'amélioration de la précision des performances motrices. D'autre part, un groupe réalisant une pratique en imagerie mixte (sollicitation simultanée des modalités visuelle et proprioceptive) a été constitué pour tester l'hypothèse d'une extraction et d'un traitement privilégié de la modalité sensorielle dominante (modalité proprioceptive) au détriment de l'autre modalité sensorielle (modalité visuelle). La validation de cette hypothèse devrait se traduire 1) par une diminution des erreurs de repositionnement plus importante après des pratiques en imagerie proprioceptive et en imagerie mixte qu'après une pratique en imagerie visuelle, et 2) par une réduction des erreurs similaire entre les pratiques en imagerie proprioceptive et en imagerie mixte, des performances intermédiaires en imagerie mixte pouvant signifier que les sujets traitent tout autant les informations issues de la modalité visuelle (détérioration de la performance) que de la modalité proprioceptive (amélioration de la performance).

---

<sup>4</sup> Rappelons qu'un transfert intermodal (de la vision à la proprioception ou inversement) est tout à fait possible dans ce type de tâche (Euzet & Gahéry, 1995 ; 1996 ; 1998).

## Méthode

Sujet : L'échantillon était composé de 68 sujets (34 hommes et 34 femmes, âge moyen = 23,1 ans, SD = 2,8 ans), sélectionnés sur la base des scores obtenus au MIQ de Hall et Pongrac (1983). Les sujets étaient divisés en quatre groupes (cf. Tableau 4) sur la base de leur capacité d'imagerie : « bons imageurs » (IV+IP+), « mauvais imageurs » (IV-IP-), « bons imageurs visuels et mauvais imageurs proprioceptifs » (IV+IP-) et contrôle (2 sujets IV-IP-, 3 IV+IP- et 2 IV+IP+). Les sujets du groupe contrôle réalisaient une tâche neutre de lecture dont la durée correspondait à la durée des séances d'imagerie (20 minutes dans les autres groupes).

Procédure expérimentale : Le protocole expérimental comprenait quatre phases. La première (Test 0) consistait à réaliser, les yeux fermés, la tâche de reproduction de configurations angulaires<sup>5</sup>. Cette phase correspondait à un pré-test (12 essais) permettant d'évaluer le niveau de précision de base des sujets (c'est-à-dire avant la pratique mentale) dans la reproduction des positions angulaires retenues (132°, 147° et 161°). La seconde correspondait aux séances de pratique en imagerie pour les groupes expérimentaux (IV-IP-, IV+IP- et IV+IP+), et de lecture pour le groupe contrôle. Comme illustré dans le Tableau 4, chaque groupe expérimental était divisé en 3 sous-groupes qui différaient quant aux modalités d'imageries sollicitées au cours de la pratique mentale : imagerie visuelle, imagerie proprioceptive et imagerie mixte (à la fois visuelle et proprioceptive). L'expérimentateur indiquait oralement au sujet quelle position angulaire il devait simuler lors des pratiques en imagerie. Les positions angulaires utilisées au cours de cette pratique (présentation aléatoire de 30 essais pour chacune des 3 positions) étaient identiques à celles utilisées lors du Test 0. Les phases 3 et 4 étaient réalisées respectivement 10 minutes (Test 1) et 48 heures (Test 2) après la pratique en imagerie et étaient identiques au Test 0.

---

<sup>5</sup> Se reporter à la page 40 pour un descriptif de la tâche réalisée.

Tableau 5 : Procédure expérimentale utilisée dans l'expérience 1. Les Tests 0, 1 et 2 ont été réalisés en présence uniquement des informations proprioceptives (P), les sujets ayant les yeux fermés.

<i>Groupe</i>	<i>Phases expérimentales</i>		
MIQ	Test 0 12 essais	<b>Imagerie</b> 90 essais	Tests 1 et 2 12 essais
IV-IP-	P	Imagerie proprioceptive (n=7) Imagerie visuelle (n=7) Imagerie mixte (n=6)	P
IV+IP-	P	Imagerie proprioceptive (n=7) Imagerie visuelle (n=7) Imagerie mixte (n=6)	P
IV+IP+	P	Imagerie proprioceptive (n=7) Imagerie visuelle (n=7) Imagerie mixte (n=6)	P
Groupe contrôle	P	Lecture (n=7)	P

Analyse des données : L'erreur absolue (EA) et l'erreur variable (EV) propres aux différents tests réalisés (Tests 0, 1 et 2) ont été calculées à partir des erreurs de repositionnement et ont été utilisées comme variables dépendantes.

L'analyse des données s'est déroulée en 2 étapes. La première évalue l'interaction entre les facteurs capacités d'imagerie et modalités d'imagerie lors d'une pratique mentale. Des ANOVAs ont donc été réalisées avec la capacité d'imagerie (IV+IP+, IV+IP- et IV-IP-) et la modalité d'imagerie (Visuelle, Proprioceptive et Mixte) comme facteurs inter-sujets, et la phase expérimentale (Tests 0, 1 et 2) comme facteur intra-sujets. La seconde étape correspond à la comparaison des performances entre les groupes d'imagerie et le groupe contrôle, le but étant de s'assurer que l'amélioration des performances des pré- aux post-tests résulte bien du travail réalisé lors des séances d'imagerie. Des ANOVAs ont été effectuées avec la modalité

d'imagerie (Visuelle, Proprioceptive, Mixte et contrôle) comme facteur inter-sujets et la phase expérimentale (Tests 0, 1 et 2) comme facteur intra-sujets.

Résultats

### Les effets des capacités d'imagerie et des modalités d'imagerie

Les résultats des analyses réalisées sur EA révèlent un effet principal du facteur capacité d'imagerie,  $F(2, 52) = 3.73$ ,  $p < 0.05$ , qui résulte d'erreurs plus faibles dans le groupe IV+IP+ ( $2,03^\circ$ ) que dans les groupes IV+IP- ( $2,58^\circ$ ) et IV-IP- ( $2,50^\circ$ ). Un effet principal de la phase expérimentale,  $F(2, 104) = 21.53$ ,  $p < 0.05$ , ainsi qu'une interaction significative entre la modalité d'imagerie et la phase expérimentale,  $F(4, 104) = 15.92$ ,  $p < 0.05$ , ont été mis en évidence. Comme illustré sur la Figure 8 (ci-contre), les groupes d'imagerie proprioceptive et d'imagerie mixte réduisent leur erreur du Test 0 aux Test 1 et 2, sans qu'aucune différence n'apparaisse entre les deux derniers tests. En revanche, une pratique en imagerie visuelle s'accompagne d'une augmentation de l'EA du Test 0 au Test 1, celle-ci diminuant au Test 2 pour revenir à une valeur proche de celle du Test 0. Aucune différence entre les groupes n'apparaît au Test 0.

L'analyse de EV révèle uniquement des effets principaux de la modalité d'imagerie,  $F(2, 52) = 4.27$ ,  $p < 0.05$ , et de la phase expérimentale,  $F(2, 104) = 19.24$ ,  $p < 0.05$ . Les tests de Newman-Keuls indiquent que le groupe d'imagerie visuelle est plus variable ( $1,20^\circ$ ) que les groupes d'imagerie proprioceptive ( $1,04^\circ$ ) et d'imagerie mixte ( $0,93^\circ$ ). En ce qui concerne la phase expérimentale, la variabilité diminue du Test 0 ( $1,25^\circ$ ) au Test 1 ( $0,89^\circ$ ) et reste stable du Test 1 au Test 2 ( $0,95^\circ$ ).

### Des effets liés à la pratique mentale ?

L'ANOVA réalisée sur EA révèle un effet principal de la phase expérimentale,  $F(2, 128) = 14.54$ ,  $p < 0.05$ , ainsi qu'une interaction significative entre la modalité d'imagerie et la phase expérimentale,  $F(6, 128) = 12.04$ ,  $p < 0.05$ . Une partie des résultats ayant été préalablement décrite dans la première analyse, seuls les résultats permettant une comparaison entre le groupe contrôle et les groupes d'imagerie seront énoncés dans cette analyse et dans celle de EV. Comme on peut le voir sur le Figure 8, la performance du groupe contrôle reste stable tout au long des phases expérimentales.

Des différences significatives entre le groupe contrôle et les groupes d'imagerie mixte et d'imagerie proprioceptive apparaissent aux Tests 1 et 2, confirmant l'intérêt de ces pratiques d'imagerie sur l'amélioration de la performance motrice, et au Test 1 dans le groupe d'imagerie visuelle, confirmant la détérioration des performances mentionnée dans la partie précédente.

L'ANOVA réalisée sur EV révèle uniquement des effets principaux de la modalité d'imagerie,  $F(3, 64) = 3.24, p < 0.05$  et de la phase expérimentale,  $F(2, 128) = 10.22, p < 0.05$ . Il en ressort que le groupe d'imagerie visuelle est plus variable ( $1,20^\circ$ ) que le groupe contrôle ( $0,98^\circ$ ), dont la performance n'est pas significativement différente de celle des groupes d'imagerie proprioceptive ( $1,04^\circ$ ) et d'imagerie mixte ( $0,93^\circ$ ). De plus, la variabilité diminue du Test 0 ( $1,21^\circ$ ) au Test 1 ( $0,96^\circ$ ) et reste stable du Test 1 au Test 2 ( $0,97^\circ$ ).

## Discussion

Cette expérience a été réalisée : 1) pour répliquer les résultats obtenus dans l'expérience de Robin et al. (sous presse), tout en prenant en compte les différences inter-individuelles relatives aux capacités d'imagerie, et 2) pour tester la validité de l'hypothèse de spécificité (extraction et traitement privilégié de la modalité dominante) dans le cadre d'une pratique en imagerie.

Les résultats obtenus aux Tests 1 et 2 (réalisés respectivement 10' et 48 h après la pratique en imagerie) comparés à ceux obtenus au Test 0 et aux performances du groupe contrôle montrent que les pratiques en imagerie proprioceptive et en imagerie mixte sont bénéfiques à la précision de la reproduction des configurations angulaires. Au contraire, une pratique en imagerie visuelle n'a pas d'impact significatif sur la performance (Test 2) ou entraîne une détérioration transitoire de la performance (Test 1). Bien que ces résultats confirment ceux déjà rapportés par Robin et al. (sous presse), ils semblent cependant aller à l'encontre des résultats obtenus dans les travaux de Hardy et Callow (1999) qui ont montré qu'une pratique en imagerie visuelle externe permettait une amélioration de la performance dans des tâches complexes dans lesquelles la forme est une composante principale (gymnastique, escalade). On notera cependant la plus

grande complexité motrice des tâches retenues par Hardy et Callow (1999) comparée à la tâche retenue dans notre étude (mobilisation d'un seul degré de liberté). Pour Hardy (1997), l'amélioration obtenue suite à une pratique en imagerie visuelle externe, dans une tâche à dominante morphocinétique, s'expliquerait par le fait que les images générées fournissent des informations supplémentaires, comme « voir les positions précises et les mouvements qui sont nécessaires à une bonne performance », qui ne sont pas disponibles au cours de la pratique réelle. Selon nous, il est probable que ces informations supplémentaires soient utiles dans des tâches complexes, sollicitant de nombreux degrés de libertés, mais que leur rôle soit négligeable dans des tâches de reproduction de configurations angulaires simples.

Pris dans leur ensemble, ces résultats confirment l'influence bénéfique de la modalité proprioceptive lors de la simulation mentale d'une action réalisée sans l'aide de la vision. De plus, ces résultats ne remettent pas en question l'idée préalablement avancée par Robin et al. (sous presse) sur la nécessité de maintenir constante la modalité dominante de la tâche et la modalité d'imagerie utilisée lors d'une pratique mentale pour optimiser la performance motrice.

Les résultats des sujets ayant réalisé une pratique en imagerie mixte pourraient être interprétés comme un argument en faveur d'une validation de l'hypothèse de spécificité dans le cadre d'une pratique mentale. La similarité des performances entre les groupes d'imagerie proprioceptive et d'imagerie mixte pourrait effectivement résulter d'un traitement exclusif de la modalité proprioceptive, les effets délétères de l'imagerie visuelle ne venant pas se soustraire aux bénéfices liés au traitement de la modalité proprioceptive. Rappelons que les consignes données aux sujets étant focalisées tant sur les modalités d'imagerie que sur la nécessité de produire une performance la plus précise possible, cette interprétation sous-entend, selon nous, le non respect par les sujets des consignes d'imageries probablement parce que non conformes à l'obtention d'une précision optimale.

On n'oubliera toutefois pas que pour pouvoir être généralisée à la pratique mentale, l'hypothèse de spécificité doit être validée dans des tâches dont le succès repose, cette fois-ci, sur le traitement privilégié de la modalité visuelle. Dans ce cas, une similitude des performances devrait être observée entre pratiques en imagerie visuelle et

en imagerie mixte, matérialisée par un contrôle plus précis des mouvements en post-tests, alors qu'aucun bénéfice ou un bénéfice moindre est attendu suite à une pratique en imagerie proprioceptive.

Cette étude avait aussi comme objectif d'évaluer l'influence des capacités d'imagerie sur la performance motrice. Les résultats obtenus montrent que dans une tâche à dominante proprioceptive, les sujets ayant des facilités à réaliser l'imagerie visuelle et l'imagerie proprioceptive (IV+IP+) ont obtenu des performances supérieures aux sujets qui avaient des difficultés à réaliser un seul (IV+IP-) ou les deux types d'imagerie (IV-IP-). Cette supériorité de performance des sujets « bons imageurs » par rapport aux sujets « mauvais imageurs » quelles que soient les phases expérimentales, et notamment avant même qu'une pratique en imagerie ait lieu (Test 0), indique une relation possible entre l'efficacité du contrôle afférent et les capacités d'imagerie. En effet, les sujets les plus précis dans notre tâche s'évaluent au MIQ (Hall & Pongrac, 1983) comme présentant de bonnes capacités d'imagerie, tandis que les sujets éprouvant le plus de difficultés s'estiment « mauvais imageurs ». Ainsi, l'estimation de ses propres capacités d'imagerie pourrait être influencée par le niveau de précision qu'un individu est capable d'atteindre. On notera que ce constat n'est valable que pour la modalité sensorielle dominante (ici la proprioception), le niveau de précision des sujets au Test 0 ne variant pas en fonction des capacités d'imagerie visuelle (de plus faibles performances apparaissent tant dans le groupe IV+IP- que dans le groupe IV-IP-).

Les résultats de cette étude ne révèlent pas d'interaction significative entre les facteurs capacité d'imagerie et modalité d'imagerie alors qu'une amélioration différente entre pratiques en imagerie proprioceptive, mixte et visuelle chez des sujets « bons » et « mauvais imageurs » était attendue. Des résultats similaires ont été rapportés par Hall, Buckolz et Fishburne (1989) dans une tâche de reproduction de formes graphiques. Selon nous, l'absence d'interaction pourrait être expliquée par le fait que les sujets n'ont peut-être pas eu suffisamment d'essais d'encodage pour développer une représentation adéquate de la tâche à réaliser. Cette idée pourrait être appuyée par les résultats de l'étude de Hardy et Callow (1999) montrant que la réalisation d'une pratique en imagerie proprioceptive suite à une pratique en imagerie visuelle induit une amélioration de la performance chez des experts mais pas chez des novices. D'autres auteurs soulignent également que l'utilisation efficace de l'imagerie proprioceptive

nécessite une certaine expérience dans les tâches utilisées (Isaac & Marks, 1992 ; Mahoney & Avenir, 1977). Il nous semble donc que dans une tâche de reproduction de configurations corporelles simples, une expérience minimale dans la tâche pourrait favoriser l'expression des différences inter-individuelles relatives aux capacités d'imagerie. Ce point est abordé dans l'expérience suivante.

Expérience 2 : A propos des capacités d'imagerie lors d'une pratique sollicitant l'imagerie proprioceptive<sup>6</sup>.

## Introduction

Les résultats de l'expérience 1 n'apportent aucune information pertinente sur l'influence des différences inter-individuelles en matière d'imagerie lors d'une pratique mentale axée sur un traitement des modalités visuelles et/ou proprioceptives. Or cet effet des capacités d'imagerie, bien que peu étudié, est connu dans la littérature. Dans une tâche de reproduction de patrons de mouvements, les bénéfices d'une pratique en imagerie proprioceptive sont plus élevés chez des sujets « bons imageurs » (Goss et al., 1986). On notera cependant que la méthode employée par les auteurs alterne systématiquement un essai de pratique mentale et un essai de pratique physique. Dans leur étude, la phase d'apprentissage continuait tant que les performances des sujets ne rentraient pas dans les critères de réussite fixés pour chaque patron (une bande de 2 cm de large autour des patrons). Les principaux résultats obtenus montrent que les sujets IV+IP+ ont besoin de moins d'essais d'acquisition que les sujets IV+IP- pour réaliser les patrons de mouvement tout en respectant les critères de précision. De plus, les sujets IV+IP- apprennent, à leur tour, plus rapidement la tâche que les sujets IV-IP<sup>-7</sup>. Ces résultats suggèrent que dans le cas d'une pratique en imagerie proprioceptive, les capacités d'imagerie tant visuelle que proprioceptive, influencent l'apprentissage moteur, de moins bonnes performances étant observées chez les sujets rapportant avoir des difficultés en imagerie (quelle que soit la modalité considérée : IV-IP- < IV+IP- < IV+IP+).

Selon nous, la présence d'essais de pratique physique serait bénéfique à l'expression des différences inter-individuelles quant à l'efficacité avec laquelle sera réalisée une pratique en imagerie. Il est en effet possible qu'une expérience minimale de la tâche soit nécessaire pour que des sujets « bons imageurs » puissent tirer profit de leur plus grande facilité à simuler des actions motrices (comme souligné également en

---

<sup>6</sup> Robin, N., Toussaint, L., & Blandin, Y. (en cours). Effects of mental practice on the enhancement of accurate body configurations reproduction.

<sup>7</sup> Rappelons que dans la littérature, l'ensemble des études examinant l'effet des capacités d'imagerie lors d'une pratique mentale distingue essentiellement trois groupes de sujets (IV+IP+, IV+IP- et IV-IP-), peu d'individus rapportant avoir des difficultés en imagerie visuelle et des facilités en imagerie proprioceptive (IV-IP+).

fin de discussion de l'expérience précédente). Par conséquent, le but de cette étude est d'examiner, dans une tâche de positionnement segmentaire identique à celle utilisée dans l'expérience 1, si une expérience minimale dans la tâche favorise l'expression des différences inter-individuelles relatives aux capacités d'imagerie. Dans ce cas, contrairement aux données rapportées dans l'expérience 1, les sujets IV+IP+ devraient obtenir une performance supérieure aux sujets IV-IP- et IV+IP- eux-mêmes étant meilleurs que les sujets IV-IP- suite à une pratique en imagerie proprioceptive.

## Méthode

Sujets : Trente neuf sujets (19 femmes et 20 hommes, âge moyen = 24,3 ans, SD = 2,9 ans), ont été sélectionnés à partir des scores obtenus au MIQ (Hall & Pongrac, 1983). Comme pour l'expérience 1, les sujets ont été répartis en 3 groupes de capacités d'imagerie : IV-IP-, IV+IP- et IV+IP+.

Procédure expérimentale : Après avoir évalué le niveau initial des sujets (Test 0), ceux-ci ont réalisé 15 essais de pratique physique (avec connaissance du résultat sur l'amplitude de l'erreur de repositionnement), dans des conditions sollicitant les mêmes modalités sensorielles que celles requises par la procédure d'imagerie (condition P pour le groupe d'imagerie proprioceptive / condition VP pour le groupe d'imagerie mixte). Tous les sujets réalisaient ensuite le Test 1, identique au Test 0, avant la phase de pratique en imagerie (voir tableau 6) et terminaient par des post-tests 10' (Test 2) et 48h (Test 3). Dans cette étude, nous ne nous sommes intéressés qu'à la performance des groupes expérimentaux qui se sont améliorés lors de l'expérience 1, c'est-à-dire des groupes d'imagerie proprioceptive et mixte.

Tableau 6 : Procédure expérimentale utilisée dans l'expérience 2. Les Tests 0, 1, 2 et 3 ont été réalisés en présence uniquement des informations proprioceptives (P), les sujets ayant les yeux fermés. IP = pratique en imagerie proprioceptive, IM = pratique en imagerie mixte. Lors de la pratique physique les sujets ont réalisé 15 essais en présence (V+P) ou non (P) des informations visuelles.

Groupes	<i>Phases expérimentales</i>				
MIQ	Test 0 12 essais	Pratique physique 15 essais	Test 1 12 essais	Pratique en imagerie 90 essais	Tests 2 et 3 12 essais
	P	P	P	IP	P
IV-IP-	P	V+P	P	IM	P
	P	P	P	IP	P
IV+IP-	P	V+P	P	IM	P
	P	P	P	IP	P
IV+IP+	P	V+P	P	IM	P

Analyse des données : L'Erreur Absolue EA et l'Erreur Variable ont été calculées à partir des erreurs de repositionnement et ont été soumises à des analyses de variance avec les capacités d'imagerie (IV-IP-, IV+IP- et IV+IP+) et les modalités d'imagerie (IP et IM) comme facteurs inter-sujets et les phases expérimentales (Tests 0, 1, 2 et 3) comme facteur intra-sujets.

## Résultats

Les résultats obtenus pour EA révèlent un effet principal de la phase expérimentale,  $F(3, 99) = 245.9$ ,  $p < 0.01$ , ainsi qu'une interaction significative entre les capacités d'imagerie et la phase expérimentale,  $F(6, 99) = 6.48$ ,  $p < 0.05$ . Comme illustré sur la Figure 9 (ci-contre), EA diminue du Test 0 au Test 1 chez l'ensemble des sujets. Par contre, des effets différents apparaissent aux Tests 2 et 3 en fonction des capacités d'imagerie. Une amélioration plus forte des performances est observée chez les sujets « bons imageurs » (IV+IP+) comparés aux « mauvais imageurs » (IV-IP-) 10' et 48h après la pratique mentale. Chez les « mauvais imageurs » (IV-IP-), l'amélioration n'est que transitoire (Test 2), les résultats étant identiques entre les Tests 1 et 3. Au Test 3, les performances du groupe IV+IP- se situent à un niveau intermédiaire de celles des groupes IV+IP+ et IV-IP-, tandis qu'elles ne diffèrent pas du groupe IV+IP+ au Test 2.

