BF
20.5
UL
2005
S588
C:2

ALAIN SIMARD

CARACTÉRISATION DES PARAMÈTRES MÉTHODOLOGIQUES ET ANALYSE DU SUBSTRAT NEURO-ANATOMIQUE IMPLIQUÉS DANS LA CONSOLIDATION D'UNE ADAPTATION SENSORI-MOTRICE

Thèse présentée
à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval
dans le cadre du programme de doctorat clinique en psychologie
pour l'obtention du grade de Philosophiae Doctor (Ph.D.)

FACULTÉ DES SCIENCES SOCIALES
UNIVERSITÉ LAVAL
QUÉBEC

2005

© Alain SIMARD, 2005

BIBLIOTHÈQUE
UNIVERSITÉ LAVAL

RÉSUMÉ

La littérature actuelle suggère que la consolidation de l'apprentissage d'une nouvelle habileté motrice est un phénomène peu robuste. D'une part, il n'y a pas de consensus quant à la conceptualisation de la mesure, la méthodologie et le substrat neuro-anatomique du phénomène qui sous-tend cette phase intermédiaire, située entre les phases rapide et lente de l'apprentissage. La présente thèse propose quatre expériences afin de 1) caractériser les paramètres méthodologiques, et 2) analyser le substrat neuro-anatomique impliqués dans la consolidation d'une adaptation sensori-motrice. Ces études sont réalisées à l'aide d'une tâche d'adaptation sensori-motrice auprès d'échantillons issus de la population saine et de deux échantillons issus de populations cliniques différentes. En plus de mieux comprendre les processus en jeu lors de la consolidation de ce type d'habileté motrice, les résultats de la présente thèse vont servir de base pour des études pharmacologiques et d'imagerie cérébrale et soutenir une nouvelle vision de la réadaptation.

RÉSUMÉ

Les études en réadaptation physique et sur la plasticité cérébrale démontrent que la pratique assidue et répétée d'une tâche motrice spécifique est essentielle au maintien et au développement d'une représentation interne de cette habileté motrice. À ce jour, peu de données existent concernant la consolidation de cette représentation interne acquise au cours de l'apprentissage d'une habileté, laquelle se mesure comportementalement par une amélioration spontanée de la performance, sans pratique additionnelle, entre deux sessions d'entraînement ou par l'incapacité d'une tâche interférente, insérée entre la phase d'acquisition et de rétention, de nuire à l'apprentissage de la tâche initiale.

La présente thèse propose quatre expériences afin de 1) caractériser les paramètres méthodologiques, et 2) analyser le substrat neuro-anatomique impliqués dans la consolidation d'une adaptation sensori-motrice. L'expérimentation s'effectue à l'aide d'une variante de la tâche informatisée de poursuite de cibles où la relation entre le mouvement du curseur et celui du levier est inversée. Les trois premières études sont réalisées à partir d'un échantillon de sujets sains. Les résultats de la première étude suggèrent que le processus de consolidation d'une adaptation sensori-motrice s'amorce très rapidement au cours du développement de la représentation interne et donc, que le nombre de blocs d'entraînement accordés au cours de la première session a peu d'effet sur celui-ci. Les résultats de la deuxième étude indiquent que le contenu des consignes administrées aux participants n'influence pas la consolidation de ce type de tâche toujours à la suite d'une période de latence de 24 heures. Les résultats de la troisième étude démontrent que le phénomène de consolidation s'amorce rapidement à la suite d'une période de latence de 5 à 8 heures entre les deux sessions d'entraînement avec ou sans l'utilisation d'une tâche interférente.

La quatrième étude réalisée à partir de deux échantillons de populations cliniques suggère que le striatum est important lors de la phase d'acquisition d'une adaptation sensori-motrice alors que le cervelet joue un rôle essentiel lors de la consolidation d'une adaptation sensori-motrice. Ensemble, ces résultats neuropsychologiques procurent un appui empirique au modèle neuro-anatomique de Doyon et Ungerleider (2002, 2003) sur l'apprentissage d'habileté motrice.

AVANT-PROPOS

Un doctorat, c'est un processus académique long et ardu qui s'inscrit dans le cheminement de vie d'un individu et qui ne pourrait être réalisé sans l'implication soutenue d'innombrables personnes qui gravitent quotidiennement autour des candidats. Je voudrais souligner humblement ici la contribution magistrale de certaines personnes.