Les résultats de l'analyse réalisée sur EV révèlent un effet principal de la phase expérimentale,  $F(3, 99) = 8.27, p < 0.05$ , ainsi qu'une interaction significative entre les capacités d'imagerie et la phase expérimentale,  $F(6, 99) = 4.03, p < 0.05$ . L'analyse post-hoc, illustrée Figure 10 (ci-contre), révèle une diminution de la variabilité chez les sujets « bons imageurs » après 15 essais de pratique physique (Test 0 versus Test 1) puis une stabilisation de leur performance aux Tests suivants (Test 1 versus Tests 2 et 3). Les performances des « mauvais imageurs » (IV-IP-) et des (IV+IP-) sont quant à elles restées stables tout au long des différentes phases expérimentales et étaient inférieures à celle du groupe IV+IP+ au Test 3.

## Discussion

L'objectif de cette étude consistait à examiner l'effet des différences inter-individuelles relatives aux capacités d'imagerie après une expérience minimale de la tâche à réaliser. Les résultats obtenus dans cette étude montrent que dans une tâche à dominante proprioceptive, les sujets « bons imageurs » (IV+IP+) ont obtenu des performances supérieures à court et long terme (Tests 2 et 3) aux sujets « mauvais imageurs » et aux sujets « intermédiaires » (IV+IP-) à long terme. De plus, les sujets IV+IP- ont obtenu des performances supérieures aux sujets IV-IP- 48 heures après la pratique en imagerie.

Cette supériorité des performances des sujets « bons imageurs » par rapport aux sujets « mauvais imageurs » confirme les résultats obtenus dans des tâches de reproduction de formes géométriques (Goss et al., 1986) ou des tâches de reproduction de figures en trampoline (Isaac, 1992). En accord avec nos prédictions, les résultats de cette étude révèlent une interaction significative entre le facteur capacité d'imagerie et les phases expérimentales. Ces résultats n'ayant pas été observés dans l'expérience précédente, il semblerait que le fait de réaliser 15 essais de pratique physique avec connaissance du résultat avant une pratique en imagerie favorise l'expression des différences inter-individuelles relatives aux capacités d'imagerie parce que permettant la construction d'une représentation des différentes configurations corporelles à reproduire. C'est à partir de cette représentation que la pratique en imagerie sera réalisée.

Dans le cadre de cette étude, contrairement à l'expérience précédente, les sujets présentent un niveau initial (Test 0) similaire quelles que soient leurs capacités d'imagerie. Les différences inter-individuelles s'expriment uniquement après la séance d'imagerie que celle-ci sollicite une imagerie proprioceptive ou mixte. Il apparaît alors que les capacités d'imagerie affectent les performances motrices même lorsque la modalité d'imagerie évaluée (IV+/IV-) ne correspond pas à la pratique d'imagerie réalisée (imagerie proprioceptive). On remarquera effectivement que dans cette tâche à dominante proprioceptive, une plus grande facilité en imagerie visuelle est bénéfique à une pratique d'imagerie proprioceptive ou mixte. Ce résultat, rapporté également par Goss et al. (1986), suggère que les capacités d'imagerie générales et non pas spécifiques à une modalité sensorielle donnée, sont à prendre en compte pour prédire l'efficacité d'une pratique en imagerie (cf. discussion générale pour une réflexion plus approfondie).

Pour conclure, il apparaît donc que la capacité d'imagerie n'influence pas seulement la rapidité (nombre d'essais) avec laquelle un patron de mouvement simple peut être appris (Hall et al., 1986), mais aussi la précision de la reproduction de configurations simples. Malgré les limites liées à l'utilisation de questionnaires subjectifs, cette étude confirme la validité du MIQ (Atienza et al., 1994) et sa bonne validité prédictive pour des tâches simples lorsque l'on s'intéresse au facteur capacité d'imagerie (Hall et al., 1986).

Le lien entre les résultats des expériences 1 et 2 et la notion de spécificité sera évoqué en partie discussion générale (cf. p 80-82).

### Expérience 3 : Sur l'importance d'une identité entre modalités sensorielles dominantes de la tâche à réaliser et modalités d'imagerie<sup>8</sup>

#### Introduction

Les études évaluant le rôle des modalités d'imagerie lors de la pratique en imagerie suggèrent que ce rôle puisse être modulé par les caractéristiques de la tâche à réaliser (Féry, 2003 ; Hardy & Callow, 1999 ; White & Hardy, 1995). Récemment, Robin et al. (sous presse) se sont intéressés au poids respectif des modalités d'imageries pour l'obtention d'une performance motrice optimale. La comparaison entre imagerie visuelle et imagerie proprioceptive a été examinée dans une tâche de reproduction de configurations corporelles simples en l'absence de vision. Les résultats de cette étude, confirmés par ceux obtenus dans l'expérience 1, montrent que l'imagerie proprioceptive améliore la reproduction de l'angle de l'articulation du genou, tandis que l'imagerie visuelle entraîne une détérioration transitoire de la performance. Les auteurs ont ainsi proposé qu'il pourrait être probable que l'efficacité d'une pratique mentale repose sur la nécessité de maintenir constante la modalité sensorielle dominante de la tâche et la modalité d'imagerie sollicitée par les instructions. De plus, cette suggestion serait en accord avec l'idée de l'existence de mécanismes communs entre les actions réelles et les actions imaginées en ce qui concerne les processus d'intégration sensorielle. En effet, les recherches en pratique physique rapportent qu'un élément clé concernant l'efficacité des conditions de pratique est la source d'information afférente utilisée pour contrôler les actions. L'hypothèse de spécificité des conditions d'apprentissage, telle que formulée par Tremblay et Proteau (1998), propose effectivement qu'en fonction de la tâche réalisée, il existe une source d'information pertinente qui permet l'obtention d'une performance optimale. Une fois que sa dominance a été établie, cette information sera traitée prioritairement au détriment des autres sources d'information. Cette hypothèse a été confirmée par de nombreux travaux expérimentaux qui ont rapporté la dominance des informations visuelles ou proprioceptive et/ou des mécanismes efférents en fonction des contraintes de tâche (Elliott & Jaeger, 1988 ; Proteau et al., 1987 ; Robin et al., 2004 ; Tremblay & Proteau, 1998 ; Tremblay et al., 2001).

---

<sup>8</sup> Robin, N., Toussaint, L., Blandin, Y et Proteau, L. (Submitted). Do the dominant sensory modality of the task and the imagery modality used in mental practice be maintained constant to ensure optimal performance? *Research Quarterly of Experimental Science*.

Le but de cette étude est d'examiner si, dans une tâche qui dépend principalement des informations visuelles, la modalité visuelle sollicitée lors d'une pratique en imagerie serait la plus efficace pour conduire à une performance optimale. La tâche consistait à réaliser des mouvements de pointage avec la jambe gauche en direction de trois cibles lumineuses (voir Figure 7). Le protocole expérimental était divisé en deux sessions : pratique physique et pratique en imagerie.

La phase de pratique physique était réalisée dans le but de confirmer la dominance visuelle et de construire une bonne représentation de la tâche nécessaire à la réalisation de l'imagerie (cf. expérience 2). Deux groupes ont réalisé la tâche de pointage soit dans une condition laser-on soit dans une condition laser-off (avec connaissance de résultat) avant de participer à des tests en condition laser-off. Selon l'hypothèse de spécificité des conditions d'apprentissage, la dominance visuelle devrait se traduire par 1) une meilleure performance en acquisition dans la condition laser-on par rapport à la condition laser-off et 2) une plus forte détérioration de la précision des mouvements dans le groupe laser-on lors de son transfert en condition laser-off par rapport au groupe laser-off.

La pratique en imagerie a été réalisée dans le but d'évaluer le poids respectif des modalités d'imageries (visuelle et/ou proprioceptive) lors de la simulation des mouvements. La dominance de la vision, si elle confirmée au cours de la première session, devrait entraîner une plus grande amélioration de la précision des pointages suite à une pratique en imagerie visuelle comparée à une pratique en imagerie proprioceptive. De plus, en accord avec l'hypothèse de spécificité des conditions d'apprentissage établie pour la pratique physique et le postulat d'une équivalence fonctionnelle entre pratique physique et pratique en imagerie, on s'attend à ce qu'une pratique en imagerie mixte (imageries visuelle et proprioceptive simultanément) conduise à de meilleures performances qu'une pratique sollicitant l'imagerie proprioceptive, tandis qu'aucune différence n'est attendue avec une pratique en imagerie visuelle. Les informations visuelles seraient traitées prioritairement au détriment des informations proprioceptives.

## Méthode

Soixante sujets (37 hommes et 23 femmes, âge moyen = 22.5 ans, SD = 3.2 ans) sélectionnés sur la base des résultats obtenus au MIQ ont réalisé cette étude. Tous les sujets étaient bons imageurs (IV+IP+). Comme partiellement décrit dans la partie méthode commune aux expériences réalisées au cours de la thèse (cf. pages 40-41), la tâche utilisée dans cette troisième expérience consistait à réaliser des pointages en direction de cibles lumineuses au moyen d'un laser fixé sur le mollet de la jambe gauche du sujet, tout en respectant certaines contraintes temporelles (prise en compte de la loi de Fitts, 1954). Pour chacune des cibles retenues (cf. Figure 7), les temps de mouvement se situaient entre 650 et 900 ms pour la première cible, entre 900 et 1250 ms pour la seconde et entre 1100 et 1450 ms pour la troisième (correspondant à des vitesses comprises entre 0,63 et 0,89 m/s).

La procédure expérimentale, illustrée Figure 11 (ci-dessous), était divisée en plusieurs phases. Le niveau de base des sujets a été évalué dans un 1<sup>er</sup> temps en condition laser-off et sans connaissance de résultat (Test 0, 15 essais). Ils réalisaient ensuite 45 essais de pratique physique en condition laser-off ou laser-on (avec CR) avant d'être transférés dans une condition laser-off (Test 1, 15 essais). La quantification des détériorations en transfert en fonction des conditions de pratique (laser-on/off) permet d'examiner le poids de la modalité visuelle dans notre tâche (cf. Proteau, 1992).

Pour la suite de l'expérience, seuls les sujets ayant participé à une phase de pratique physique en condition laser-on ont été retenus, les sujets ayant participé en condition laser-off servent de groupe contrôle pour évaluer la dominance visuelle de la tâche réalisée. Quatre groupes de pratique en imagerie ont été constitués (cf. Figure 11) : groupe ON-IV (imagerie visuelle externe), groupe ON-IP (imagerie proprioceptive), groupe ON-IM (imagerie mixte) et groupe ON-Cont (groupe contrôle réalisant une tâche de lecture). Les sujets ont finalement réalisé deux tests en condition laser-off 10 minutes (Test 2) et 24 heures (Test 3) après la pratique en imagerie.

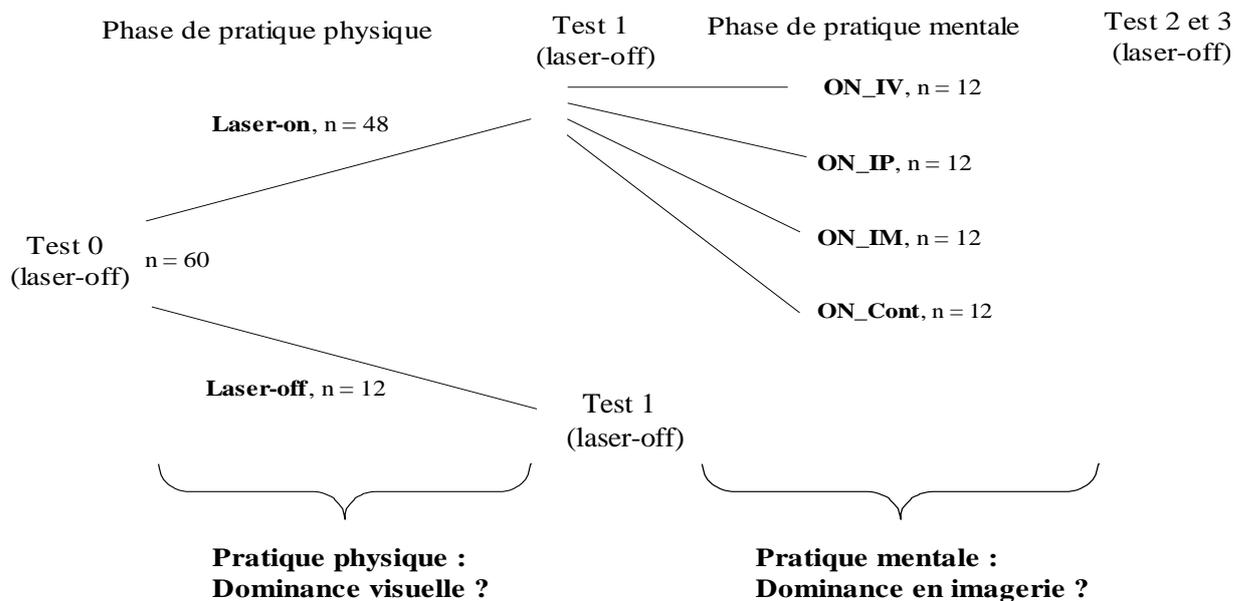


Figure 11 : Illustration de la procédure expérimentale. Le nom des groupes fait référence respectivement aux conditions de pratique physique (ON : laser-on / OFF : laser-off) et aux conditions d'imagerie (IV : imagerie visuelle, IP : imagerie proprioceptive, IM : imagerie mixte, Cont : groupe contrôle réalisant une tâche de lecture). Les Tests 1 et 2 ont été réalisés 10 minutes après les phases de pratique physique et d'imagerie respectivement, le Test 3 24 heures après la phase d'imagerie.

Analyse des données : L'erreur quadratique moyenne (EQM) a été calculée à partir des erreurs de repositionnement et a été utilisée comme indice de la précision spatiale (aucune différence significative n'apparaissait entre les erreurs de biais : EA et de variabilité : EV). La vitesse d'exécution des mouvements correspond à notre deuxième variable dépendante.

## Résultats

### 1) Analyse de la pratique physique

Deux analyses ont été réalisées, la première évaluant l'importance des conditions sensorielles lors des 45 essais de pratique (laser-on/off), la seconde évaluant les effets

due à la suppression visuelle sur la précision des performances (comparaison fin d'acquisition, Test 1).

#### Importance des conditions de pratique (laser-on/off)

Les 45 essais de pratique physique ont été séparés en 3 blocs de 15 essais. Les variables dépendantes ont été soumises à une ANOVA avec le groupe (4 groupes en laser-on et 1 groupe en laser-off) comme facteur inter-sujets et les 3 blocs de pratique comme facteur intra-sujets.

Les analyses statistiques réalisées sur les vitesses ne révèlent pas d'effet principal ou d'interaction entre les différents facteurs ( $p > .05$ ). Les vitesses avoisinent 0.75 m/s ( $\pm 0.04$  m/s) quelle que soit la phase expérimentale considérée.

L'ANOVA réalisée sur l'EQM révèle un effet principal des groupes,  $F(4,55) = 33.53$ ,  $p < .001$ , et des blocs,  $F(2, 110) = 5.29$ ,  $p < .01$ , ainsi qu'une interaction significative entre ces 2 facteurs,  $F(8, 110) = 7.30$ ,  $p < .001$ . Comme illustré sur la Figure 12 (ci-contre), l'EQM diminue du bloc 1 au bloc 3 en condition laser-off (Newman-Keuls,  $p < .001$ ), tandis qu'elle reste stable en condition laser-on. Cependant, la précision des pointages demeure inférieure en condition de laser-off par rapport à la condition laser-on.

#### Comparaison fin d'acquisition, Test 1

Seuls les résultats obtenus au cours des 15 derniers essais de la phase de pratique physique étaient inclus dans cette analyse, considérés comme représentatifs de la performance des sujets en fin d'acquisition. Les variables dépendantes étaient soumises à une ANOVA avec le groupe ( $n = 5$ ) comme facteur inter-sujets et la phase expérimentale (bloc 3 versus Test 1) comme facteur intra-sujets.

L'ANOVA réalisée sur les vitesses ne révèle pas d'effet principal ou d'interaction entre les différents facteurs ( $p > .05$ ). Quels que soient le groupe et la phase expérimentale, les vitesses sont en moyenne de 0.75 m/s ( $\pm 0.03$  m/s).

L'ANOVA réalisée sur l'EQM révèle uniquement une interaction significative entre le groupe et la phase expérimentale,  $F(4, 55) = 7.64, p < .001$ . Comme illustré sur la Figure 12, l'EQM augmente de la fin de la phase d'acquisition au Test 1 en condition laser-on (pour les 4 groupes,  $p < .001$ ), tandis que la performance reste stable du Bloc 3 au Test 1 en condition laser-off.

La stabilité des performances du groupe laser-off indique que la suppression de la CR au test 1 ne s'accompagne pas d'une détérioration des performances. De ce fait, les détériorations des performances du groupe laser-on au Test 1 peuvent être interprétées comme résultant de la suppression de la vision du laser. Cette importance de la modalité visuelle se retrouve également lors de la phase d'apprentissage, les erreurs étant plus faibles en condition laser-on (versus laser-off).

## 2) Analyse de la pratique en imagerie

Rappelons, comme illustré sur la Figure 11, que seuls les 48 sujets ayant réalisé la phase de pratique en condition laser-on ont participé à la phase de pratique en imagerie ou à une pratique neutre (groupe contrôle). Les variables dépendantes étaient soumises à des ANOVA avec le groupe (ON-IV, ON-IP, ON-IM et ON-Cont) comme facteur inter-sujets et la phase expérimentale (Tests 0, 2 et 3) comme facteur intra-sujets.

Les analyses statistiques réalisées sur les vitesses ne révèlent pas d'effet principal ni d'interaction significative ( $ps > .05$ ). Les vitesses sont en moyenne de 0.75 m/s ( $\pm 0.06$  m/s).

L'ANOVA réalisée sur l'EQM révèle un effet principal du groupe,  $F(3, 44) = 9.95, p > .001$ , et de la phase expérimentale,  $F(2, 88) = 5.70, p < .001$ , ainsi qu'une interaction significative entre ces deux facteurs,  $F(6, 88) = 6.81, p < .001$ . Comme illustré sur la Figure 12 (ci-dessus), l'EQM diminue aux Tests 2 et 3 après une pratique en imagerie visuelle (groupe ON-IV) et une pratique en imagerie mixte (groupe ON-IM), alors qu'aucune variation n'est observée suite à une pratique en imagerie proprioceptive (groupe ON-IP) ou à une tâche neutre (groupe ON-Cont). De plus, l'EQM est plus faible dans le groupe ON-IV que dans le groupe ON-IM. Quels que

soient les groupes, l'EQM ne varie pas entre les Tests 2 et 3 (réalisés respectivement 10' et 24h après la pratique en imagerie).

## Discussion

L'objectif de cette étude était d'examiner le poids des modalités d'imagerie sur l'évolution de la précision des pointages, sensés solliciter davantage la modalité visuelle. Deux analyses ont été réalisées : la première utilise un paradigme de transfert d'apprentissage pour évaluer la modalité sensorielle dominante dans la tâche ; la seconde examine les effets des modalités d'imageries (visuelle et/ ou proprioceptive), utilisées au cours de la pratique en imagerie, sur la précision des pointages.

### Dominance sensorielle suite à la pratique physique

Les résultats obtenus suite à la pratique physique montrent que les groupes qui ont réalisé les pointages en condition laser-on et qui disposaient de ce fait des informations visuelles et proprioceptives, ont fait moins d'erreurs de pointage que le groupe en condition laser-off qui ne disposait que des informations proprioceptives. Ces résultats similaires à ceux rapportés par Proteau et collaborateurs pour des tâches de pointage (Proteau, 1992 ; Proteau & Carnahan, 2001 ; Proteau et al., 1987 ; Tremblay & Proteau, 1998) confirment que la vision fournit des informations indispensables à la précision des pointages quels que soient les effecteurs (pieds ou main). Les résultats obtenus au Test 1, réalisé après 45 essais de pratique physique, confirment la dominance de la vision induite par la production de pointages vers des cibles continuellement visibles. Effectivement, la suppression des indices visuels dynamiques fournis par la vision du laser, lors du Test 1, a eu des conséquences néfastes sur la performance des pointages dans le groupe laser-on, tandis que la suppression de la connaissance du résultat (groupe laser-off) ne perturbe pas les sujets. Considérés dans leur ensemble, ces résultats confirment que les indices visuels dynamiques disponibles dans ce type de tâche dominant les autres sources d'informations sensorielles, notamment la proprioception, pour répondre aux contraintes de précision.

### Dominance sensorielle suite à la pratique en imagerie

Dans cette expérience, l'évaluation de la modalité sensorielle dominante était dans un premier temps nécessaire afin d'examiner, dans un deuxième temps, si une dominance sensorielle similaire pouvait être obtenue suite à une pratique en imagerie. La modalité d'imagerie joue-t-elle un rôle spécifique sur la précision des mouvements de pointage au cours d'une pratique en imagerie ? Les résultats obtenus aux Tests 2 et 3 (réalisés respectivement 10 minutes et 48 heures après la pratique en imagerie), comparés à ceux obtenus lors du test initial (Test 0), montrent que seules les pratiques en imagerie visuelle et mixte ont entraîné une amélioration de la performance des pointages (Figure 12). Celle-ci est d'ailleurs supérieure pour une pratique en imagerie visuelle par rapport à une pratique en imagerie mixte. Ces résultats confirment l'influence positive d'une pratique en imagerie visuelle sur la précision des pointages vers des cibles continuellement visibles.

Cette congruence entre modalité sensorielle dominante de la tâche et modalité d'imagerie a été préalablement observée dans des expériences qui utilisaient une tâche de reproduction de configurations corporelles simples (Robin et al., sous presse et expérience 1), dans lesquelles seules les informations proprioceptives étaient disponibles. Dans ce cas, l'imagerie proprioceptive a permis une amélioration de performance supérieure à l'imagerie visuelle. Les résultats de cette troisième étude et ceux obtenus dans l'expérience 1 confirment l'idée préalablement avancée par les auteurs sur la nécessité de maintenir constantes les modalités sensorielles dominantes de la tâche et les modalités d'imagerie utilisées au cours de la pratique mentale pour conduire à une performance motrice optimale. Une telle interprétation pourrait s'apparenter à la notion de spécificité des conditions d'apprentissage développée par des chercheurs qui ont examiné l'apprentissage en pratique physique dans des conditions sensorielles spécifiques (Coull, Tremblay, & Elliott, 2001 ; Proteau & Carnahan, 2001 ; Tremblay & Proteau, 1998 ; Robin et al., in press ; Soucy & Proteau, 2001) : quelle que soit la tâche, parmi les sources d'informations disponibles l'une d'entre elle est déterminante pour obtenir une performance optimale.