D'abord, le Dr Julien Doyon qui dès le départ m'a confié une partie de ses travaux que j'ai fait progresser au rythme de son encadrement rigoureux et scientifique (mais o combien amical) et de ses conseils judicieux toujours appréciés. Il m'a également soutenu sans réserve dans mon programme d'étude, et ce, autant du point de vue académique que professionnel tout en me faisant bénéficier de nombreuses opportunités qui se sont avérées inestimables. J'aimerais également remercier mon comité de thèse, Dre Sonia Goulet, Dr Brad McFayden, Dr Jean-Pierre Bouchard pour leur disponibilité, leur conseil et leur soutien. De plus, j'aimerais remercier spécialement les Drs Jean-Pierre Bouchard et Emmanuelle Pourcher pour leur contribution clinique précieuse dans un climat où le temps manque trop souvent. Enfin, j'aimerais remercier tout spécialement les quelque deux cents participants qui ont volontairement contribué de leur temps à une collecte de données malgré les contraintes intrinsèques aux questions à la base de cette thèse.

J'aimerais également remercier toutes les personnes qui m'ont accueillies dans leur quotidien, sans vous nommer exhaustivement je crois que vous saurez vous identifier, je pense ici au CIRRIS basé à l'institut de Réadaptation en Déficience Physique de Québec (IRDPQ) pavillon François Charon qui opère sous la direction de la Dre Carol Richards et aux départements de psychologie de l'Enfant-Jésus et de Robert-Giffard. Un merci spécial également au comité scientifique de l'IRDPQ particulièrement pour son appui financier. J'aimerais remercier mes collègues de laboratoire, Martin, Phillipe, Marie-Christine, Myriam et dernièrement Abdallah pour leur précieux conseil et leur soutien. Je ne pourrais passer sous

silence la généreuse contribution de Madame Isabelle Deaudelin pour son travail remarquable et sa patience. Un gros merci également à Amélie, Jean-Phillippe, Marylène, Stéphanie & Flavie qui ont contribué généreusement et efficacement à la réalisation des études de cette thèse. Un merci bien particulier aux précurseurs qui ont travaillé au développement de la tâche Mesdames Marie-Christine Ouellet et Hélène Plamondon, de même que monsieur Richard Bois.

Enfin, j'aimerais remercier plus près de moi les gens qui m'entourent et me soutiennent depuis le début de l'aventure encore une fois, sans vous nommer exhaustivement, mais en étant absolument certain que vous saurez vous identifier. D'abord, mes amis (es) qui m'ont toujours respecté et dont le soutien tout au long de ces années fut très apprécié. Particulièrement Susan et Alice qui, tout dernièrement, m'ont aidé à cheminer à travers les étapes les plus sombres afin de m'orienter vers la sortie. Mes beaux-parents, mon beau-frère Marc, ma belle sœur Danielle et mon frère Stéphane qui se sont joints à l'aventure bien involontairement sans jamais poser de questions et qui m'ont soutenu de brillante façon. Mes parents qui m'ont toujours appuyé aveuglement et qui sont toujours au rendez-vous quand le besoin se fait sentir et encore plus. Enfin, un merci tout en tendresse, à mon épouse, qui à travers vents et marrées m'a soutenue affectueusement tout au long de cette aventure qui s'achève désormais sur un soleil radieux et prometteur. Il est difficile de traduire en mots et de saluer justement sa contribution. Tout simplement Sylvie, Je t'aime.

Pour Henri, Florence et Chloé

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ II

RÉSUMÉ III

AVANT-PROPOS V

TABLE DES MATIÈRES VIII

LISTE DES TABLEAUX XV

LISTE DES FIGURES XII

LISTE DES ANNEXES XVI

INTRODUCTION

LA MÉMOIRE 1

MEMOIRE DECLARATIVE 2
MEMOIRE NON-DECLARATIVE 3
L'APPRENTISSAGE D'HABILETES MOTRICES 7
LES FORMES D'HABILETES MOTRICES 8
REPRESENTATION INTERNE OU NEURONALE DE L'APPRENTISSAGE D'HABILETES MOTRICES 9
LES MODELES THEORIQUES SOUS-JACENTS A L'APPRENTISSAGE D'HABILETES MOTRICES 11
NEURANATOMIE DE L'APPRENTISSAGE D'HABILETES MOTRICES 12
DOYON & UNGERLEIDER (2002), UN MODELE NEUROANATOMIQUE 14
DEFINITION DE LA CONSOLIDATION 16