Qu'apporte l'analyse de la performance obtenue pour le groupe qui a réalisé une pratique en imagerie mixte (groupe ON-IM) ? Comme nous l'avons mentionné en

introduction, si une dominance visuelle dans la tâche est confirmée, le groupe ayant réalisé une pratique en imagerie mixte (ON-IM) devrait obtenir un niveau de performance supérieur à celui du groupe d'imagerie proprioceptive (ON-IP), mais similaire à celui du groupe d'imagerie visuelle (ON-IV) (traitement exclusif de la modalité visuelle). De tels résultats permettraient la généralisation de l'hypothèse de spécificité des conditions d'apprentissage à la pratique mentale. Les données rapportées dans cette étude invalident cette hypothèse. La précision du groupe ON-IM était significativement moindre que celle du groupe ON-IV. Cette amélioration moindre du groupe ON-IM pourrait s'expliquer de plusieurs façons : 1) la performance en imagerie mixte cumule les effets bénéfiques de l'imagerie visuelle et la stagnation observée en imagerie proprioceptive, expliquant le niveau intermédiaire observé dans ce groupe ; 2) réaliser une pratique en imagerie mixte nécessite de réaliser simultanément l'imagerie visuelle externe (perspective à la troisième personne) avec l'imagerie proprioceptive (perspective à la première personne). Cette combinaison de deux perspectives différentes pourrait être trop difficile (voire impossible) à réaliser. Par conséquent, il serait possible que les sujets alternent les pratiques en imagerie visuelles et proprioceptives au cours des essais consécutifs. Il est possible alors qu'ils aient besoin de plus d'essais pour établir que l'imagerie visuelle est la modalité d'imagerie la plus pertinente pour améliorer la précision des pointages ; 3) la pratique en imagerie mixte pourrait induire des différences inter-individuelles : préférence pour l'imagerie visuelle chez certains, pour l'imagerie proprioceptive chez d'autres. L'examen des données individuelles ne confirme pas cette explication. D'autres études nécessitent d'être conduites afin de déterminer les processus impliqués par la pratique en imagerie mixte (voir perspectives de recherche, p 86).

En résumé, les principaux résultats de cette expérience supportent l'idée qu'il est nécessaire de maintenir constante la modalité sensorielle dominante de la tâche et la modalité d'imagerie utilisée au cours de la pratique en imagerie mentale. Ce point de vu a été précédemment suggéré dans l'expérience 1 pour l'imagerie proprioceptive. Nous confirmons que c'est aussi valable lorsque les indices visuels apparaissent être les informations sensorielles dominantes. De plus, nous avons montré que focaliser l'apprentissage par imagerie sur le traitement de l'information sensorielle dominante est crucial pour la performance motrice, l'apprentissage étant de moins bonne qualité lorsque les autres modalités sensorielles sont sollicitées.

Expériences 4 et 5 : Influence des modalités d'imagerie en fonction des contraintes de tâche et de la quantité de pratique<sup>9</sup>.

## Introduction

Les résultats de plusieurs expériences utilisant des paradigmes expérimentaux variés montrent que la pratique physique réelle et la pratique en imagerie sont fonctionnellement similaires (Decety, 1996 ; Jeannerod, 1999 pour revues). Les expériences 1 et 3 ont apporté des arguments supplémentaires en faveur de cette équivalence. En effet dans l'expérience 1 dans laquelle l'accent était mis sur le traitement des indices proprioceptifs (reproduction d'une position angulaire avec la jambe en l'absence d'indices visuels) les résultats ont montré une diminution de l'erreur angulaire après 90 essais de pratique en imagerie proprioceptive, tandis que 90 essais d'imagerie visuelle ont entraîné une détérioration transitoire de la performance. Dans l'expérience 3, au cours de laquelle l'accent était mis sur le traitement des indices visuels (pointages visuellement guidés) les résultats ont montré que 90 essais en imagerie visuelle ont permis une amélioration de la précision des pointages, tandis que 90 essais en imagerie proprioceptive n'ont eu aucun impact sur la précision des pointages.

Compte tenu de la similarité fonctionnelle entre pratique physique et pratique en imagerie (Jeannerod, 1999), on peut alors s'appuyer sur les résultats des études en pratique physique pour comprendre la nature des images sensorielles à solliciter lors d'une pratique mentale. L'évolution du rôle des modalités sensorielles lors de la pratique réelle peut-être expliquée par l'hypothèse de spécificité des conditions d'apprentissage (Tremblay & Proteau, 1998). Cette hypothèse postule que dans toute tâche motrice il existe une source d'information sensorielle pertinente qui permet l'obtention d'une performance optimale. Une fois que sa dominance a été établie, cette information sera traitée en priorité au détriment du traitement des autres sources d'informations. Cette hypothèse, développée dans le contexte d'une pratique physique, a été confirmée dans de nombreuses études expérimentales qui ont rapporté la dominance aussi bien des informations visuelles que des informations proprioceptives

---

<sup>9</sup> Robin, N., Blandin, Y., et Toussaint, L (Submitted). Effects of imagery modalities as function of task constraints and amount of practice. *Journal of Motor Behavior*.

en fonction des contraintes de la tâche (Elliott & Jaeger, 1988 ; Proteau et al., 1987 ; Robin et al., 2004 ; Tremblay & Proteau, 1998 ; Tremblay et al., 2001). De plus, lorsque les contraintes de la tâche entraînent une dominance des informations proprioceptives, les résultats de certaines études suggèrent que l'établissement de la dominance de cette information nécessite une plus grande quantité de pratique comparée à celle nécessaire à l'établissement de la dominance visuelle (Robin et al., in press ; Tremblay et al., 2001).

En relation avec le postulat d'une équivalence fonctionnelle entre la réalisation et la simulation des actions en ce qui concerne les processus d'intégration sensorielle, l'objectif de ces deux expériences était d'évaluer les effets des modalités sensorielles utilisées au cours de la pratique mentale et de la durée de cette pratique en fonction des contraintes de la tâche. Pour atteindre cet objectif, 2 expériences utilisant une tâche de reproduction de configurations angulaires simples avec la jambe gauche ont été réalisées. Dans la première (expérience 4), les informations proprioceptives ainsi que les informations visuelles (vision de la jambe dans un miroir) étaient disponibles alors que dans la seconde (expérience 5), la tâche réalisée les yeux fermés était à dominante proprioceptive. Dans chacune des expériences (4 et 5), les sujets étaient séparés en quatre groupes distincts en fonction des modalités sensorielles utilisées au cours des pratiques en imageries : imagerie visuelle, imagerie proprioceptive, imagerie mixte et sans imagerie (groupe contrôle). Pour évaluer les effets de la quantité de pratique en imagerie sur la performance motrice, les sujets de chaque groupe réalisaient deux sessions successives de pratique en imagerie de 15 puis de 150 essais.

Selon l'hypothèse de spécificité des conditions d'apprentissage et en fonction de l'équivalence fonctionnelle postulée entre les actions réelles et les actions mentalement simulées, plusieurs prédictions peuvent être émises. Pour l'expérience 4 (vision de la jambe dans le miroir), nous faisons l'hypothèse que l'imagerie visuelle devrait permettre une amélioration supérieure de la performance par rapport aux autres modalités d'imagerie. Le traitement précoce des indices visuels devrait s'accompagner d'une amélioration dès 15 essais de pratique en imagerie. Au contraire, pour l'expérience 5 (sans vision), nous faisons l'hypothèse qu'une pratique en imagerie proprioceptive devrait permettre une amélioration de performance supérieure à celle d'une pratique en imagerie visuelle. De plus, cette amélioration devrait nécessiter plus que 15 essais de pratique en imagerie, l'extraction et le traitement de la modalité

proprioceptive comme source d'information dominante étant plus longs à se mettre en place.

#### Expérience 4 : tâche à dominante visuelle

##### Méthode

Sujets : 40 sujets (22 hommes et 18 femmes, âge moyen : 22,8 ans, SD = 2,7 ans), ayant déclaré avoir une latéralité podale droite, étaient sélectionnés sur la base de leurs scores obtenus au Questionnaire en Imagerie du Mouvement (MIQ, Hall & Pongrac, 1983). Seuls les sujets ayant un score inférieur à 19 pour les imageries visuelles et proprioceptives ont été retenus parce qu'ils sont considérés comme des sujets « bons imageurs » (Hall et al., 1989 ; 1992 pour une procédure similaire). Aucun des sujets n'était informé du but de l'expérience.

Le matériel et la tâche étant décrit en introduction dans la partie commune aux différentes expériences (cf. page 40), nous allons aborder la procédure.

Procédure : Les sujets étaient répartis aléatoirement dans un des 4 groupes expérimentaux (imagerie visuelle externe : IV, imagerie proprioceptive : IP, imagerie mixte : IM et contrôle). Chaque groupe réalisait 7 phases expérimentales (voir tableau 7). La première phase (Test 0) évaluait le niveau initial de la précision de la reproduction des configurations angulaires de chaque sujet. Les sujets réalisaient 15 essais (5 essais pour chacune des 3 positions présentées aléatoirement) les yeux ouverts et pouvaient voir leur jambe gauche dans un miroir. Les indices visuels environnementaux ont été supprimés à l'aide d'un drap noir suspendu derrière et de chaque côté des sujets. Deux essais de familiarisation étaient réalisés avant le Test 0 avec des positions de 139° et 154°.

Dans la seconde phase ou acquisition 1, les sujets ont réalisé 15 essais de pratique en imagerie (5 essais par position présentés aléatoirement). Les sujets étaient divisés en 4 groupes : IV, IP et IM en fonction des modalités sensorielles utilisées au cours de la pratique en imagerie et contrôle (réalisant une tâche neutre de lecture).

Les phases 3 et 4 (respectivement Tests 1 et 2) étaient réalisées 10 minutes et 24 heures après la fin de l'acquisition 1 et étaient similaires au Test 0. Après 5 minutes de repos, les sujets réalisaient la phase 5 ou acquisition 2. Au cours de cette phase, les sujets réalisaient 150 essais de pratique en imagerie (50 essais par position présentés aléatoirement) en utilisant les mêmes modalités d'imagerie qu'au cours de l'acquisition 1 (le groupe contrôle réalisait une tâche neutre). Les phases 6 et 7 (respectivement Tests 3 et 4) étaient réalisées 10 minutes et 24 heures après la fin de l'acquisition 2 et étaient similaires au Test 0.

Tableau 7 : Procédure expérimentale utilisée dans l'expérience 4. Les Tests 1 et 3, 2 et 4 ont été réalisés respectivement 10' et 24h après les phases d'acquisition. Les informations visuelles (reflet dans le miroir) et proprioceptives étaient disponibles lors des Tests 0, 1, 2, 3 et 4.

Test 0 (15 essais)	Acquisition 1 (15 essais)	Tests 1 et 2 (15 essais)	Acquisition 2 (150 essais)	Tests 3 et 4 (15 essais)
	Imagerie proprioceptive		Imagerie proprioceptive	
	Imagerie visuelle		Imagerie visuelle	
V+P	Imagerie mixte	V+P	Imagerie mixte	V+P
	Tâche neutre (contrôle)		Tâche neutre (contrôle)	

Analyse des données : Comme évoqué en partie analyse commune aux 5 expériences, la différence entre la position d'encodage et la position de rappel a été calculée. A partir des valeurs obtenues, l'Erreur absolue (EA) a été calculée et utilisée comme variable dépendante. Une ANOVA a été menée avec la modalité d'imagerie (IV, IP, IM et contrôle) comme facteur inter-sujets et la phase expérimentale (Tests 0, 1, 2, 3 et 4) comme facteur intra-sujets. Les résultats correspondant à l'analyse de EV ne sont pas rapportés dans la partie suivante, étant strictement similaires aux données de EA.

## Résultats

L'ANOVA réalisée sur l'EA révèle des effets principaux de la modalité d'imagerie,  $F(3, 36) = 7.17, p < .001$ , de la phase expérimentale,  $F(4, 144) = 10.04, p < .001$ , et une interaction significative entre ces deux facteurs,  $F(12, 144) = 5.31, p < .001$ .

Comme illustré sur la Figure 13 (ci-contre) et confirmé par l'analyse post-hoc, pour le groupe d'imagerie visuelle, l'EA diminue progressivement avec la quantité de pratique en imagerie. Plus précisément, une diminution temporaire de l'EA est observée après 15 essais de pratique en imagerie visuelle (Test 1 : 10'). En revanche, après 150 essais de pratique en imagerie visuelle, l'EA diminue de façon durable (Test 3 : 10' et Test 4 : 24h). Une telle diminution de l'erreur n'est pas observée dans le groupe contrôle ainsi que dans les groupes d'imagerie proprioceptive. On notera la position intermédiaire du groupe d'imagerie mixte aux Tests 2 et 3.

## Discussion

Le but de l'expérience 4 était d'évaluer les effets des modalités sensorielles (visuelle, proprioceptive ou mixte) utilisées au cours de la pratique en imagerie mais aussi de la quantité de pratique en imagerie dans une tâche à dominante visuelle. Comme une équivalence fonctionnelle entre la réalisation des actions et les actions mentalement simulées a été postulée (Jeannerod, 1999 pour revue), nous avons utilisé l'hypothèse de spécificité des conditions d'apprentissage, qui a été développée dans le contexte de la pratique physique (Tremblay & Proteau, 1998), afin d'évaluer les mécanismes impliqués au cours de la pratique en imagerie. Dans cette étude, nous avons fait l'hypothèse que l'imagerie visuelle devrait permettre une amélioration supérieure de la performance par rapport aux autres modalités d'imagerie et que le traitement précoce des indices visuels devrait s'accompagner d'une amélioration dès 15 essais de pratique en imagerie.

Les principaux résultats de l'expérience 4 montrent qu'après 15 essais de pratique en imagerie le groupe d'imagerie visuelle, qui a transitoirement amélioré sa performance, était plus précis que les autres groupes. Cette différence en fonction du moment de passation du test (10' versus 24h après les séances d'imagerie) observée

dans le groupe d'imagerie visuelle disparaît après un apprentissage de plus longue durée : après 150 essais en imagerie visuelle la performance se maintient à court et long terme. Ces résultats suggèrent que bien que le traitement des informations fournies par la modalité visuelle apparaisse précocement (dès 15 essais de pratique), des séances d'imagerie plus longues sont nécessaires à leur intégration en mémoire à long terme. Les résultats obtenus dans cette étude confirment notre hypothèse ainsi que les résultats obtenus dans le contexte des pointages manuels en direction de cibles visuelles : en situation d'apprentissage, un traitement précoce des indices visuels peut-être élaboré et peut contribuer à un contrôle en précision des actions motrices (Adams et al., 1977 ; Elliott & Jaeger, 1988 ; Proteau & Carnahan, 2001 ; Proteau et al., 1987 ; Proteau et al., 1992). Ces données sur l'imagerie mentale pourraient suggérer cependant une intégration en mémoire à long terme de la modalité visuelle moins aisée lorsque l'apprentissage ne s'accompagne pas de l'exécution réelle des actions.

Quel est l'intérêt d'avoir eu recours à un groupe d'imagerie mixte ? Comme nous l'avons mentionné en introduction et observé dans cette expérience utilisant une tâche dans laquelle les informations visuelles et proprioceptives étaient disponibles, l'imagerie visuelle a permis une amélioration de la performance supérieure à celle de l'imagerie proprioceptive que ce soit à 15 essais ou 150 essais de pratique mentale. En partant du postulat que dans cette tâche, les informations visuelles seraient traitées prioritairement au détriment des informations proprioceptives, le groupe ayant réalisé une pratique en imagerie mixte devrait obtenir un niveau de performance supérieur à celui du groupe d'imagerie proprioceptive, mais similaire à celui du groupe d'imagerie visuelle (traitement exclusif et précoce de la modalité visuelle). De tels résultats permettraient la généralisation de l'hypothèse de spécificité des conditions d'apprentissage à la pratique mentale.

Les données rapportées dans cette étude invalident cette hypothèse, la performance du groupe d'imagerie mixte (similaire à celle du groupe d'imagerie proprioceptive et du groupe contrôle) étant restée stable après 15 essais de pratique (Tests 1 et 2) et se situant à un niveau intermédiaire entre celles des groupes d'imagerie visuelle et d'imagerie proprioceptive après 150 essais de pratique. Comme nous l'avons suggéré dans la partie discussion de l'expérience 3, le niveau de performance moindre du groupe d'imagerie mixte par rapport au groupe d'imagerie visuelle peut s'expliquer

de plusieurs façons : combinaison difficile de 2 perspectives différentes lors d'une séance d'imagerie mixte (1<sup>ère</sup> personne pour l'imagerie proprioceptive versus 3<sup>ème</sup> personne pour l'imagerie visuelle externe) ; annulation des effets positifs de l'imagerie visuelle et des effets négatifs de l'imagerie proprioceptive. Dans le cadre de cette expérience, tout comme dans la 3<sup>ème</sup> expérience, l'examen des données individuelles ne confirme pas la présence de profils individuels variés, correspondant à une préférence pour la modalité visuelle pour certains et à une préférence pour la modalité proprioceptive pour d'autres.

### Expérience 5 : tâche à dominante proprioceptive

Comme présenté en introduction, le but de l'expérience 5 était d'évaluer les effets des modalités sensorielles utilisées au cours de la pratique en imagerie mais aussi de la quantité de pratique en imagerie dans une tâche à dominante proprioceptive. Les sujets devaient, les yeux fermés, reproduire des configurations angulaires simples avec la jambe gauche. Au cours des phases d'acquisition (15 et 150 essais), les sujets ont réalisé de l'imagerie visuelle, proprioceptive, mixte ou pas d'imagerie (groupe contrôle).

### Méthode

Sujets : 40 sujets (21 hommes et 19 femmes, âge moyen : 23,4 ans, SD = 2,9 ans), ayant déclaré avoir une latéralité podale droite, étaient sélectionnés sur la base de leurs scores obtenus au Questionnaire en Imagerie du Mouvement (MIQ, Hall & Pongrac, 1983). Seuls les sujets ayant un score inférieur à 19 pour les imageries visuelles et proprioceptives ont été retenus car ils étaient considérés comme « bons imageurs ». Aucun des sujets n'était informé du but de l'expérience.

Matériel, tâche et procédure expérimentale : La méthode utilisée dans l'expérience 5 était similaire à celle utilisée dans l'expérience 4. La seule différence réside dans le fait que les sujets, ayant les yeux fermés, ne disposaient pas des informations visuelles. Ils étaient aléatoirement répartis dans un des 4 groupes

expérimentaux (IV, IP, IM et contrôle) et réalisaient 7 phases expérimentales (voir Tableau 8).

Tableau 8 : Procédure expérimentale utilisée dans l'expérience 5. Seules les informations proprioceptives étaient disponibles lors des Tests 0, 1, 2, 3 et 4. Les Tests 1 et 3, 2 et 4 ont été réalisés respectivement 10' et 24h après les phases d'acquisition.

Test 0 (15 essais)	Acquisition 1 (15 essais)	Tests 1 et 2 (15 essais)	Acquisition 2 (150 essais)	Tests 3 et 4 (15 essais)
	Imagerie proprioceptive		Imagerie proprioceptive	
P	Imagerie visuelle	P	Imagerie visuelle	P
	Imagerie mixte		Imagerie mixte	
	Tâche neutre (contrôle)		Tâche neutre (contrôle)	

Analyse des données : Comme dans l'expérience 4, la différence entre la position d'encodage et la position de rappel a été calculée. A partir des valeurs obtenues, l'Erreur absolue (EA) a été calculée et utilisée comme variable dépendante. Une ANOVA a été menée avec la modalité d'imagerie (IV, IP, IM et contrôle) comme facteur inter-sujets et la phase expérimentale (Tests 0, 1, 2, 3 et 4) comme facteur intra-sujets. Les résultats correspondant à l'analyse de EV ne sont pas rapportés dans la partie suivante, étant strictement similaires aux données de EA.

## Résultats

L'analyse de l'EA révèle des effets principaux de la modalité d'imagerie,  $F(3, 36) = 11.98$ , et de la phase expérimentale,  $F(4, 144) = 14.25$ , ainsi qu'une interaction significative entre ces 2 facteurs,  $F(12, 144) = 10.63$ ,  $p < .001$ . Comme illustré sur la Figure 14 (ci-contre) et confirmé par l'analyse post-hoc, l'EA reste stable, quels que soient la modalité d'imagerie et le Test (0, 1 et 2), après 15 essais de pratique en imagerie. Par contre, après 150 essais de pratique en imagerie, l'EA diminue pour les groupes ayant réalisé une pratique en imagerie proprioceptive ou mixte que le test ait

lieu 10' (Test 3) ou 24h (Test 4) après la pratique mentale, pour atteindre un niveau de performance supérieur à celui des groupes d'imagerie visuelle et contrôle.

#### Discussion expérience 5

Le but de l'expérience 5 était d'évaluer les effets des modalités sensorielles (visuelle, proprioceptive ou mixte) utilisées au cours de la pratique en imagerie mais aussi de la quantité de pratique en imagerie dans une tâche qui dépend des informations proprioceptives. Il a été fait l'hypothèse, dans cette expérience, qu'une pratique en imagerie proprioceptive devrait entraîner une précision de la performance supérieure à celle observée suite à une pratique en imagerie visuelle ou en absence de pratique en imagerie. De plus, il a été fait l'hypothèse qu'une plus grande quantité de pratique en imagerie devrait être nécessaire pour entraîner des effets bénéfiques de l'imagerie proprioceptive.

Les résultats de l'expérience 5 indiquent que les sujets qui ont réalisé une pratique en imagerie proprioceptive n'ont pas tiré de bénéfices des 15 essais de pratique en imagerie pour améliorer et stabiliser leur performance (Tests 1 et 2). Cependant, l'augmentation de la quantité de pratique en imagerie (150 essais) a permis au groupe de pratique en imagerie proprioceptive d'améliorer leur performance en comparaison avec les performances du groupe contrôle et du groupe d'imagerie visuelle. Comparés à l'expérience précédente, les effets bénéfiques de l'imagerie proprioceptive s'expriment plus tardivement que pour l'imagerie visuelle. Ces résultats suggèrent que les sujets ont besoin d'une plus grande quantité de pratique pour utiliser ces informations lors d'une pratique mentale et pour les intégrer en mémoire à long terme. Il est possible que le traitement des informations proprioceptives soit plus complexe et nécessite plus de temps que celui des informations visuelles. Cette proposition ne semble pas très éloignée des résultats d'études de pointage réalisées sans contrainte directionnelle (Tremblay et al., 2001) et en direction de cibles auto-définies (Robin et al., 2004) qui ont montré que les sujets ont besoin d'une grande quantité de pratique pour déterminer que l'information proprioceptive est la source d'information dominante et la plus appropriée compte tenu des contraintes de la tâche. Pour les auteurs, le traitement de l'information proprioceptive serait « bloqué » par celui des informations visuelles qui joueraient initialement un rôle dominant indépendamment des contraintes de tâche.

Cependant, l'absence du traitement des indices visuels lors d'une pratique en imagerie proprioceptive nous conduit à suggérer, sans remettre en cause l'hypothèse d'un « blocage » de la modalité proprioceptive par la modalité visuelle (Adams et al., 1972 ; Robin et al., 2004), que de par ses caractéristiques (informations provenant de plusieurs récepteurs), le traitement des informations proprioceptives serait plus coûteux à se mettre en place que celui des indices visuels. Ce coût s'accompagnerait d'une période d'apprentissage plus longue avant que le bénéfice du traitement des indices proprioceptifs ne puisse s'exprimer par un contrôle en précision des actions motrices.

Rappelons qu'un groupe de pratique en imagerie mixte a été constitué afin de tester l'hypothèse d'une extraction tardive et d'un traitement privilégié de la modalité proprioceptive au détriment de la modalité visuelle. Les résultats des sujets ayant réalisé une pratique en imagerie mixte pourraient être interprétés comme un argument en faveur d'une validation de l'hypothèse de spécificité dans le cadre d'une pratique mentale. La similarité des performances entre les groupes d'imagerie proprioceptive et d'imagerie mixte pourrait effectivement résulter d'un traitement exclusif de la modalité proprioceptive, l'absence d'effet de l'imagerie visuelle ne venant pas se juxtaposer aux bénéfices liés au traitement de la modalité proprioceptive (dans le cas contraire, le groupe d'imagerie mixte aurait obtenu un niveau de performance intermédiaire). Comme les consignes données aux sujets étant focalisées tant sur les modalités d'imagerie que sur la nécessité de produire une performance la plus précise possible, cette interprétation sous-entend le non respect par les sujets des consignes d'imagerie probablement parce que non conforme à l'obtention d'une précision optimale. Ce point avait déjà été mentionné dans la discussion des expériences 1 et 4.

**PARTIE DISCUSSION  
CONCLUSION  
GENERALE**

## Discussion générale

Les expériences menées durant ces 3 années de thèse avaient pour objectif d'évaluer les effets de la pratique mentale sur la performance motrice et portaient plus particulièrement sur l'influence des modalités d'imagerie (visuelle, proprioceptive et mixte, expériences 1, 3, 4 et 5) et des capacités d'imagerie (bons imageurs en vision et/ou proprioception et mauvais imageurs en vision et/ou proprioception, expériences 1 et 2). Les principaux résultats obtenus montrent que les modalités d'imagerie visuelle et/ou proprioceptive ne revêtent pas la même importance au sein de chacune des expériences réalisées. Une pratique sollicitant la modalité d'imagerie visuelle induit une plus forte amélioration de la performance motrice dans une tâche de pointage de cible avec laser (expérience 3) ou de reproduction de configurations corporelles simples lorsque celle-ci est réalisée face à un miroir (expérience 4). En revanche, lorsque la vision de l'effecteur ou du mouvement en cours de réalisation n'est pas disponible (expériences 1 et 5), aucun transfert positif de la modalité visuelle à la modalité proprioceptive ne semble s'opérer, et l'augmentation de la précision des gestes moteurs n'apparaît que chez les sujets confrontés à une pratique d'imagerie proprioceptive. Celle-ci est d'autant plus efficace que les sujets rapportent avoir des facilités à simuler mentalement une action (« bons imageurs » versus « mauvais imageurs », expériences 1 et 2). Dans le cas où la modalité d'imagerie visuelle est la plus efficace (expériences 3 et 4), une pratique mixte donne de moins bons résultats, tandis que l'amélioration de la performance, observée dans les tâches bénéficiant favorablement d'une pratique en imagerie proprioceptive (expériences 1, 2 et 5), est similaire pour des pratiques d'imagerie proprioceptive et mixte. L'ensemble de ces résultats nous conduit à réfléchir sur les facteurs influençant la variabilité du poids des modalités d'imagerie, sur une généralisation possible de l'hypothèse de spécificité de l'apprentissage à la pratique mentale, et sur les conditions nécessaires à l'expression des différences inter-individuelles en matière d'imagerie. L'importance de ces résultats expérimentaux, dans le domaine de l'apprentissage sportif, sera également discutée, avant de présenter de nouvelles perspectives de recherche.

## Variabilité du poids des modalités d'imagerie

Suite aux différents résultats obtenus dans les expériences 1, 3, 4 et 5, nous nous sommes interrogés sur les facteurs qui pouvaient influencer le poids d'une modalité d'imagerie particulière. Deux hypothèses ont été émises : la première concerne les contraintes de tâche alors que la seconde s'articule autour de l'expérience précédente la pratique mentale.

- 1) Selon la première hypothèse, les contraintes de tâche pourraient influencer la variabilité du poids des modalités d'imagerie. En effet, dans la tâche utilisée dans les expériences 1 et 5, réalisée les yeux fermés, le sujet restait centré sur son propre corps en utilisant probablement un système de référence égocentré qui favorise l'utilisation des informations proprioceptives (Paillard & Brouchon, 1968). Les résultats de ces études ont montré une amélioration de la performance suite à une pratique en imagerie proprioceptive. La tâche de pointage laser, utilisée dans l'expérience 3, devait quand à elle être encodée dans un cadre de référence allocentré reconnu pour favoriser le contrôle visuel (Carrozzo, McIntyre, Zago & Lacquanti, 1999 ; Jeannerod, 1988). Les résultats de cette étude ont montré une supériorité de la modalité d'imagerie visuelle par rapport aux autres modalités. Les résultats des expériences 1, 3 et 5 suggérant que les contraintes de tâche semblent influencer le poids variable des modalités d'imagerie, confirment cette hypothèse. Cependant, les résultats obtenus dans l'expérience 4 semblent aller à l'encontre de celle-ci. En effet, la tâche de positionnement segmentaire utilisée dans cette expérience, bien que sollicitant l'utilisation d'un système de référence égocentré (phase d'acquisition réalisée sans la vision), a favorisé l'utilisation des informations visuelles : les sujets disposant de la vision de leur jambe dans un miroir lors du pré-test et des post-tests, ces derniers conditionnant l'utilisation d'un référentiel allocentré. Les résultats de cette étude ont montré une supériorité d'une pratique en imagerie visuelle par rapport aux autres types de pratique. La supériorité de la modalité visuelle, au cours de la pratique en imagerie, confirme les résultats obtenus en pratique physique (Salmeh, Toussaint & Robin, données non publiées).

2) Les résultats de l'expérience 4 amènent à suggérer une seconde hypothèse : il est possible que l'expérience précédant la pratique en imagerie influence l'utilisation d'une modalité d'imagerie particulière lors de la pratique mentale. Cette expérience, réalisée dans des conditions sensorielles particulières, inciterait les sujets à utiliser la même modalité sensorielle au cours de la pratique physique précédant la pratique mentale qu'au cours de la pratique en imagerie (lorsqu'une seule modalité est disponible en pratique physique) ou à utiliser, au cours de cette dernière, la modalité qui permet l'obtention d'une performance optimale en pratique physique. Cette proposition semble en accord avec les résultats obtenus dans les expériences 1, 3 et 5. En effet lors des expériences 1 et 5, les pré-tests ont été réalisés en l'absence d'information visuelle et les résultats ont montré une supériorité de la pratique en imagerie proprioceptive. De même dans l'expérience 3, dans laquelle une phase de 45 essais d'acquisition avec vision du pointeur laser a été réalisée avant la pratique mentale, les résultats ont révélé une supériorité de la pratique en imagerie visuelle. La validation de cette hypothèse, nécessiterait de prolonger l'expérience 3 dans laquelle seuls les sujets des groupes expérimentaux qui ont réalisé 45 essais de pratique physique avec vision du laser ont fait les différents types de pratique en imagerie alors que le groupe laser-off qui a fait le même nombre d'essais de pratique sans vision du laser n'a pas réalisé la phase de pratique en imagerie (voir Figure 11), phase qu'il serait intéressant que ce groupe réalise dans un complément d'expérience. La réalisation de cette tâche devrait à la fois nécessiter l'utilisation des informations visuelles et proprioceptives et nous émettons l'hypothèse qu'une pratique en imagerie mixte devrait permettre une amélioration optimale de la performance.

Les résultats de l'ensemble de ces études nous amènent à proposer qu'il est possible que le fait de réaliser une pratique physique dans une ou des conditions sensorielles spécifiques développerait des mécanismes ou processus de contrôle et de planification particuliers et activerait des zones cérébrales relatives à cette ou ces modalités sensorielles permettant une performance optimale dans la tâche. De plus nous émettons l'hypothèse que ces aires resteraient activées lors des pratiques en imagerie sollicitant les mêmes processus ou mécanismes qu'en pratique physique et facilitant

l'utilisation des modalités d'imageries lorsque celles-ci sont compatibles avec les modalités dominantes dans la tâche. Le recours aux techniques d'imagerie cérébrale, comme l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle par exemple, permettrait d'examiner cette hypothèse.

### Hypothèse de spécificité et pratique mentale

Les différents modèles ou théories concernant l'imagerie mentale, que nous avons évoqués dans le chapitre I, ne semblent pas adaptés pour rendre compte de l'intégration des informations sensorielles lors de la pratique en imagerie (principal facteur que nous avons manipulé aux cours des expériences réalisées dans cette thèse). En effet, ces derniers tentent seulement d'expliquer pourquoi et comment la pratique en imagerie influence la performance (comme la théorie psycho-neuro-musculaire, la théorie de l'apprentissage symbolique, les modèles de double et triple codages et le modèle propositionnel) et n'évoquent pas clairement comment sont intégrées, stockées et utilisées les informations sensorielles permettant de réaliser les pratiques en imagerie, ou alors ne s'intéressent qu'à l'analogie entre la perception visuelle et l'imagerie mentale comme dans le modèle de Kosslyn (1994).

En postulant que la similarité fonctionnelle observée entre pratique physique et pratique en imagerie mise en évidence dans des études utilisant des paradigmes expérimentaux variés (Decety, 1996 ; Jeannerod, 1999 pour revues) concernerait aussi les processus d'intégration sensorielle, une alternative possible consiste à se baser sur les études réalisées en pratique réelle pour faire nos prédictions et interpréter nos résultats. L'hypothèse de spécificité des conditions d'apprentissage (Tremblay & Proteau, 1998), permettant actuellement de rendre compte des résultats des études s'intéressant à l'intégration des informations sensorielles lors de la pratique physique, a été utilisée comme référence dans les 5 expériences réalisées au cours de cette thèse. Cette hypothèse suggère que l'importance des informations sensorielles afférentes ne diminue pas avec la pratique, et que les sujets traitent prioritairement la(les) source(s) d'information(s) qui permet(tent) l'obtention d'une performance optimale au détriment des autres sources d'informations disponibles. Elle a été confirmée par de nombreuses études qui ont rapporté la dominance des informations visuelles ou proprioceptives

et/ou des mécanismes efférents en fonction des contraintes de tâche (Coull, Tremblay & Elliott, 2001 ; Pick, Siegel & Garber, 1982 ; Proteau et al., 1987 ; Robin et al., 2004 ; Tremblay & Proteau, 1998 ; Tremblay & Proteau, 2001 ; Yoshida, Cavanagh & Crow, 2004).

Afin, de rendre compte de l'observation d'un traitement privilégié d'une modalité sensorielle lors de la pratique mentale, un groupe de pratique en imagerie mixte a été utilisé lors des différentes expériences. Ainsi, si l'hypothèse de spécificité est validée pour une pratique en imagerie, on devrait observer un traitement privilégié des informations visuelles pour les expériences 3 et 4 et proprioceptives pour les expériences 1 et 5, au détriment de l'autre modalité sensorielle (respectivement proprioceptive et visuelle). Seules les données des expériences 1 et 5, montrant que la combinaison d'imagerie visuelle et d'imagerie proprioceptive (IM) a permis une amélioration de performance supérieure à celle des groupes d'imagerie visuelle et contrôle, sont en accord avec l'idée que l'hypothèse de spécificité puisse être généralisée à une pratique mentale, aucune amélioration significative de performance n'étant observée suite à une pratique en imagerie mixte dans les expériences 3 et 4. Il semble que, dans les expériences 1 et 5, les sujets ont déterminé que l'imagerie proprioceptive était la modalité d'imagerie la plus pertinente pour réaliser une performance optimale dans la tâche et qu'ils ont privilégié le traitement de cette modalité au détriment de celui de la modalité d'imagerie visuelle ne respectant pas les consignes demandant d'accorder autant d'importance à l'une qu'à l'autre des modalités d'imagerie.

Pourquoi l'effet de spécificité est observé pour des situations dans lesquelles une dominance de la modalité d'imagerie proprioceptive a été observée alors qu'il ne l'est pas pour des situations dans lesquelles une dominance de la modalité d'imagerie visuelle a été mise en évidence ? Il est possible qu'au cours d'une pratique en imagerie mixte, réalisée dans une tâche à dominante proprioceptive, le traitement des informations proprioceptives nécessiterait l'utilisation d'une part importante des ressources attentionnelles disponibles en mémoire de travail, ne laissant pas ou peu de place au traitement des informations visuelles. En effet, selon Jeannerod (1988), le traitement de la proprioception qui nécessite l'intégration d'informations issues de nombreux récepteurs (musculaires, tendineux, articulaires et cutanés) devrait requérir une quantité importante de ressources attentionnelles et il est probable que la

sollicitation de ces ressources soit d'autant plus importante que le sujet est novice dans la tâche. En effet, comme nous l'avons observé dans l'expérience 5, les sujets avaient besoin de plus de 15 essais en imagerie proprioceptive pour améliorer leur performance (amélioration observée après 150 essais). Par contre dans une tâche à dominante visuelle, le traitement des informations visuelles, sollicitant une moindre quantité de ressources attentionnelles que celui des informations proprioceptives, laisserait une part plus importante de ces ressources au traitement de la modalité proprioceptive lors d'une pratique en imagerie mixte, ce qui expliquerait l'obtention de performances intermédiaires (addition d'un effet positif de l'imagerie visuelle et d'une absence d'effet de l'imagerie proprioceptive).

Une alternative à l'hypothèse de spécificité a été proposée par Jeannerod (1994). Selon ce dernier, l'association d'une pratique en imagerie visuelle avec une pratique en imagerie proprioceptive (pratique en imagerie mixte dans le cadre de notre travail) permettrait une amélioration maximale de performance car elle activerait deux voies neuronales distinctes impliquées chacune dans une modalité d'imagerie particulière (Hardy & Callow, 1999). Cette proposition semblerait être uniquement adaptée dans des situations dans lesquelles les sujets ne seraient pas contraints d'utiliser une modalité sensorielle particulière lors des phases d'acquisition et de transfert et dans lesquelles une pratique en imagerie mixte permettrait de faire une sommation des bénéfices liés aux deux types de pratique en imagerie (visuelle et proprioceptive). Cette idée de « restriction » de l'hypothèse de Jeannerod (1994) paraît être confirmée par les résultats de nos études dans lesquelles les contraintes de tâche entraînaient l'utilisation d'une modalité sensorielle particulière (lors des pré-tests ou des phases d'acquisition). En effet, d'une part dans les expériences 1 et 5, la pratique en imagerie proprioceptive a permis une amélioration de la performance identique à celle de la pratique en imagerie mixte et d'autre part dans les expériences 3 et 4, une performance optimale était obtenue suite à une pratique en imagerie visuelle et une pratique en imagerie mixte ne permettait pas d'améliorer la performance. Ces résultats montrent que les contraintes de tâche influencent les effets d'une pratique en imagerie mixte sur la performance.

## Capacité d'imagerie

Les expériences 1 et 2, réalisées dans cette thèse, se sont intéressées à l'influence du facteur capacité d'imagerie sur la performance d'une tâche de positionnement segmentaire à dominante proprioceptive. Les résultats observés, principalement dans l'expérience 2, montrent que dans une tâche qui sollicite en majorité le référentiel proprioceptif, les sujets ayant des facilités à réaliser l'imagerie visuelle et l'imagerie proprioceptive (IV+IP+) ont obtenus des performances supérieures aux sujets qui avaient des difficultés à réaliser les deux types d'imagerie (IV-IP-). De plus, ils montrent qu'une expérience minimale de la tâche influence l'expression des capacités d'imagerie : les sujets IV-IP- ayant obtenus de moins bonnes performances que les sujets IV+IP-, ayant des facilités à réaliser l'imagerie visuelle et difficultés à réaliser l'imagerie proprioceptive, qui à leur tour avaient des performances inférieures à celles des sujets IV+IP+ après une phase de pratique physique (expérience 2 uniquement).

Les résultats de ces études suggèrent qu'il est nécessaire de prendre en compte, mais pas de façon « figée » (l'influence de la capacité d'imagerie évoluant avec l'expérience dans la tâche), le facteur capacité d'imagerie lorsque l'on souhaite évaluer une performance obtenue suite à une pratique en imagerie. En effet, la supériorité de performance des sujets « bons imageurs » par rapport aux sujets « mauvais imageurs », observée dans les expériences 1 et 2, confirme les données de la littérature (Goss et al., 1986 ; Isaac, 1992). Cette supériorité des sujets « bons imageurs » pourrait s'expliquer par un meilleur encodage des informations favorisant un meilleur stockage en mémoire à long terme de celles-ci (dans les représentations des actions) qui seraient mieux réutilisées lors des pratiques mentales. Les résultats de l'étude de Roure et al. (1999) montrant que les sujets « bons imageurs » avaient des réponses physiologiques de plus grande amplitude que les sujets « mauvais imageurs » pourraient être un argument en faveur de cette hypothèse. En effet, étant donné que les réponses physiologiques observées en pratique en imagerie sont similaires à celles observées en pratique réelle, les sujets « bons imageurs » devraient avoir construit des représentations plus précises intégrant de façon plus fidèle les réponses physiologiques impliquées lors de la réalisation des actions et permettant une meilleure planification des réponses physiologiques lors de la pratique mentale que les sujets « mauvais imageurs ». Ces

propositions constituent des perspectives de recherche intéressantes qui seront développées en partie perspective.

De plus, suite aux résultats obtenus dans l'expérience 2, montrant une amélioration de la performance des sujets IV+IP- en comparaison avec la performance des sujets IV-IP- qui est restée stable, une question qui nous préoccupe est de savoir s'il est possible d'améliorer sa capacité d'imagerie lorsque l'on est « mauvais imageur » ? Pourquoi les travaux de la littérature n'ont pas ou peu testé l'hypothèse que la capacité d'imagerie pourrait évoluer avec l'expertise ou la pratique ? Une première réponse à cette question est liée à l'utilisation de tests subjectifs lorsque l'on souhaite « évaluer » la capacité d'imagerie des sujets. Il est en effet probable que tous les sujets n'évaluent pas de la même façon la facilité ou difficulté qu'ils ont à réaliser des images visuelles et proprioceptives. De plus, les questionnaires utilisés afin d'évaluer la capacité d'imagerie tels que le MIQ (Hall & Pongrac, 1983), utilisent des mouvements qui ne font pas forcément parti du répertoire moteur des sujets. Par exemple une roulade avant ou un saut 360° ne sont pas ou très peu réalisés par des joueurs de tennis ou des novices par exemple. Il semblerait donc plus pertinent, comme l'a suggéré Hall (2001), d'utiliser des tests impliquant des gestes moteurs propres à une discipline particulière lorsque l'on souhaite évaluer la capacité d'imagerie de sujets experts. En ce qui concerne les sujets novices, l'utilisation du MIQ, du MIQ-R ou du VMIQ sera faite en fonction du nombre de sujets, de leur âge et de leur capacité motrice (voir chapitre II B et Hall, 2001 pour revue). Afin de « mieux » évaluer si la capacité d'imagerie évolue, il semblerait alors judicieux de combiner les tests subjectifs avec des tests objectifs comme les tests de chronométrie mentale ou de rotation mentale. Enfin, pour pallier aux faiblesses des différents tests, il semblerait intéressant de coupler ces derniers avec la mesure d'indices physiologiques. En effet une étude de Roure et al., (1999) a montré que les sujets « bons imageurs » avaient des réponses physiologiques de plus grande amplitude que les sujets « mauvais imageurs ». Nous pourrions émettre l'hypothèse, qu'avec la pratique les sujets « mauvais imageurs » auraient des réponses physiologiques qui tendraient à s'apparenter à celles des « bons imageurs ». L'utilisation de l'ensemble de ces techniques, bien que contraignante (temps, matériel, compétences) permettrait une meilleure estimation de la capacité d'imagerie des sujets et permettrait d'évaluer si ce facteur évolue en fonction de facteurs comme l'expertise ou de la quantité de pratique en imagerie.

## Implication dans le domaine du sport

Comment appliquer les conclusions des résultats obtenus dans nos expériences et transposer les postulats du cadre théorique ? Lorsqu'on réalise des tâches simples sollicitant un nombre limité de degrés de liberté (comme c'est le cas des tâches utilisées dans nos expériences) il semble nécessaire de conserver à l'identique la modalité dominante dans la tâche et la modalité d'imagerie utilisée au cours de la pratique mentale afin d'obtenir une performance optimale. Par exemple lorsque l'on souhaite améliorer la réalisation d'actions comme les sauts ou la casse de planche (dans les arts martiaux), l'imagerie proprioceptive sera la modalité la plus adaptée (la vision constituant une information moins pertinente que la proprioception pour la réalisation d'une performance optimale). Cette modalité d'imagerie, qui consiste à évoquer mentalement les sensations ressenties lors de l'exécution des actions (sensations de contraction, force, étirements, relâchement, vitesse), va permettre de préparer l'action, coordonner les muscles en sollicitant un maximum de ressources énergétiques nécessaires à la réalisation d'un mouvement explosif, rapide et puissant (Hardy & Callow, 1999 ; Robin, 2005). De même lorsque l'on souhaite améliorer une position de base (positions codifiées des jambes et des bras), pour lesquelles un positionnement précis des membres et des articulations est indispensable, lors d'un Kata par exemple, une pratique en imagerie visuelle (externe) sera particulièrement utile à l'amélioration de la forme des positions, le sujet portant son attention sur les zones du corps à corriger (Hardy, 1997 ; Robin, 2005). Cette pratique en imagerie sera utile car elle fournira des informations qui ne sont pas disponibles au cours de la pratique réelle (Hardy, 1997 ; Hardy & Callow, 1999).