CHAPITRE 1

LA CONSOLIDATION 18

MODELES MNESIQUES DE LA MEMOIRE DECLARATIVE 21
LE ROLE DU SOMMEIL DANS LA CONSOLIDATION D'UN APPRENTISSAGE DECLARATIF 23
LES MECANISMES SOUS-JACENTS A LA CONSOLIDATION D'UN APPRENTISSAGE DECLARATIF 24
EXPERIMENTATION ANIMALE ET CONSOLIDATION DE L'APPRENTISSAGE 26
NEUROANATOMIE DE L'APPRENTISSAGE DECLARATIF CHEZ L'HUMAIN 28
CONSOLIDATION DE L'APPRENTISSAGE D'HABILETES CHEZ L'HUMAIN 29
CONSOLIDATION DE L'APPRENTISSAGE D'UNE HABILETE PERCEPTUELLE 30
ROLE DU SOMMEIL DANS LA CONSOLIDATION D'UNE HABILETE PERCEPTUELLE 31
IMAGERIE CEREBRALE DE LA CONSOLIDATION D'UNE HABILETE PERCEPTUELLE 32
CONSOLIDATION D'UN APPRENTISSAGE MOTEUR SIMPLE 33
MECANISMES SOUS-JACENTS A LA CONSOLIDATION D'UN APPRENTISSAGE MOTEUR SIMPLE 34
CONSOLIDATION DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR SEQUENTIEL 35
ROLE DU SOMMEIL DANS LA CONSOLIDATION DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR SEQUENTIEL 36
LES ETUDES S'INTERESSANT A L'APPRENTISSAGE PAR ADAPTATION SENSORI-MOTRICE 38
L'EXPERIMENTATION ANIMALE ET LA CONSOLIDATION D'UNE ADAPTATION SENSORI-MOTRICE 39

CONSOLIDATION D'UNE ADAPTATION SENSORI-MOTRICE 40
SUBSTRAT NEURO-ANATOMIQUE DE LA CONSOLIDATION D'UNE ADAPTATION SENSORI-MOTRICE 42
MECANISMES SOUS-JACENTS LA CONSOLIDATION D'UNE ADAPTATION SENSORI-MOTRICE 44
COMPARAISON DE LA CONSOLIDATION DE DEUX TACHES DE NATURE DIFFERENTES 45
RESUME 46
PROBLEMATIQUE 48
OBJECTIFS ET HYPOTHESES 49

CHAPITRE 2

ÉTUDE 1 52

Méthode 55
Résultats 59
Discussion 68

CHAPITRE 3

ÉTUDE 2 71

Méthode 76
Résultats 77
Discussion 86

CHAPITRE 4

ÉTUDE 3 90

Méthode 93
Résultats 96
Discussion 110

CHAPITRE 5

ÉTUDE 4 113

Méthode 119
Résultats 122
Discussion 130

CHAPITRE 6

DISCUSSION GÉNÉRALE 137

RÉFÉRENCES 145

ANNEXES 160

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE 2

ÉTUDE 1 ..... **52**

Tableau 2.1. Tableau résumé des moyennes et écarts-types obtenus à partir des données démographiques pour l'ensemble des 3 groupes de participants.

CHAPITRE 3

ÉTUDE 2 ..... **72**

Tableau 3.1. Tableau résumé des moyennes et écarts-types obtenus à partir des données démographiques pour l'ensemble des 3 groupes de participants.

CHAPITRE 4

ÉTUDE 3 ..... **90**

Tableau 4.1. Tableau résumé des moyennes et écarts-types obtenus à partir des données démographiques pour l'ensemble des 3 groupes de participants.

Tableau 4.2. Protocole d'expérimentation pour les 7 conditions (Groupes 1 à 7) pour la première et la deuxième session d'entraînement à la suite d'une période de latence de 5, 8 ou 24 heures dans un paradigme paramétrique et de 5 minutes, 1, 5 et 8 heures dans un paradigme avec interférence.

CHAPITRE 5

ÉTUDE 4 ..... **113**

Tableau 5.1. Tableau résumé des moyennes et écarts-types obtenus à partir des données démographiques et neuropsychologiques pour l'ensemble des 4 groupes de participants.

Tableau 5.2. Tableau résumé des effets principaux obtenus pour les 4 groupes de participants pour les phases d'acquisition et de consolidation pour l'indice de performance générale.

LISTE DES FIGURES

INTRODUCTION 1

Figure I.1. Taxonomie de la mémoire adaptée de Squire et Knowlton (1995).

Figure I.2. Coupe horizontale représentant une vue dorsale du cerveau humain. Le striatum fait partit des noyaux gris centraux aussi appelés ganglions de la base. Le striatum est formé du noyau caudé et du putamen. (Tirée de Langlois, 1999).

CHAPITRE 2

ÉTUDE 1 52

Figure 2.1. Distance moyenne (cm) parcourue en fonction du nombre de blocs de pratique administré lors de la phase d'acquisition de l'apprentissage pour le niveau de base (NB) en condition directe, ainsi que pour les Sessions d'apprentissage 1 et 2 en condition indirecte.

Figure 2.2. Temps moyen (ms) utilisé pour effectuer la tâche en fonction du nombre de blocs de pratique administré lors de la phase d'acquisition de l'apprentissage pour le niveau de base (NB) en condition directe, ainsi que pour les Sessions d'apprentissage 1 et 2 en condition indirecte.