Les résultats des expériences 1 et 2, montrent qu'il est nécessaire de prendre en compte le facteur capacité d'imagerie. Mais il est particulièrement important de souligner que même chez les sujets « mauvais imageurs » la pratique en imagerie permet une amélioration de la performance supérieure à une absence de pratique (groupe contrôle) que ce soit chez des sujets novices (Goss et al., 1986) ou experts (Robin, Dominique, Blandin, Toussaint, Leher, submitted). En effet, bien que l'imagerie n'agissent pas sur les mêmes processus chez les experts (amélioration de la clarté et de la précision des représentations des actions) que chez les novices (intervention au

niveau des processus cognitifs permettant l'apprentissage global du geste), ce type de pratique semble être un complément indispensable à la pratique physique pour l'obtention d'un apprentissage ou d'une performance optimale dans une tâche (Hall, 2001 pour une revue). Nous pouvons de plus noter que l'influence du facteur capacité d'imagerie principalement testée dans des études de laboratoire a aussi été mise en évidence dans une étude de terrain portant sur le retour de service en tennis (Robin, Dominique, Blandin, Toussaint, Leher, submitted). Les auteurs ont en effet rapporté la supériorité de la performance des retours de services de sujets « bons imageurs » par rapport à celle de sujets « mauvais imageurs ». Au cours de cette expérience, une combinaison de pratique physique et de pratique en imagerie visuelle a été utilisée, suggérant qu'une certaine expérience dans la tâche permet de mettre à profit une bonne capacité d'imagerie. Ce résultat, confirmant les résultats obtenus dans l'expérience 2 ainsi que ceux de la littérature (Goss et al., 1986 ; Isaac, 1992), suggère aussi qu'une pratique en imagerie sera d'autant plus performante que des phases de pratiques physiques et de pratiques en imagerie seront alternées.

### Perspectives de recherches

Les résultats des expériences 1, 3, 4 et 5 ont permis d'évaluer l'influence des modalités d'imagerie en fonction des « contraintes de tâches » et de la quantité de pratique en imagerie (pour les deux dernières expériences). Il serait à présent intéressant d'évaluer au niveau de quels processus cognitifs agissent les modalités d'imagerie : est-ce que celles-ci influencent les étapes de planification ou de programmation des actions ? ou alors jouent elles sur le plan exécutif améliorant le contrôle en ligne des actions de part une meilleure lecture ou utilisation des informations sensorielles ? La réponse à ces questions nécessiterait de réaliser une analyse chronométrique. En effet cette analyse permettrait d'identifier au niveau de quelles étapes (planification ou programmation) interviennent les différents facteurs. Il serait de même intéressant de réaliser une analyse cinématique des essais réalisés avant et après une pratique en imagerie permettant d'évaluer l'influence de cette dernière sur la correction en ligne par exemple ou sur la part programmée de la réponse. Une évolution du matériel utilisé dans les expériences 1, 2, 3, 4 et 5 ayant été récemment réalisée (création d'un programme labview permettant l'enregistrement des données cinématiques des

mouvements), des expériences planifiées pour l'année 2006 vont permettre de répondre à nos interrogations.

Les résultats expérimentaux des études 1 et 2 ont confirmé l'importance du facteur capacité d'imagerie. Ainsi, il serait intéressant d'évaluer, au niveau des processus cognitifs (stockage des informations, qualités des représentations, planification, programmation...) ce qui distingue les sujets « bons imageurs » des sujets « mauvais imageurs » afin de mieux comprendre pourquoi les premiers obtiennent de meilleures performances que les seconds. Des études seront prochainement réalisées en collaboration avec Collet C. et Guillot A. afin de répondre à ces interrogations. Ces études auront comme objectif de comparer l'amplitude des réponses physiologiques de sujets « bons » et « mauvais » imageurs ainsi que leur performance dans une tâche similaire à celle que nous avons utilisé dans les expériences 1, 2 et 5, avant, pendant et après la réalisation de différents types de pratique en imagerie (visuelle, proprioceptive et mixte). Une performance supérieure dans la tâche ainsi qu'une plus grande amplitude des réponses physiologiques devraient être observés chez les sujets « bons imageurs » en comparaison avec les sujets « mauvais imageurs ». Cependant il semble difficile de faire des prédictions sur une éventuelle interaction entre le facteur capacité d'imagerie et le facteur modalité d'imagerie. En effet, la plupart des études qui ont testé l'influence du facteur capacité d'imagerie sur la performance ont utilisé une pratique en imagerie proprioceptive (Goss et al., 1986 ; Hall et al., 1989 ; Isaac, 1992) et les résultats de l'expérience 1 n'ont pas mis en évidence d'interaction entre ces deux facteurs.

Enfin, la plupart des études utilisant une pratique en imagerie visuelle externe ne font pas la distinction entre l'imagerie visuelle externe de soi, dans laquelle le sujet s'imagine se voir réaliser lui-même une action à la troisième personne, de celle de l'imagerie visuelle externe d'un autre dans laquelle le sujet va s'imaginer voir, du point de vue du spectateur, une personne (entraîneur par exemple) réaliser un mouvement. Hors, comme l'ont suggéré Callow & Hardy (2004) et Denis, Engelkamp & Mohr (1991) des traitements différents seraient réalisés quand un sujet s'imagine lui-même réaliser une action comparé à la situation dans laquelle il s'imagine quelqu'un d'autre faire cette même action lors de la réalisation d'une perspective en imagerie visuelle externe. Miller, Galanter, Pribram (1960) ont de plus suggéré que lorsqu'on s'imagine l'action d'une autre personne, on ne sollicite pas à un même niveau les processus de

planification, de sélection ou de programmation de la réponse que lorsque l'on s'imagine sa propre action : le mouvement observé étant soit nouveau soit (plus ou moins) différent de celui que l'on a l'habitude de réaliser. Nous faisons donc l'hypothèse que les effets d'une pratique en imagerie sur la performance seraient influencés par la perspective d'imagerie visuelle externe utilisée au cours de la pratique mentale (image du professeur versus image de soi). L'image de sa propre performance permettrait une amélioration de la performance supérieure à celle de l'image du professeur ou du modèle car contrairement à cette dernière, elle ferait intervenir des processus de planification, programmation et d'exécution similaires à ceux impliqués lors de la réalisation réelle de l'action. L'image du professeur, quant à elle, impliquerait des processus plus ou moins proches de ceux généralement utilisés. De ce fait, il semblerait plus difficile de réaliser une imagerie visuelle externe du professeur que de réaliser une imagerie visuelle externe de sa propre performance. La validation de cette hypothèse serait en accord avec le résultat d'études réalisées en apprentissage par observation qui ont montré qu'observer une personne ayant un niveau similaire était plus bénéfique qu'observer un modèle expert (Landers & Landers, 1973).

# INDEX DES FIGURES

## INDEX DES FIGURES

### CHAPITRE 1 : THEORIES ET MODELES EXPLICATIFS DES EFFETS DE L'IMAGERIE MENTALE

**Figure 1 :** Le modèle ALI montre les relations existant entre l'action, le langage et l'image (adapté de Annett, 1996). p8

**Figure 2 :** Perception visuelle / imagerie mentale, modèle de Kosslyn d'après J. Bibeaud, Y. Courbois, 1998, pp. 159-160. p10

### CHAPITRE 3 : SIMILARITE ENTRE PRATIQUE REELLE ET PRATIQUE EN IMAGERIE

**Figure 3 :** (D'après Ruby & Decety, 2001). Les sujets avaient pour consigne de s'imaginer réaliser, à la première personne des actions (A) ou bien à la 3<sup>ème</sup> personne (B) voir l'expérimentateur réaliser les mêmes actions. La comparaison des deux modalités obtenues avec des mesures de TEP, fait apparaître des activations communes (C) (précunéus, jonction occipito-temporale et partie antérieure de l'aire motrice supplémentaire gauche), mais aussi des zones activées sélectivement par l'imagerie à la troisième personne (lobule pariétal inférieur droit, précunéus droit, cortex fronto-polaire et cingulaire postérieur gauche) et par l'imagerie à la première personne (lobule pariétal inférieur gauche et cortex somato-sensoriel). p25

**Figure 4 :** Les indices neurovégétatifs. Adapté d'après Collet et al., (1999). Trois familles d'indices physiologiques sont enregistrées d'une manière non-invasive. Chaque famille est étudiée au travers de deux variables : l'activité électrodermale, l'activité thermovasculaire ainsi que l'activité cardiorespiratoire. L'enregistrement simultané et sans interférence des six variables apporte des informations complémentaires et permet une plus grande fiabilité dans l'interprétation des données. p26

## **CHAPITRE 4 : APPRENTISSAGE MOTEUR**

**Figure 5** : Schéma du dispositif expérimental (adapté de Bouet & Gahéry, 2000). Les sujets sont assis devant un écran d'ordinateur et sont munis d'un ou de deux potentiomètres goniométriques en fonction de la condition expérimentale (P-P, V-P et P-V). En condition (P-P), le sujet doit reproduire, sans vision, la position de référence adoptée par une de ses jambes avec la jambe controlatérale. En condition (P-V), la position d'une des jambe du sujet est préalablement stabilisée sans la vision. Le sujet doit alors faire correspondre, à l'aide d'une manette, un schéma présenté à l'écran avec la position de sa jambe. En condition (V-P), la position de référence donnée par un schéma présenté sur l'écran doit être reproduite par la jambe du sujet. p32

## **CHAPITRE 5 : EXPERIENCES**

**Figure 6** : Schéma du dispositif expérimental utilisé dans les expériences 1, 2, 4 et 5. Les sujets, assis sur une table sont munis du potentiomètre fixé au niveau de l'articulation du genou gauche avec des velcros. Le potentiomètre est relié à un voltmètre tenu par l'expérimentateur. Ce dernier va demander au sujet d'amener sa jambe, par contraction active, en direction de la main de l'expérimentateur afin de réaliser la position d'encodage (jambe en pointillé). Le sujet devra ensuite revenir en position de repos (jambe en gras) puis sans aucune indication il devra retrouver la position préalablement encodée (position de rappel). Pour l'expérience 4, la procédure est identique sauf qu'un miroir, permettant la vision de l'angle de l'angle de l'articulation du genou gauche, est ajouté à gauche du sujet. p40

**Figure 7** : Schéma du dispositif expérimental utilisé dans l'expérience 3. Le sujet, dans le noir, doit réaliser des pointages, avec la jambe gauche munie d'un laser et d'un potentiomètre goniométrique, en direction d'une des trois cibles électroluminescentes placées devant lui. Le potentiomètre, permettant d'enregistrer les erreurs de pointage ainsi que les temps de mouvements, est relié à un PC qui recueille l'ensemble des données. p41

### EXPERIENCE 1

**Figure 8** : Illustration de l'Erreur Absolue (en degrés) en fonction des phases expérimentales et des capacités d'imagerie. Rappelons que les Tests 0 et 1 ont été réalisés respectivement avant et après la phase de pratique physique, les Tests 2 et 3 10' et 48h après la phase de pratique mentale. p49

### EXPERIENCE 2

**Figure 9** : Illustration de l'Erreur Absolue (en degrés) en fonction des phases expérimentales et des capacités d'imagerie. Rappelons que les Tests 0 et 1 ont été réalisés respectivement avant et après la phase de pratique physique, les Tests 2 et 3 10' et 48h après la phase de pratique mentale. p56

**Figure 10** : Illustration de l'Erreur Variable (en degrés) en fonction des phases expérimentales et des capacités d'imagerie. Rappelons que les Tests 0 et 1 ont été réalisés respectivement avant et après la phase de pratique physique, les Tests 2 et 3 10' et 48h après la phase de pratique mentale. p57

### EXPERIENCE 3

**Figure 11** : Procédure expérimentale utilisée dans l'expérience 2. IV = imagerie visuelle, IP = imagerie proprioceptive, IM = imagerie visuelle et proprioceptive. p62

**Figure 12** : Illustration de l'Erreur Quadratique Moyenne (en degrés) en fonction des phases expérimentales et des groupes. Le nom des groupes fait référence respectivement aux conditions de pratique physique (ON : laser-on / OFF : laser-off) et aux conditions d'imagerie (IV : imagerie visuelle, IP : imagerie proprioceptive, IM : imagerie mixte et

Cont : groupe contrôle réalisant une tâche de lecture). Les tests 0 à 3 (T0, T1, T2 et T3) ont tous été réalisés en condition laser-off. p63

#### EXPERIENCE 4

**Figure 13** : Illustration de l'Erreur Quadratique Moyenne (en degrés) en fonction des phases expérimentales et des groupes. Le nom des groupes fait référence respectivement aux conditions de pratique physique (ON : laser-on / OFF : laser-off) et aux conditions d'imagerie (IV : imagerie visuelle, IP : imagerie proprioceptive, IM : imagerie mixte et Cont : groupe contrôle réalisant une tâche de lecture). Les tests 0 à 3 (T0, T1, T2 et T3) ont tous été réalisés en condition laser-off. p72

#### EXPERIENCE 5

**Figure 14** : Illustration de l'Erreur absolue (en degrés) en fonction des phases expérimentales et des groupes pour l'expérience 5 dans laquelle seule les informations proprioceptives étaient disponibles. p75

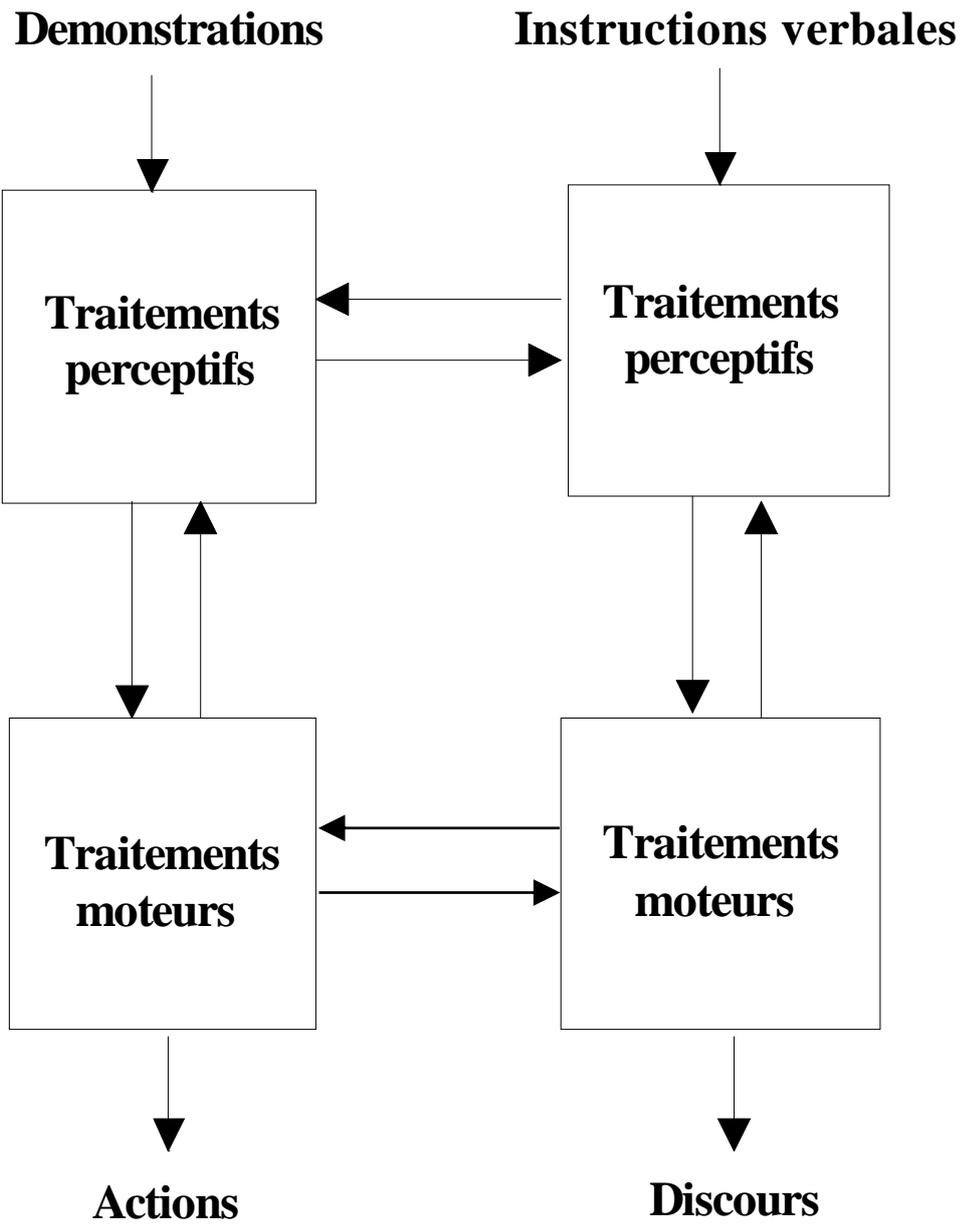


Figure 1 : Le modèle ALI montre les relations existant entre l'action, le langage et l'image. (adapté de Annett, 1996).

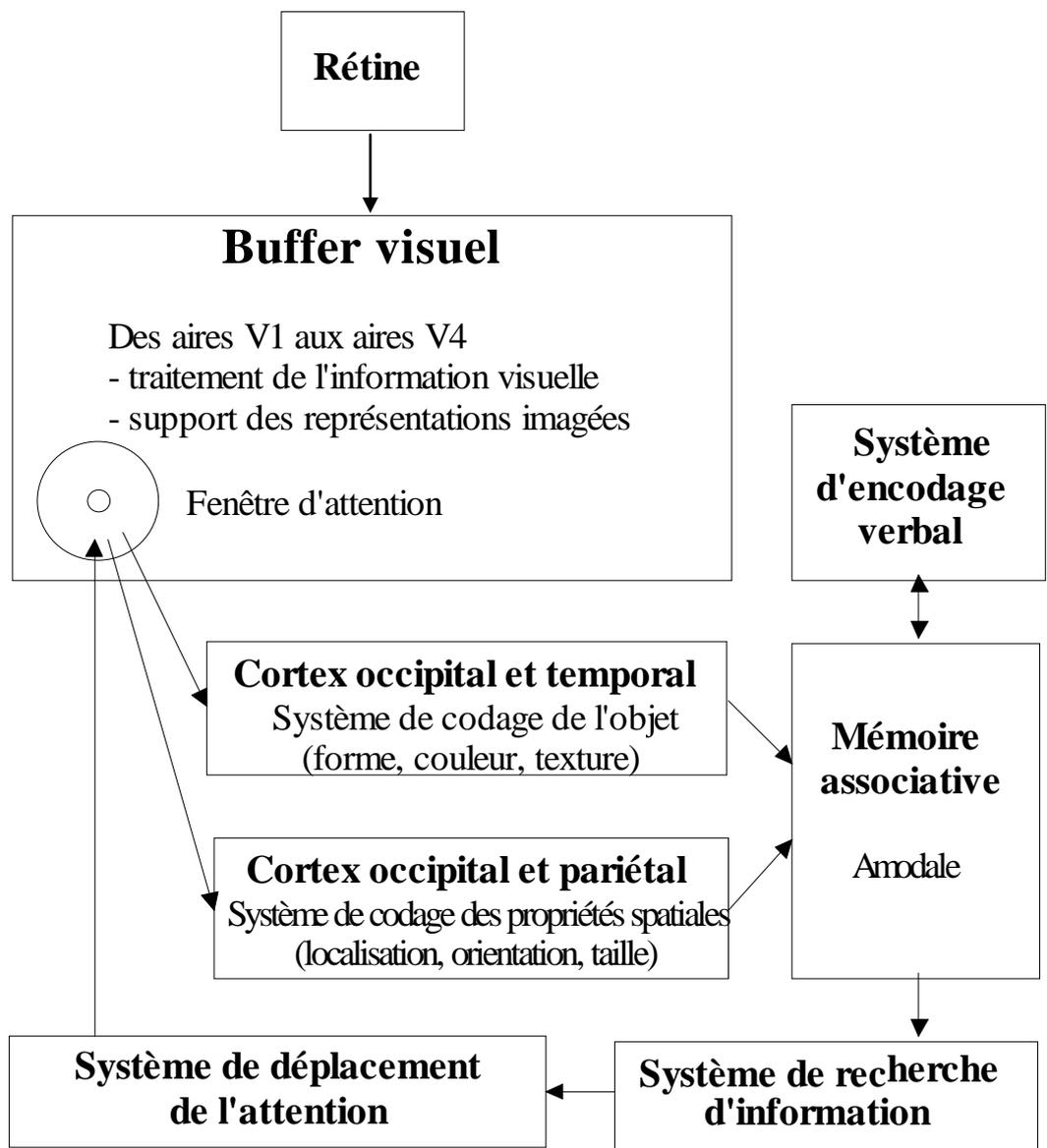
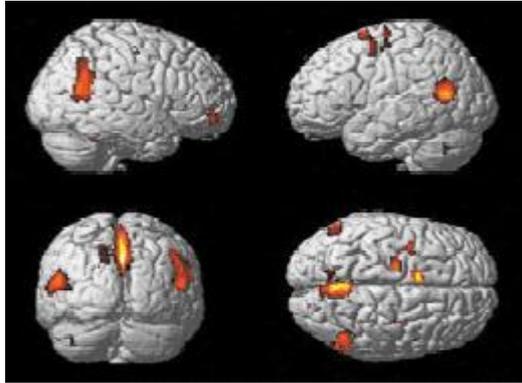


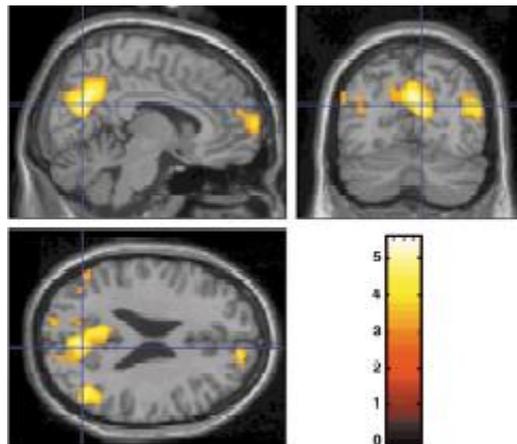
Figure 2 : Perception visuelle / imagerie mentale, modèle de Kosslyn d'après J. Bibeaud, Y. Courbois, 1998, pp. 159-160.



**A : Aires cérébrales activées lors d'une pratique en imagerie réalisée à la première personne.**



**B : Aires cérébrales activées lors d'une pratique en imagerie réalisée à la troisième personne.**



**C : Aires cérébrales communément activées lors de pratiques en imagerie à la première et à la troisième personne**

Figure : 3 (D'après Ruby & Decety, 2001). Les sujets avaient pour consigne de s'imaginer réaliser, à la première personne des actions (A) ou bien à la troisième personne (B) voir l'expérimentateur réaliser les mêmes actions. La comparaison des deux modalités obtenues avec des mesures de TEP, fait apparaître des activations communes (C) (précunéus, jonction occipito-temporale et partie antérieure de l'aire motrice supplémentaire gauche), mais aussi des zones activées sélectivement par l'imagerie à la troisième personne (lobule pariétal inférieur droit, précunéus droit, cortex fronto-polaire et cingulaire postérieur gauche) et par l'imagerie à la première personne (lobule pariétal inférieur gauche et cortex somato-sensoriel).

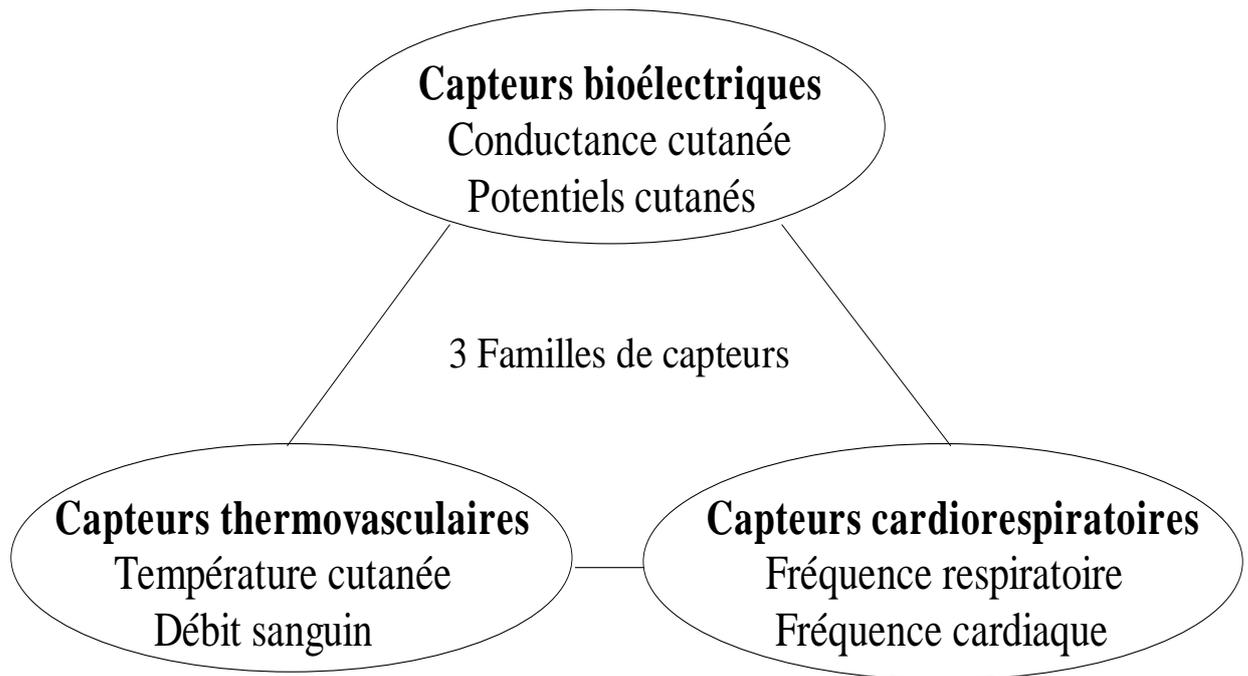


Figure 4 : Les indices neurovégétatifs. Adapté d'après Collet et al., (1999). Trois familles d'indices physiologiques sont enregistrées d'une manière non-invasive. Chaque famille est étudiée au travers de deux variables : l'activité électrodermale, l'activité thermovasculaire ainsi que l'activité cardiorespiratoire. L'enregistrement simultané et sans interférence des six variables apporte des informations complémentaires et permet une plus grande fiabilité dans l'interprétation des données.

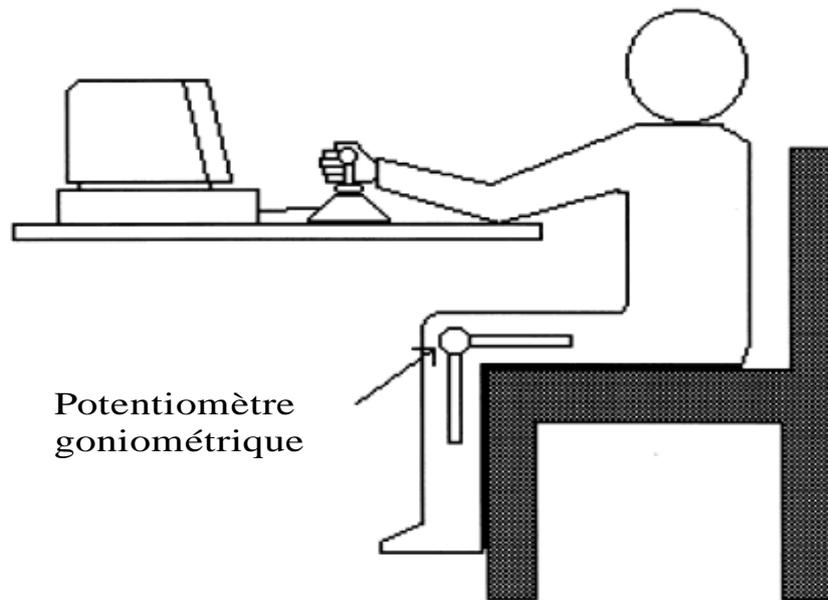


Figure : Schéma du dispositif expérimental (adapté de Bouet & Gahéry, 2000). Les sujets sont assis devant un écran d'ordinateur et sont munis d'un ou de deux potentiomètres goniométriques en fonction de la condition expérimentale (PP, VP et PV).

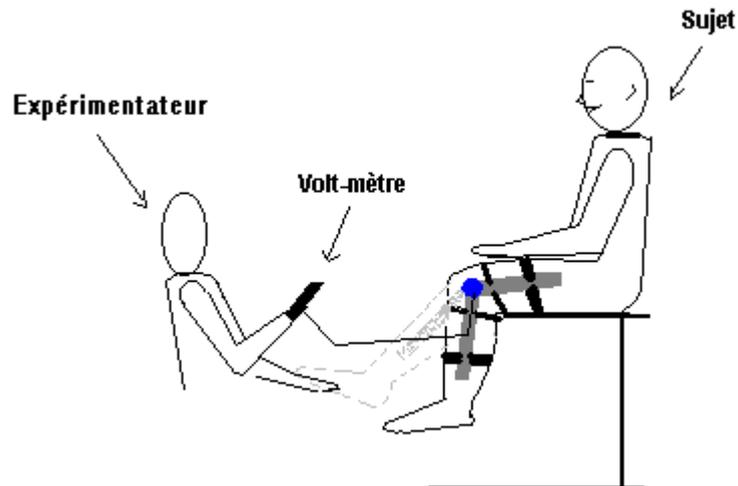


Figure 6 : Schéma du dispositif expérimental utilisé dans les expériences 1, 2, 4 et 5. Les sujets, assis sur une table sont munis du potentiomètre fixé au niveau de l'articulation du genou gauche avec des velcros. Le potentiomètre est relié à un voltmètre tenu par l'expérimentateur. Ce dernier va demander au sujet d'amener sa jambe, par contraction active, en direction de la main de l'expérimentateur afin de réaliser la position d'encodage (jambe en pointillé). Le sujet devra ensuite revenir en position de repos (jambe en gras) puis sans aucune indication il devra retrouver la position préalablement encodée (position de rappel). Pour l'expérience 4, la procédure est identique sauf qu'un miroir, permettant la vision de l'angle de l'angle de l'articulation du genou gauche, est ajouté à gauche du sujet.

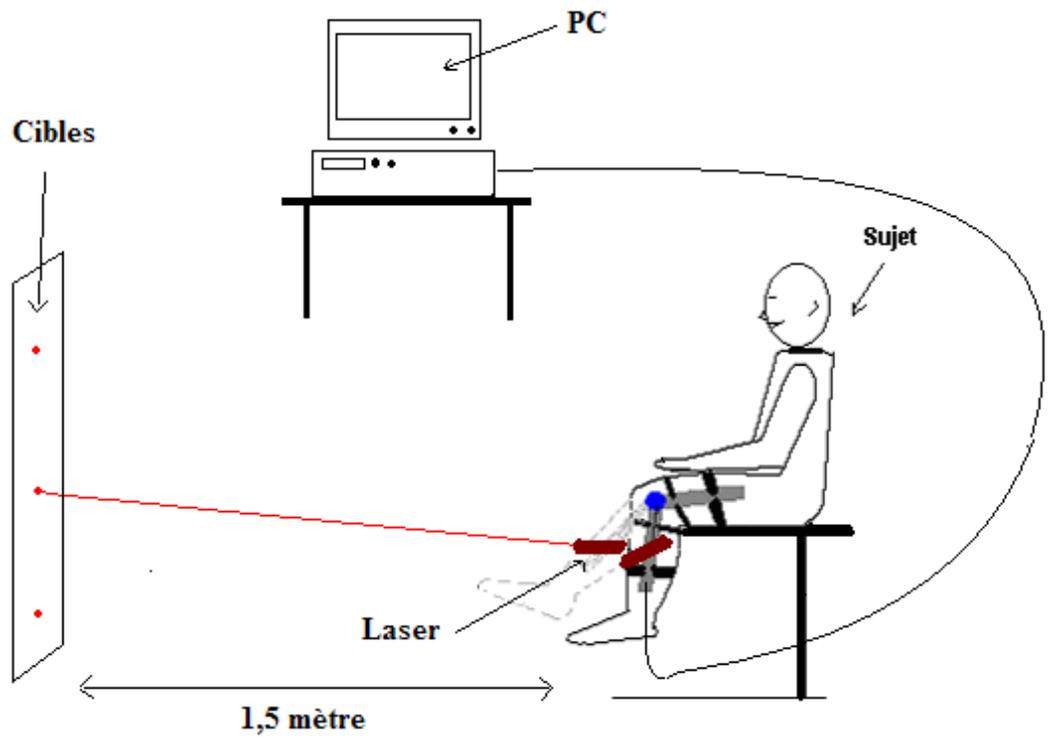


Figure 7 : Schéma du dispositif expérimental utilisé dans l'expérience 3. Le sujet, dans le noir, doit réaliser des pointages, avec la jambe gauche munie d'un laser et d'un potentiomètre goniométrique, en direction d'une des trois cibles électroluminescentes placées devant lui. Le potentiomètre, permettant d'enregistrer les erreurs de pointage ainsi que les temps de mouvements, est relié à un PC qui recueille l'ensemble des données.

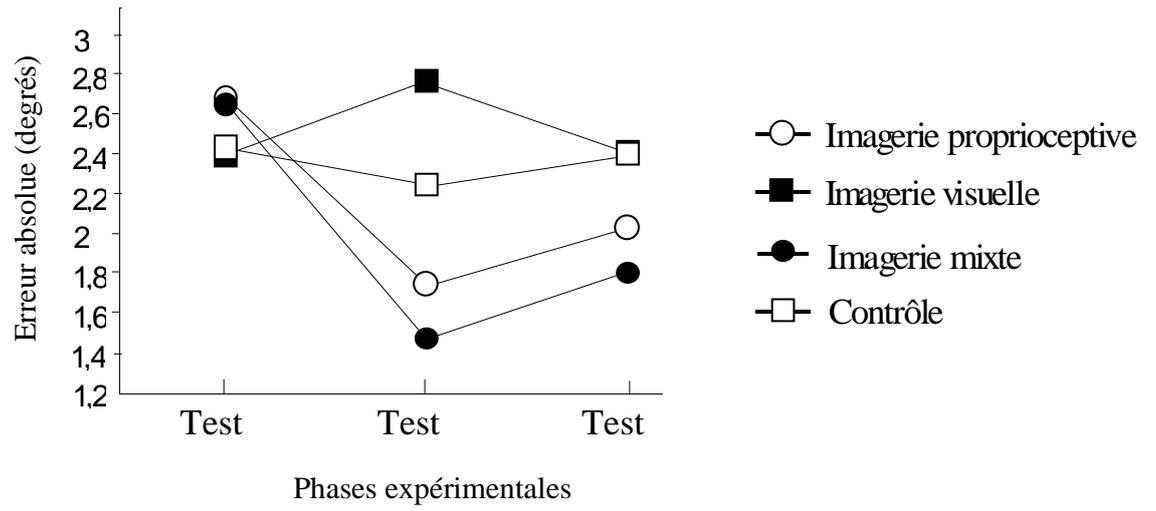


Figure 8 : Représentation graphique de l'erreur absolue (EA) (en degrés) en fonction des groupes d'imageries : imagerie proprioceptive, imagerie visuelle, imagerie mixte (et contrôle pour la seconde analyse) et des phases expérimentales.

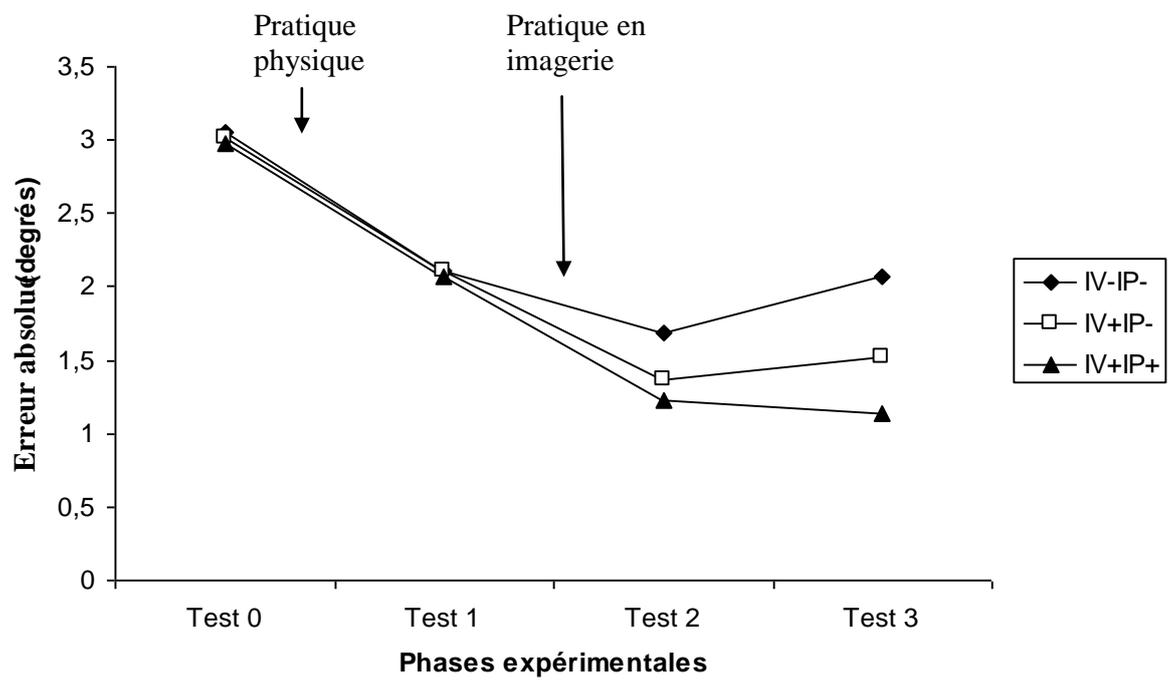


Figure 9 : Illustration de l'Erreur Absolue (en degrés) en fonction des phases expérimentales et des capacités d'imagerie. Rappelons que les Tests 0 et 1 ont été réalisés respectivement avant et après la phase de pratique physique, les Tests 2 et 3 10' et 48h après la phase de pratique mentale.

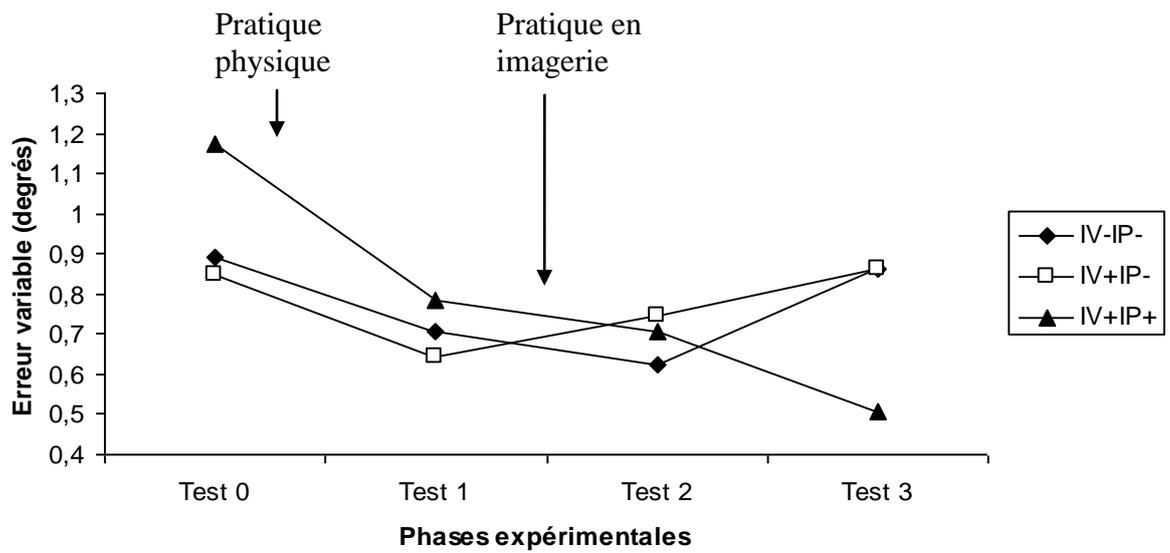


Figure 10 : Illustration de l'Erreur Variable (en degrés) en fonction des phases expérimentales et des capacités d'imagerie. Rappelons que les Tests 0 et 1 ont été réalisés respectivement avant et après la phase de pratique physique, les Tests 2 et 3 10' et 48h après la phase de pratique mentale.

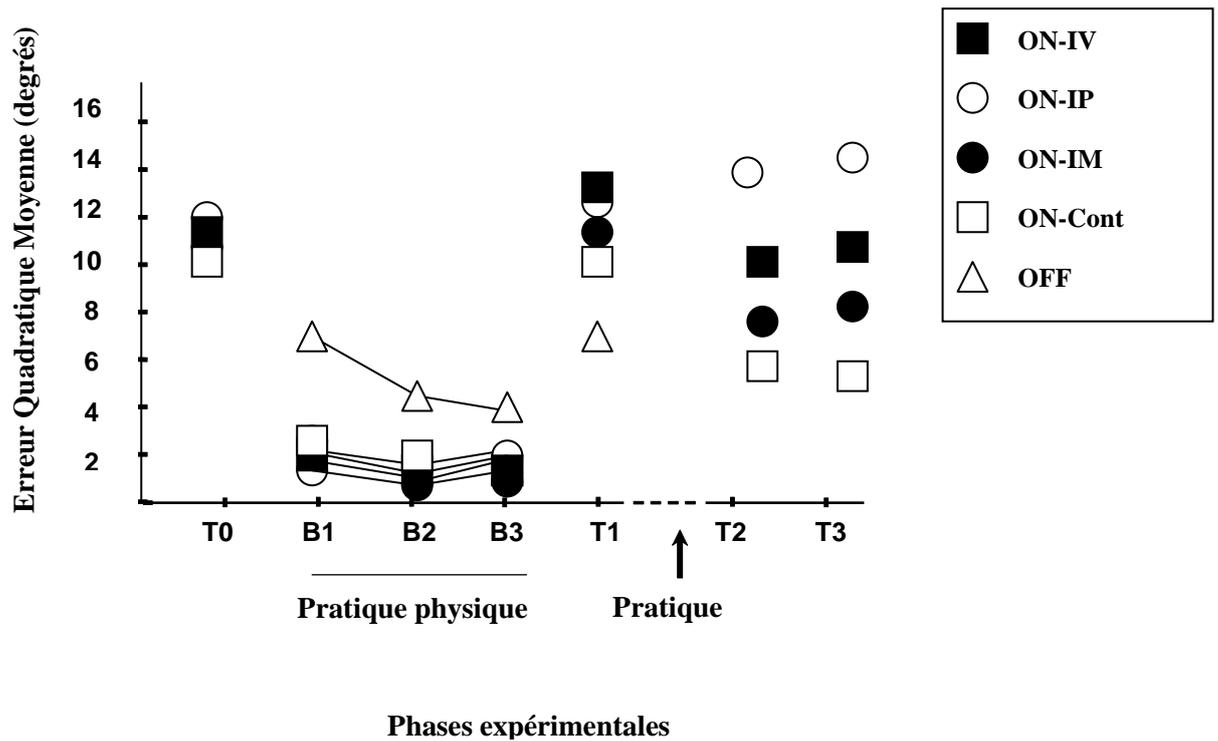


Figure 12 : Illustration de l'Erreur Quadratique Moyenne (en degrés) en fonction des phases expérimentales et des groupes. Le nom des groupes fait référence respectivement aux conditions de pratique physique (ON : laser-on / OFF : laser-off) et aux conditions d'imagerie (IV : imagerie visuelle ; IP : imagerie proprioceptive, IM : imagerie mixte, Cont : groupe contrôle réalisant une tâche de lecture). Les tests 0 à 3 (T0, T1, T2 et T3) ont tous été réalisés en condition laser-off.

□ Imagerie Proprioceptive    ○ Imagerie Mixte  
 ● Imagerie Visuelle        ■ Contrôle

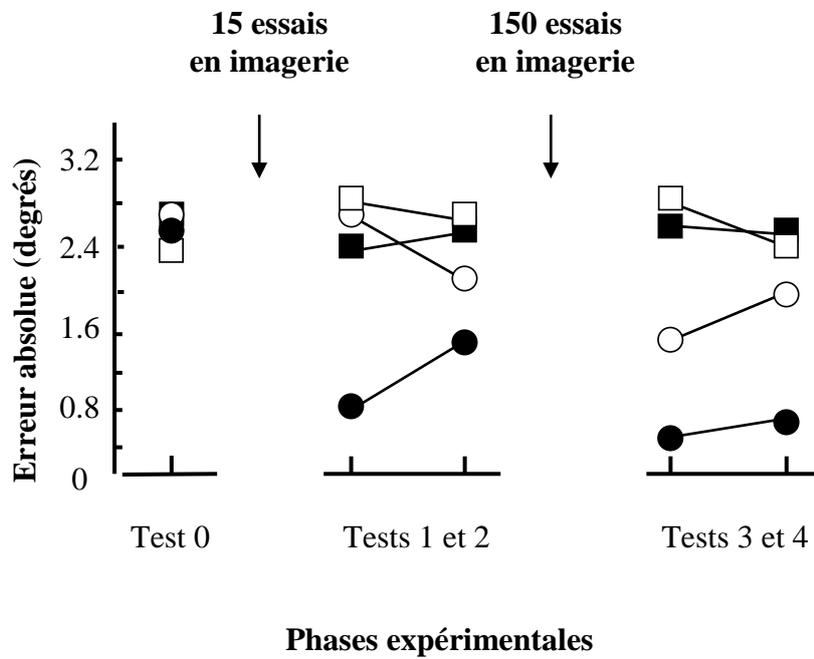


Figure 13 : Illustration de l'Erreur absolue (en degrés) en fonction des phases expérimentales et des groupes pour l'expérience 4 dans laquelle les informations visuelles et proprioceptives étaient disponibles.

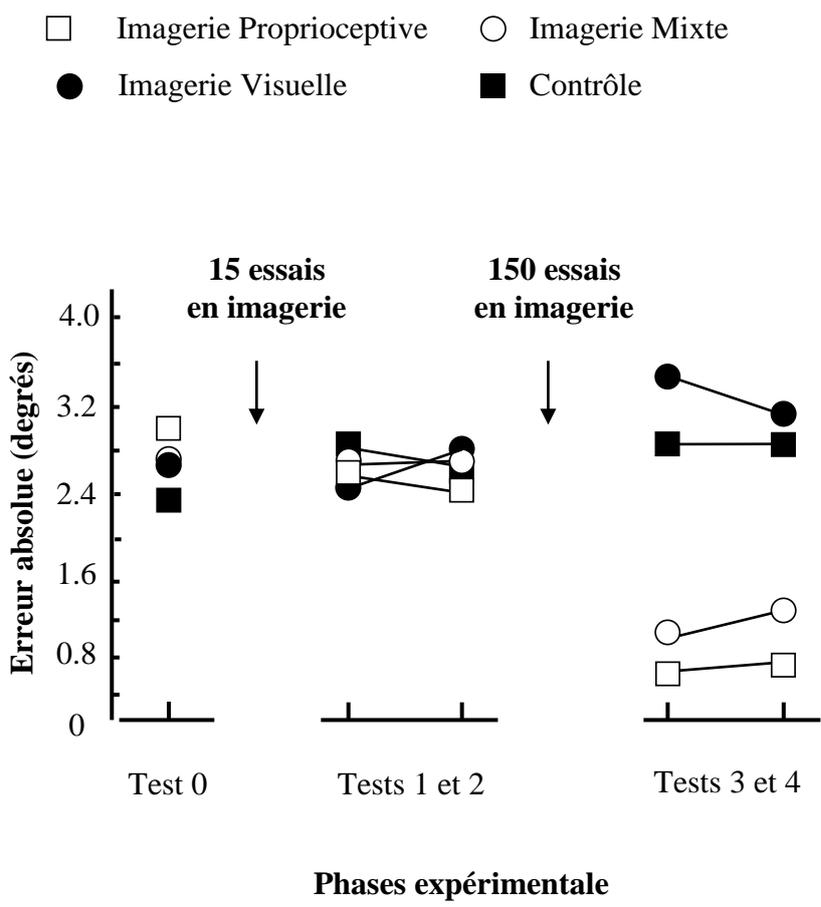


Figure 14 : Illustration de l'Erreur absolue (en degrés) en fonction des phases expérimentales et des groupes pour l'expérience 5 dans laquelle seule les informations proprioceptives étaient disponibles.

# INDEX DES TABLEAUX

## INDEX DES TABLEAUX

### CHAPITRE 2 : LES DETERMINANTS DE L'IMAGERIE MENTALE p12

**Tableau 1** : Les différentes modalités utilisées lors de la pratique en imagerie mentale.

### CHAPITRE 3 : SIMILARITE ENTRE PRATIQUE REELLE ET PRATIQUE EN IMAGERIE p24

**Tableau 2** : Durée des actions simulées (D'après Guillot et al., 2005). La similarité fonctionnelle entre les actions réelles et les actions mentalement simulées semble être conditionnée par le type de tâche mais aussi par les contraintes environnementales.

### CHAPITRE 4 : APPRENTISSAGE MOTEUR p34

**Tableau 3** : Exemples d'études utilisant un paradigme de transfert des conditions d'apprentissage. V = vision, P = proprioception, V + P = vision plus proprioception disponible dans la tâche.

### CHAPITRE 5 : EXPERIENCES p42

**Tableau 4** : Résumé des tâches (Pos. Segm. = tâche de positionnement segmentaire / pointage), contextes sensoriels (V : vision / P : proprioception), capacité d'imagerie (IV+IP+ : bons imageurs / IV-IP- : mauvais imageurs / IV+IP- : bons imageurs en vision et mauvais imageurs en proprioception), nombre d'essais (15 / 90 / 150) et modalités de pratique en imagerie (IV : imagerie visuelle / IP : imagerie proprioceptive / IM : imagerie mixte / Cont : contrôle) mis en œuvre dans chacune des expériences.

## EXPERIENCE 1

p48

**Tableau 5** : Procédure expérimentale utilisée dans l'expérience 1. Les Tests 0, 1 et 2 ont été réalisés en présence uniquement des informations proprioceptives (P), les sujets ayant les yeux fermés.

## EXPERIENCE 2

p56

**Tableau 6** : Procédure expérimentale utilisée dans l'expérience 3. Les Tests 0, 1, 2 et 3 ont été réalisés en présence uniquement des informations proprioceptives (P), les sujets ayant les yeux fermés. IP = pratique en imagerie proprioceptive, IM = pratique en imagerie mixte. Lors de la pratique physique les sujets ont réalisé 15 essais en présence (V+P) ou non (P) des informations visuelles.

## EXPERIENCE 4

p71

**Tableau 7** : Procédure expérimentale utilisée dans l'expérience 4. Les Tests 1 et 3, 2 et 4 ont été réalisés respectivement 10' et 24h après les phases d'acquisition. Les informations visuelles (reflet dans le miroir) et proprioceptives (V + P) étaient disponibles lors des Tests 0, 1, 2, 3 et 4.

## EXPERIENCE 5

p75

**Tableau 8** : Procédure expérimentale utilisée dans l'expérience 5. Seules les informations proprioceptives étaient disponibles lors des Tests 0, 1, 2, 3 et 4. Les Tests 1 et 3, 2 et 4 ont été réalisés respectivement 10' et 24h après les phases d'acquisition.

Tableau 1 : Les différentes modalités utilisées lors de la pratique en imagerie mentale.

<b>Modalités d'imagerie :</b>	<b>Définition :</b>
Imagerie visuelle externe	Elle consiste à s'imaginer se voir à la troisième personne, c'est-à-dire du point de vue du « spectateur », réaliser une action donnée.
Imagerie visuelle interne	Elle a pour consigne de s'imaginer voir les changements découlant d'une ou de plusieurs actions du point de vue de l' « exécutant ».
Imagerie proprioceptive	C'est l'évocation mentale des sensations (contractions, relâchement, étirement...) générées durant la réalisation des actions.
Imagerie auditive	Elle consiste à se représenter mentalement les sons ou rythmes accompagnant la réalisation d'un mouvement comme la musique lors d'une chorégraphie en danse par exemple.
Imagerie tactile	Elle va consister à retrouver mentalement les contacts réalisés par l'environnement ou le corps lui-même sur soi.
Imagerie olfactive	Elle est associée à l'évocation mentale des senteurs, odeurs accompagnant les actions ou se trouvant dans l'environnement du sujet.

Tableau 2 : Durée des actions simulées (D'après Guillot & Collet, 2005). La similarité fonctionnelle entre les actions réelles et les actions mentalement simulées semble être conditionnée par le type de tâche mais aussi par les contraintes environnementales.

<b>Les mouvements imaginés et réels ont des durées similaires</b>		
Unestahl (1983)	Ski	Ces résultats mettent en évidence que l'imagerie motrice conserve les caractéristiques temporelles du mouvement. Les durées des mouvements simulés étaient similaires aux durées enregistrées lors des pratiques réelles. La durée des actions réelles et des simulations mentales des habiletés fermées ou cycliques est basée sur des mécanismes communs.
Decety et Michel (1989)	Dessin	
Decety et al. (1989)	Marche	
Barr et Hall (1992)	Lancer	
Mc Intyre et Moran (1996 a, b)	Canoë-Kayak	
Moran (1996)	Canoë-Kayak	
Watson et Ruby (1996)	Dessin	
Berthoz et al. (1996)	Marche	
Oishi et al. (2000)	Patinage	
Papaxanthis et al. (2002)	Marche et dessin	
Munzert (2002)	Pédalo	
Barthais (1998)	Plongeon	Bien que les résultats montrent que les mouvements simulés sont sous-estimés en comparaison avec la pratique réelle, les experts ont des durées de simulations mentales des actions très proches de celles des mouvements réels.
Deschaumes-Molinaro et al. (1991, 1992)	Tir	
<b>Durées d'imageries motrices sous-estimées</b>		
Barthais (1998)	Chute libre	En accords avec les résultats des études de Denis et al. (1989) et Isaac (1992), les résultats mettent en évidence que les athlètes ayant peu d'expérience ont plus de difficultés à se représenter précisément les mouvements : ils simulent des séries de figures.
Collet et al. (1999)	Soulevé de charge	Il était demandé aux sujets de simuler la préparation mentale, de se concentrer et d'exécuter des phases. La préparation et la concentration étaient sous-estimées. Au cours de l'imagerie mentale, les sujets imaginent trouver les conditions de préparation plus rapidement qu'au cours de la pratique réelle.
Munroe et al. (2000)	Golf, Softball, Natation, Tennis, Athlétisme, Volley-Ball et Lutte	Parce que les sujets utilisent fréquemment l'imagerie motrice juste avant la compétition, les durées des mouvements simulés sont sous-estimées par rapport aux durées des actions réelles. Cette contrainte de temps est la cause principale évoquée par les sujets afin de justifier l'accélération du rythme au cours de l'imagerie.
<b>Durées d'imagerie motrices sur-estimées</b>		
Decety et Boisson (1990)	Marche	Les résultats montrent que les sujets ne reproduisent pas l'estimation de la durée des actions réelles. La durée des mouvements simulés augmente avec la difficulté de la tâche.
Ceritelli et al. (2000)	Pointage	
Guillot et al. (résultats présentés)	Tennis et Gymnastique	La durée des représentations mentales des mouvements rapides est sur-estimée en comparaison avec les performances réelles.
Beyer (1990)	Nage	La durée des nages imaginées est plus longue que celle des nages réelles. C'est un résultat surprenant car ce n'est pas un mouvement rapide (35 à 38 s).

**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adams, J., Goetz, T., & Marshall, P. (1972). Response feedback and motor learning. *Journal of Experimental Psychology*, 92 (3), 391-397.
- Adams, J. A., Gopher, D., & Lintern, G. (1977). Effects of visual and proprioceptive feedback on motor learning. *Journal of Motor Behavior*, 9, 11-22.
- Annett, J. (1988). Imagery and skill acquisition. "Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on "Imagery and Cognition".
- Annett, J. (1990). *Relations between verbal and gestural explanations*. In *Cerebral Control of Speech and Limb Movements*, G. R. Hammond (Editor), pp. 327-346. North Holland, Amsterdam.
- Annett, J. (1994). The learning of motor skills: sports science and ergonomics perspectives. *Ergonomics*, 37(1), 5-16. Review.
- Annett, J. (1995). Motor imagery: perception or action? *Neuropsychologia*, 33, 11, 1395-1417.
- Annett, J. (1996). On knowing how to do things: a theory of motor imagery. *Cognitive Brain Research*, 3, 65-69.
- Atienza, F., Balaguer, I., & Garcia-Merita, M.L. (1994). Factor Analysis and reliability of the movement imagery questionnaire. *Perceptual Motor Skills*, 78 (3), 1323-1328.
- Bakker, F. C., Boschker, M. S., & Chung, T. (1996). Changes in muscular activity while imaginig weight-lifting using stimulus or response propositions. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 18, 313-324.
- Barr, K., & Hall, C. R. (1992). The use of imagery by rowers. *International Journal of Sport Psychology*, 23, 243-261.

Barthalais, A. (1998). Image mentale et parachutisme. Entraînement mental et sport de haute performance. *Cahiers de L'I.N.S.E.P.*, 22, 195-213.

Betts, G. H. (1909). *The distribution and functions of mental imagery*. New York: Teachers College, Columbia University.

Bibeaud, J., & Courbois, Y. (1998). *Image mentale et développement*. Paris : PUF.

Birch, H. G., & Lefford, A. (1967). Visual Differentiation, Intersensory Integration, and Voluntary Motor Control. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 32: 1-87.

Bonnet, M., Decety, J., Jeannerod, M., & Requin, J. (1997). Mental simulation of an action modulates the excitability of spinal reflex pathways in man. *Cognitive Brain Research*, 5, 221-228.

Boschker, M. (2001). *Action-based imagery: On the nature of mentally imagined motor actions* (doctoral thesis). Vrije Universiteit Amsterdam, The Netherlands: Ipskamp PrintPartners.

Bouche, J-L., Velay, J-L., & Paillard, J. (1992). Evolution des erreurs en direction et en distance dans une tâche de pointage d'une cible visuelle ou proprioceptive. *Science Technique Activités Physiques Sportives*, 27: 21-29.

Bouet, V., Gahéry, Y. (2000). Muscular exercise improves knee position sense in humans. *Neurosciences Letters*, 289, 143-146.

Cadopi, M. (1992). *Les Apprentissages Moteurs en Danse*. In M. Arguel (Ed.), *Danse le Corps Enjeu*. (pp.147-157). Paris : PUF.

Cadopi, M. (1994). Sportif et danseur : représentations pour l'action chez de jeunes pratiquants. *Enfance*, 2, 247-263.

Callow, N., & Hardy, L. (2004). The relationship between the use of kinaesthetic imagery and different visual imagery perspectives. *Journal of Sports Sciences*.

Calmels, C., & Fournier, J. F. (2001). Duration of physical and mental execution of routines. *The Sport Psychologist*, *15*, 142-150.

Campos, A., & Pérez, M. (1990). A factor analytic study of two measures of mental imagery. *Perceptual and Motor Skills*, *71*, 995-1001.

Carrozzo, M., McIntyre, J., Zago, M., & Lacquaniti, F. (1999) Viewer-centered and body-centered frames of reference in direct visuomotor transformations. *Experimental Brain Research*, *129*, 201-210.

Cerritelli, B., Maruff, P., Wilson, P., & Currie, J. (2000). The effect of an external load on the force and timing components of mentally represented actions. *Behavioral Brain Research*, *108(1)*, 91-6.

Clark, F. J., & Horch, K.W. (1986). "Kinesthesia." In: *Handbook of Perception and Human Performance v.1 Sensory Processes and Perception*. (KR Boff, L Kaufman & JP Thomas, eds.) Wiley, New York. pp. 13-1 - 13-62.

Collet, C., Guillot, A., Bolliet, O., Delhomme, G., & Dittmar, A. (2003) Corrélats neurophysiologiques des processus mentaux enregistrés en situation réelle par micro-capteurs non invasifs. *Science et Sports*, *18*, 74-85.

Collet, C., Roure, R., Delhomme, G., Dittmar, A., Rada, H., & Vernet –Maury, E. (1999). Autonomic nervous system responses as performance indicators among volleyball players. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *80*, 41-51.

Collins, D., & Hale, B.D. (1997). Getting closer ... but still no cigar! Comments on Bakker, Boschker, and Chung (1996). *Journal of Sport & Exercise Psychology*, *19*, 207-212.

Corlett, J. T., Anton, J., Kozub, S. & Tardif, M. (1989). Is locomotor distance estimation guided by visual imagery? *Perceptual and Motor Skills*, 69, 1267-1272.

Coull, J., Tremblay, L., & Elliott, D. (2001). Examining the specificity of practice: is learning modality specific? *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 72, 345-354.

Crémieux J, Mesure S. (1994). Differential sensitivity to static visual cues in the control of postural equilibrium in man. *Perceptual Motor Skills*, 78, 67-74.

Davidson, R., & Schwartz, G. (1977). Brain mechanisms subserving self-generated imagery: electrophysiological specificity and patterning, *Psychophysiology*, 14, 598-601.

Decety, J. (1993). Analysis of actual and mental movement times in graphic tasks. *Acta Psychologica (Amst)*, 82(1-3), 367-72.

Decety, J. (1996). Do executed and imagined movements share the same central structures? *Cognitive Brain Research*, 3, 87-93.

Decety, J., & Lindgren, M. (1991). Sensation of effort and duration of mentally executed actions. *Scandinavian Journal of Psychology*, 32, 97-104.

Decety, J., & Michel, F. (1989). Comparative analysis of actual and mental movement times in two graphics tasks. *Brain and Cognition*, 11, 87-97.

Decety, J., & Grèzes, J. 1999. Neural mechanisms subserving the perception of human actions. *Trends in Cognitive Science*, 3, 172-178.

Decety, J., Jeannerod, M., & Prablanc, C. (1989). The timing of mentally represented actions. *Behavioural Brain Research*, 34, 35-42.

Decety, J., Jeannerod, M., Germain, M., & Pastene, J. (1991). Vegetative response during imagined movement is proportional to mental effort. *Behavioural Brain Research*, 42, 1-5.

Denis, M. (1989). *Image et cognition*, Paris, P.U.F.

Denis, M., Cocude, M. (1989). Scanning visual images generated from verbal descriptions. *European Journal of Cognitive Psychology*, 1, 293-307.

Deschaumes-Molinario, C., Dittmar, A., & Vernet-Maury, E. (1991). Relationship between mental imagery and sporting performance. *Behavioural Brain Research*, 45, 29–36.

Deschaumes-Molinario, C., Dittmar, A., & Vernet-Maury, E. (1992) Autonomic nervous system response patterns correlate with mental imagery. *Physiology and Behaviour*, 51, 1021-1027.

Desmurget, M., Rossetti, Y., Jordan, M., Meckler, C., & Prablanc, C. (1997). Viewing the hand prior to movement improves accuracy of pointing performed toward the unseen contralateral hand. *Experimental Brain Research*, 115, 180–186.

Driskell, J. E., Cooper, C., & Moran, A. (1994). Does mental practice enhance performance? *Journal of Applied Psychology*, 79, 481-492.

Elliott, D., & Jaeger, M. (1988). Practice and the visual control of manual aiming movements. *Journal of Human Movement studies*, 14, 279-291.

Epstein, M. (1980). The relationship of mental imagery and mental rehearsal to performance of a motor task. *Journal of Sport Psychology*, 2, 211-220.

Ernest, C. H., (1977). Imagery ability and cognition: a critical review. *Journal of Mental Imagery* 1 (2), 181-216.

Etnier, J. L., & Landers, D. M. (1996). The Influence of Procedural Variables on the Efficacy of Mental Practice. *The Sport Psychologist*, 10, 48-57.

Euzet, J.-P. (1994). *Kinesthésie et motricité : évaluation uni et plurimodale du sens de la position. Influence de la pratique physique et de l'âge*. Thèse de doctorat non publiée, Université d'Aix Marseille II, Marseille.

Euzet, J.-P., & Gahery, Y. (1995). Relationships between position sense and physical practice. *Journal of Human Movement study*, 28, 149-173.

Euzet, J.-P., & Gahery, Y. (1996). Kinesthésie et motricité : Influence de la pratique sur le sens de la position. *Science et Motricité*, 29-30, 30-40.

Euzet, J.-P., & Gahery, Y. (1998). Evaluation du sens de la position. Influence de la pratique physique et de l'âge. *STAPS*, 46-47, 99-109.

Euzet, J.-P., & Gahery, Y. (1998). Position sense in adolescents. Comparison with adults and sports-trained subjects. *Journal of Human Movement study*, 35, 51-71.

Feltz, D. L., & Landers, D. M. (1983). The effects of mental practice on motor skill learning and performance : A meta-analysis. *Journal of Sports Psychology*, 5, 25-57.

Féry, Y. A. (2003). Differentiating visual and kinesthetic imagery in mental practice. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 57, 1-10.

Féry, Y. A., & Morizot, P. (2002). Kinesthetic and visual images in modelling closed motor skills : the example of the tennis serve. *Perceptual and Motor Skills*, 90, 707-722.

Fitts, P. M., & Posner, M. I. (1967). *Learning and skilled performance in human performance*. Belmont CA: Brock-Cole.

Fleishman, E., & Rich, A. (1963). Role of kinesthetic and spatial-visual abilities in perceptual-motor learning. *Journal of Experimental Psychology*, 66, 6-11.

Gerardin E, Sirigu A, Lehericy S, Poline JB, Gaymard B, Marsault C, Agid Y, & Le Bihan D. (2000). Partially overlapping neural networks for real and imagined hand movements. *Cereb Cortex*, 10, 1093-1104.

Ghez, C., Gordon, J., & Ghilardi, M. F. (1995). Impairments of reaching movements in patients without proprioception. Effects of visual information on accuracy. *Journal of Neurophysiology*, 73(1), 361-72.

Gordon, R. (1949). An investigation into some of the factors that favour the formation of stereotyped images. *British Journal of Psychology*, 39, 156–167.

Goss, S., Hall, C. R., Buckolz, E., & Fishburne, G. J. (1986). Imagery ability and the acquisition and retention of movements. *Memory and Cognition*, 14, 469-477.

Guillot A. (2004). Thèse de Doctorat : .

Guillot, A., Collet, C., Dittmar, A., Delhomme, G., Delemer, C. & Vernet-Maury, E. (2003). The effect of physiological activation on performance in shooting: evaluation through neurovegetative indices. *Journal of Psychophysiology*, 17, 214-223.

Guillot, A., Collet, C. (2005). Duration of mentally simulated movement: a review. *Journal of Motor Behaviour*, 37(1), 10-20.

Guillot, A., Collet, C., & Dittmar, A. Influence of environmental context on motor imagery quality. *Biology of Sport*. (in press).

Gullaud, L., & Vinter, A. (1996). The role of visual and proprioceptive information in mirror-drawing behavior. In M.L. Simner, C.G. Leedham & A.J.M. Thomassen (Eds.), *Handwriting and drawing research: Basic and applied issues* (pp. 99-113), IOS Press.

Gullaud-Toussaint, L., & Vinter, A. (2003). The effect of discordant sensory information in graphic production: two distinct subject groups. *Psychological Research*, 67(4), 291-302.

Hall, C. R. (1998). Measuring Imagery Abilities and Imagery Use. In J.L. Duda (Ed.), *Advances in sport and exercise psychology measurement* (pp. 165-172). Morgantown, WV: Fitness Information Technology.

Hall, C. R. (2001). *Measurement Imagery Abilities and Imagery Use. Advances in Sport and Exercise Psychology Measurement*. Purdue University Editor, 9, 165-172.

Hall, C. R., & Pongrac, J. (1983). Movement Imagery Questionnaire. London, Ontario : University of Western Ontario.

Hall, C. R., & Martin, K. A. (1997). Measuring movement imagery abilities: A revision of the Movement Imagery Questionnaire. *Journal of Mental Imagery*, 21, 143-154.

Hall, C. R., Bernoties, L., & Schmidt, D. (1995). Interference effects of mental imagery on a motor task. *Brain Journal of Psychology*, 86, 181-190.

*Hall, C. R., Buckolz, E., & Fishburne, G. J. (1989). Searching for a relationship between imagery ability and memory of movements. Journal of Human Movement Studies, 17, 89-100.*

Hall, C. R., Buckolz, E., & Fishburne, G. J. (1992). Imagery and the Acquisition of Motor Skills. *Canadian Journal of Sport Science*, 17, 1, 19-27.

Hall, C. R., Pongrac, J., & Buckolz, E. (1985). The measurement of imagery ability. *Human Movement Science*, 4, 107-118.

Hall, C. R., Mack, D., Paivio, A., & Hausenblas, H. (1998). Imagery use by athletes: Development of the sport imagery questionnaire. *International Journal of Sport Psychology*, 29, 73-89.

Hall, C. R., Moore, J., Annett, J., & Rodgers, W. (1997). Recalling demonstrated and guided movements using imaginary and verbal rehearsal strategies. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 68 (2), 136-144.

Hardy, L. (1997). The Coleman Roberts Griffith address: Three myths about applied consultancy during motor imagery. *Journal of Physiological and Anthropological Applications to Human Science*, 19, 255-261.

Hardy, L., & Callow, N. (1999). Efficacy of external and internal visual imagery perspectives for the enhancement of performance on tasks in which form is important. *Journal of Sport and Exercise Psychology, 21*, 95-112.

Hashimoto, R., & Rothwell J. C. (1999). Dynamic changes in corticospinal excitability during motor imagery. *Experimental Brain Research, 12*, 75-81.

Ingvar D, H & Philipson, L. (1977). Distribution of cerebral blood flow in the dominant hemisphere during motor ideation and motor perf. *Annales. Neurol., 2*, 230-237.

Isaac, A. (1992). Mental practice- does it work in the field? *The Sport Psychologist, 6*, 192-198.

Isaac, A., Marks, D. F., & Russell, D. G. (1986) An instrument for assessing imagery of movement: The Vividness of Movement Imagery Questionnaire (VMIQ). *Journal of Mental Imagery, 10*, 23-30.

Ishai, A., Ungerleider, L. G., & Haxby, J. V. (2000). Distributed neural systems for the generation of visual images. *Neuron, 28*, 979-990.

Jacobson, E. (1931). Electrical measurements of neuromuscular states during mental activities. *American Journal of Physiology, 96*, 115-121.

Jacobson, E. (1932). Electrophysiology of mental activities. *American Journal of Psychology, 44*, 677-694.

Jeannerod, M. (1988). *The Neural and Behavioural Organization of Goal-Directed Movements*. Oxford: Clarendon Press.

Jeannerod, M. (1994). The representing brain. Neural correlates of motor intention and imagery. *Behavioral and Brain Sciences, 17*, 187-245.

Jeannerod, M. (1999). The 25<sup>th</sup> Bartlett Lecture. To act or not to act: perspectives on the representation of actions. *Quarterly Journal of Experimental Psychology A, 52*, 1-29.

Kohl, R. M., & Roenker, D. L. (1983). Mechanisms involvement during skill imagery. *Journal of Motor Behavior*, 15, 179-190.

Kosslyn S. M. (1973). Scanning visual images: Some structural implications. *Perception and Psychophysics*, 14, 90-94.

Kosslyn, S. M. (1980). *Image and Mind*. Harvard University Press, Cambridge MA.

Kosslyn. S. M. (1994). *Image and brain: The resolution of the imagery debate*, MIT Press, Cambridge MA.

Kosslyn, S. M. (1995). Mental imagery. In A. Kuper and J. Kuper (Eds.), *The social science encyclopedia--edition 2*. London: Routledge, 532-533.

Kosslyn, S. M., Ball, T. M., & Reiser, B. J. (1978). Visual images preserve metric spatial information: evidence from studies of image scanning. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 4, 47-60.

Lajoie, Y., Paillard, J., Teasdale, N., Bard, C., Fleury, M., Forget, R., & Lamarre, Y. (1992). Mirror drawing in a deafferented patient and normal subjects: visuoproprioceptive conflict. *Neurology*, 42, 1104-1106.

Landers, D. M. and Landers D. M. (1973) Teacher versus peer models: Effects of model's presence and performance level on motor behavior. *Journal of Motor Behavior*, 5(3): 129-139.

Lang, P. J., (1979). A bio-informational theory of emotional imagery. *Psychophysiology*, 16, 495-512.

Lang, P. J. (1985) The cognitive psychophysiology of emotion: Fear and anxiety. In A.H. Tuma and J.D. Maser (Eds.), *Anxiety and the anxiety disorders*. Hillsdale, NJ: Erlbaum. pp. 131-170.

Lang, P. J., Melamed, B. G., & Hart, J. A. (1970). A psychophysiological analysis of fear modification using an automated desensitization procedure. *Journal of Abnormal Psychology, 76*, 229-234.

Lhuisset, L., & Proteau, L. (2004). Planning and Control of Straight-Ahead and Angled Planar Movements in Adults and Young Children. *Canadian Journal of Experimental Psychology, 58*, 245-258.

Lönn, J., Crenshaw, A. G., Djupsjöbacka, M., Pedersen, J., & Johansson, H. (2000): Position sense testing: Influence of starting position and type of displacement. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 81*, 592-597.

Magill, R. A. (1998). Knowledge is more than we can talk about: Implicit learning in motor skill acquisition. *Research Quarterly for Exercise and Sport, 69*, 104-110.

Mahoney, M. J., & Avenier, M. (1977). Psychology of the elite athlete : An exploratory study. *Cognitive Therapy Research, 1*, 135-141.

Marks, D. F. (1973). Visual imagery differences in the recall of pictures. *British Journal of Psychology, 64(1)*, 17-24.

McIntyre, T., & Moran, A. (1996). *Imagery Use Among Canoeists: A worldwide Survey of Non-elite and Elite Slalomists*. 27<sup>th</sup> Annual Conference, Psychological Society of Ireland, Waterford.

Mellet, E., Petit, L., Mazoyer, B., Denis, M., & Tzourio, N. (1998). Reopening the imagery debate: Lessons from functional anatomy. *NeuroImage, 8*, 129-139.

Mellet, E., Tzourio, N., Pietrzyk, U., Raynaud, L., Denis, M., & Mazoyer, B. (1993). Visual perception versus mental imagery: A PET activation study. *Journal of Cerebral Blood Flow Metabolism, 13*, S536.

Miller, G.A., Galanter, E., & Pribram, K.H. (1960). *Plans and the Structure of Behavior*. New York: Holt, Rinehart & Winston.

Morris, P. E., & Hampson, P. J. (1983). *Imagery and consciousness*. New York: Academic Press.

Mumford, B., & Hall, C. R. (1985). The effects of internal and external imagery on performing figures in figure skating. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences*, *10*, 171-177.

Munroe, K., Hall, C., Simms, S., & Weinberg, R. (1998). The influence of type of sport and time of season on athletes' use of imagery. *The Sport Psychologist*, *12*, 440-449.

Murphy, S. (1990). Models of Imagery in Sport Psychology: A Review. *Journal of Mental Imagery*, *14* (3&4), 153-172.

Murphy, S. M. (1994). Imagery interventions in sport. *Medical Science Sports Exercise*, *26*(4), 486-94.

Noel, R. C. (1980). The effect of visuo-motor behavioral rehearsal training on tennis service performance. *Journal of Sport Psychology*. *2*, *3*, 221-226.

Oishi K, Kasai T & Maeshima T (2000). Autonomic response specificity during motor imagery. *Journal of Physiological and Anthropological Applications to Human Science*, *19*, 255-261.

Page, S. J, Levine, P., Sisto, S. A, Johnston, M. V. (2001). A randomized efficacy and feasibility study of imagery in acute stroke. *Clinical Rehabilitation* ;*15*, 233-240.

Paillard, J., & Brouchon, M. (1968). *Active and passive movements in the calibration of position sense*. In: *The neuropsychology of spatially oriented behavior* (Freedman SJ, ed), pp 37–55. Homewood, IL: Dorsey.

Paivio, A. (1969). Mental imagery in associative learning and memory. *Psychology Review*, *76*, 241-263.

Paivio, A. (1971). *Imagery and Verbal Processes*. New York: Holt, Rinehart & Winston.

Paivio, A. (1975). Imagery and Long-term Memory. In A. Kennedy et A. Wilkes (éd.): *Studies in Long-term Memory*. New York: Wiley.

Paivio, A. (1985). Cognitive and motivational functions of imagery in human performance. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences*, 10(4), 22S-28S.

Paivio, A. (1986). *Mental Representations: A Dual-coding Approach*. New York: Oxford University Press.

Papaxanthis, C., Schieppati, M., Gentili, R., & Pozzo, T. (2002). Imagined and actual arm movements have similar durations when performed under different conditions of direction and mass. *Experimental Brain Research*, 143, 447-452.

Parsons, L. M., (1987). Imagined spatial transformations of one's hands and feet. *Cognitive Psychology*, 19, 178-241.

Paulignan, Y., MacKenzie, C., Marteniuk, R., & Jeannerod, M. (1990). The coupling of arm and finger movements during prehension. *Experimental Brain Research*, 79, 431-435.

Polit, A., & Bizzi, E. (1979). Characteristics of motor programs underlying arm movements in monkeys. *Journal of neurophysiology*, 42, 183-194.

Proteau, L. (1992). On the specificity of learning and the role of visual information for movement control. In L. Proteau, & D. Elliot (Eds.), *Vision and motor control. Advances in Psychology No. 85* (pp. 67-103). Amsterdam, Netherlands: North-Holland.

Proteau, L. (1995). Sensory integration in the learning of an aiming task. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 49(1), 113-120.

Proteau, L., & Carnahan, H. (2001). What causes specificity of practice in a manual aiming movement: vision dominance or transformation errors? *Journal of Motor Behavior*, 33, 226-234.

Proteau, L., & Isabelle, G. (2002). On the role of visual afferent information for the control of aiming movements toward targets of different sizes. *Journal of Motor Behavior*, 34(4), 367-84.

Proteau, L., Martenuik, R. G., Girouard, Y., & Dugas, C. (1987). On the type of information used to control and learn an aiming movement after moderate and extensive training. *Human Movement Science*, 6, 181-199.

Proteau, L., Martenuik, R. G., & Lévesque, L. (1992). A sensorimotor basis for motor learning : evidence indicating specificity of practice. *Quarterly Journal of Experimental Psychology. A* 44, 557-575.

Proteau, L., Tremblay, L., & DeJaeger, D. (1998). Practice Does Not Diminish the Role of Visual Information for On-line Control of a Precision Walking Task : Support for the Specificity of Practice Hypothesis. *Journal of Motor Behavior*, 30(2), 143-150.

Pylyshyn, Z. W. (1973) What the mind's eye tells the mind's brain : A critique of mental imagery. *Psychological Bulletin*, 80, 1-25.

Pylyshyn, Z. W. (1981). *The Imagery Debate: Analogue Media Versus Tacit Knowledge*. Cambridge, Mass.: MIT Press.

Pylyshyn, Z. W. (1984). *Computation and cognition: Toward a foundation for cognitive science*. Cambridge, MA: MIT Press.

Redding GM, Wallace B (1988) Components of prism adaptation in terminal and concurrent exposure: organization of the eye-hand coordination loop. *Percept Psychophys* 44:59–68.

Richardson, A. (1969) *Mental imagery*. London: Routledge and Kegan Paul.

Robin, C., Toussaint, L., Blandin, Y., & Vinter A. (2004). Sensory integration in the learning of aiming toward remembered targets. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. December, 75, 4.

Robin, C., Toussaint, L., Blandin, Y., & Vinter, A. (2004). Sensory Integration in the Learning of Aiming Towards "Self-Defined" Targets. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 74, 381-387.

**Robin, N. (2005). L'imagerie mentale : un formidable outil pour progresser en Taekwondo. Taekwondo Choc, 46.**

Robin, N. (2005). Quel(s) type(s) d'imagerie utiliser pour progresser ? Taekwondo Choc, 47.

Robin, N., Dominique, L., Toussaint, L., Blandin, Y., Leher, M. (2005). Influence d'une pratique en imagerie sur la performance de joueurs de tennis experts. (soumis).

Robin, N., Toussaint, L., & Blandin, Y. Influence du type de pratique en imagerie sur la précision du sens de la position chez des sujets novices. *Science et Motricité*, in press.

Rodgers, W., Hall, C. R., & Buckolz, E. (1991). The effects of an imagery training program on imagery ability, imagery use and figure skating performance. *Journal of Applied Sport Psychology*, 3, 109-125.

Rodier, S., Euzet, J. P., Gahery, Y., & Paillard, J. (1991). Cross-modal versus intramodal evaluation of the knee joint angle. A normative study in a population of young adults. *Human Movement Science*, 10, 689-712.

Roland, P. E., Erikson, L., Stone-Elander, S., & Widen, L. (1987). Does mental activity change the oxydative metabolism of the brain? *Journal of Neuroscience*. 7, 2373-2389.

Roll, J. P., & Roll, R. (1988). From eye to foot: a proprioceptive chain involved in postural control. In *Posture and Gait: Development, Adaptation and Modulation*, ed. AMBLARD, B., BERTHOZ, A. & CLARAC, F., pp. 155-164. Elsevier, Amsterdam.

Rossetti, Y., Desmurget, M., & Prablanc, C. (1995). Vectorial coding of movement : vision, proprioception, or both ? *Journal of Neurophysiology*, 74(1), 457-463.

Roure, R., Collet, C., Deschaumes-Molinaro, C., Delhomme, G., Dittmar, A., & Vernet-Maury, E. (1999). Imagery quality estimated by autonomic response is correlated to sporting performance enhancement. *Physiology and Behavior*, 66, 63-72.

Ruby, P., & Decety, J. (2001). Effect of subjective perspective-taking during simulation of action : a PET investigation of agency. *Nature Neuroscience*, 4(5), 546-550.

Ryan, E. D., & Simons, J. (1982). Cognitive demand, imagery and frequency of mental rehearsal as factors influencing acquisition of motor skills. *Journal of Sport Psychology*, 3, 35-45.

Ryan, E. D., & Simons, J. (1983). What is learned in mental practice of motor skills: A test of the cognitive-motor hypothesis. *Journal of Sport Psychology*, 5, 419-426.

Sackett, R. S. (1934). The influences of symbolic rehearsal upon the retention of a maze habit. *Journal of General Psychology*, 10, 376 - 395.

Salmeh, L., Toussaint, L., & Robin, N. (2004). Spécificité des conditions d'apprentissage dans une tâche à dominante proprioceptive. Mémoire de Maîtrise réalisé à Faculté des Sciences du Sport de l'université de Poitiers.

Schmidt, R. A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, 82, 225-260.

Schmidt, R. A. (1993). *Apprentissage moteur et performance*. Paris : Vigot.

Schmidt, R. A., & Lee, T. (1999). *Motor Control and Learning: A Behavioral Emphasis*. 3rd ed. Champaign, IL: Human Kinetics.

Schmidt, R. A., & Wrisberg, C. A. (2004). *Motor Learning and Performance* (3rd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science, 171*, 701-703.

Shepard, R. N., Feng, C. (1972). A chronometric study of mental paper folding. *Cognitive Psychology, 3*, 228-243.

Sirigu, A., Daprati, E., Pradat-Diehl, P., Franck, N. & Jeannerod, M. (1999). Perception of self-generated movement following left parietal lesion. *Brain, 122*, 1867-1874.

Siegle, G. M., Schork, E. J., Pick, H. L & Garber, S. R. (1982). Parameters of auditory feedback. *Journal Speech Hear Research, 25 (3)*, 473-475.

Soucy, M. C., & Proteau, L. (2001). Development of multiple movement representations with practice: specificity versus flexibility. *Journal of Movement Behavior, 33*, 226-234.

Start, K. B., & Richardson, A. (1964). Imagery and mental practice. *British Journal of Educational Psychology, 34*, 280-284.

Theios, J. (1975). *The components of response latency in simple human information processing tasks*. In P. Rabbitt, & S. Dornic (Eds.), *Attention and performance 5* (pp. 418-440). London: Academic Press

Tremblay, L., & Proteau, L. (1998). Specificity of practice: The case of powerlifting. *Research Quarterly for Exercise and Sport, 69*, 284-289.

Tremblay, L., Welsh, T., & Elliott. (2001). Specificity versus variability : effects of practice conditions on the use of afferent information for manual aiming. *Motor Control, 5*, 347-360.

Velay, J. L. (1984). *Sens de la position. Les traitements sensori-moteurs des informations proprioceptives*. Thèse de Doctorat, Université d'Aix-Marseille II : 177p.

Velay, J. L., Roll, R., & Paillard, J. (1989). Elbow position sense in man: contrasting results in matching and pointing. *Human Movement Science*, 8, 177–193.

Vernet-Maury, E., Robin, O., Caterini, R., Delhomme, G., Dittmar, A. & Economides, S. (1996). Skin potential polarity, predictor index of emotional load. *Homeostasis*, 37, 145–154.

Vernet-Maury, E., Sicard, G., Dittmar, A. and Deschaumes-Molinaro, C. (1990) Autonomic nervous system preferential responses. *Act. Nerv. Sup.*, 32, 37–38.

Vieilledent, S. (1996). *Étude de la simulation d'un mouvement complexe en situation naturelle : le cas de l'escalade sportive*. Rapport de recherches en vue de l'obtention du D.E.A. de sciences cognitives.

Vindras, P., Desmurget, M., Prablanc, C., & Viviani, P. (1998). Pointing errors reflect biases in the perception of the initial hand position. *Journal of Neurophysiology*, 79, 3290-3294.

Weinberg, R. S. (1982). The relationship between mental preparation strategies and motor performance: a review and critique. *Quest*, 33, 195-213.

Weiss, T., & Hansen, E. (1994). Mental practice of motor skills used in poststroke rehabilitation has own effects on central Nervous activation. *International Journal of Neuroscience*, 78, 157-166.

White, A., & Hardy, L. (1995). Use of different imagery perspectives on the learning and performance of different motor skills. *British Journal of Psychology*, 86, 169-180.  
work.

Wilkin, J. K. & Trotter, J. K. (1987). Cognitive activity and cutaneous blood flow. *Archive of Dermatology*, 123(11), 1503-6.

Wrisberg, C. A., & Ragsdale, M. R. (1979). Cognitive demand and practice level: Factors in the mental rehearsal of motor skills. *Journal of Human Movement Studies*, 5, 201-208.

Yue, G., & Cole, K. J. (1992). Strength increases from the motor program. Comparison of training with maximal voluntary and imagined muscle contractions. *Journal of Neurophysiology*, 67, 1114-1123.

Young, R. P. & Zelaznik, H. N. (1992). The visual control of aimed hand movements to stationary and moving targets. *Acta Psychologica (Amst)*, 79(1), 59-78.

## SUMMARY

This present work examines the functional similarity between mental practice and physical practice with regard to the treatment of specific sensory modalities (visual and/or kinesthetic). Five experiments were performed to assess the influence of imagery modality (experiments 1, 2, 3 and 5) and imagery ability (experiments 1 and 2) on motor performance. These experiments used simple angular configuration reproduction tasks or aiming tasks performed with (experiments 3 and 4) or without (experiments 1, 2 and 5) visual information of ongoing movement. The main results showed that visual and/or kinesthetic imagery modalities did not have the same importance in each of these studies. Visual imagery practice permitted a higher increase of motor performance for aiming task (experiment 3) and for simple angular configuration reproduction task performed in front of a mirror (experiment 4). However, when the vision of the limb or of on-going movement was not available (experiments 1 and 5), no positive transfer appeared between visual and kinesthetic modalities. The higher movement accuracy was only observed when participants performed a kinesthetic imagery practice. This one is all the more beneficial as it is related to the facility to mentally simulate an action (« good imagers » versus « bad imagers », experiments 1 and 2). When visual imagery modality was the most suitable information (experiment 3 and 4), a mixed practice was not as efficient as visual imagery. On the other hand, performance accuracy for task that beneficiate of kinesthetic imagery practice (experiments 1, 2 and 5), was similar for mixed and kinesthetic imagery practices. Results are discussed in terms of factors that can induce imagery dominance, possible generalisation of the specificity of learning hypothesis to mental practice and expression of inter-individual differences concerning mental practice.

**Key words** : Imagery modality, Imagery ability, Mental practice, Sensory integration.