Figure 2.3. Taux de réussites moyen (%) en fonction du nombre de blocs de pratique administré lors de la phase d'acquisition de l'apprentissage pour le niveau de base (NB) en condition directe, ainsi que pour les Sessions d'apprentissage 1 et 2 en condition indirecte.

Figure 2.4. Indice moyen de performance [taux de réussites/(distance X temps)] en fonction du nombre de blocs de pratique administré lors de la phase d'acquisition de l'apprentissage pour le niveau de base (NB) en condition directe, ainsi que pour les Sessions d'apprentissage 1 et 2 en condition indirecte.

Figure 2.5. Amélioration spontanée de la performance à la suite d'une période de latence de 24 heures entre deux sessions d'entraînement à une tâche d'adaptation sensori-motrice telle que représentée par la fonction de l'indice de performance et du nombre de blocs de pratique administrés lors de la phase d'acquisition de l'apprentissage.

CHAPITRE 3

ÉTUDE 2 ..... **72**

Figure 3.1. Distance moyenne (cm) parcourue en fonction du contenu des consignes transmises aux participants pour le niveau de base (NB) en condition directe et les Sessions 1 et 2 d'apprentissage en condition indirecte.

Figure 3.2. Temps moyen (ms) utilisé pour effectuer la tâche en fonction du contenu des consignes transmises aux participants pour le niveau de base (NB) en condition directe et les Sessions 1 et 2 d'apprentissage en condition indirecte.

Figure 3.3. Taux de réussites moyen (%) en fonction du contenu des consignes transmises aux participants pour le niveau de base (NB) en condition directe et les Sessions 1 et 2 d'apprentissage en condition indirecte.

Figure 3.4. Indice moyen de performance [taux de réussites/(distance X temps)] en fonction du contenu des consignes transmises aux participants pour le niveau de base (NB) en condition directe et les Sessions 1 et 2 d'apprentissage en condition indirecte.

Figure 3.5. Amélioration spontanée de la performance à la suite d'une période de latence de 24 heures entre deux sessions d'entraînement à une tâche d'adaptation sensori-motrice telle que représentée par la fonction de l'indice moyen de performance et du contenu des consignes transmises aux participants.

CHAPITRE 4

ÉTUDE 3 ..... **90**

Figure 4.1.1. Distance moyenne (cm) parcourue en fonction du schème paramétrique pour le niveau de base (NB) en condition directe et les Sessions d'apprentissage 1 et 2 en condition indirecte.

Figure 4.1.2. Distance moyenne parcourue (cm) en fonction du schème avec interférence pour le niveau de base (NB) en condition directe et les Sessions d'apprentissage 1 et 2 en condition indirecte.

Figure 4.2.1. Temps moyen (ms) utilisé pour effectuer la tâche en fonction du schème paramétrique pour le niveau de base (NB) en condition directe et les Sessions d'apprentissage 1 et 2 en condition indirecte.

Figure 4.2.2. Temps moyen (ms) utilisé pour effectuer la tâche en fonction du schème avec interférence pour le niveau de base (NB) en condition directe et les Sessions d'apprentissage 1 et 2 en condition indirecte.

Figure 4.3.1. Taux de réussites moyen (%) en fonction du schème paramétrique pour le niveau de base (NB) en condition directe et les Sessions d'apprentissage 1 et 2 en condition indirecte.

Figure 4.3.2. Taux de réussites moyen (%) en fonction du schème interférent pour le niveau de base (NB) en condition directe et les Sessions d'apprentissage 1 et 2 en condition indirecte.

Figure 4.4.1. Indice moyen de performance [taux de réussites/(distance X temps)] en fonction du schème paramétrique pour le niveau de base (NB) en condition directe et les Sessions d'apprentissage 1 et 2 en condition indirecte.

Figure 4.4.2. Indice moyen de performance [taux de réussites/(distance X temps)] en fonction du schème avec interférence pour le niveau de base (NB) en condition directe et les Sessions d'apprentissage 1 et 2 en condition indirecte.

Figure 4.5. Amélioration spontanée de la performance à la suite d'une période de latence entre deux sessions d'entraînement à une tâche d'adaptation sensori-motrice d'un schème paramétrique telle que représentée par la fonction de l'indice moyen de performance.

Figure 4.6. Rétention et Transfert négatif de l'apprentissage de la tâche initiale à la suite de l'administration d'une tâche interférente au cours de différentes périodes de latence entre deux sessions d'entraînement à une tâche d'adaptation sensori-motrice d'un schème avec interférence telle que représentée par la fonction de l'indice moyen de performance.

CHAPITRE 5

ÉTUDE 4 ..... **113**

Figure 5.1. Indice moyen de performance [taux de réussites/(distance X temps)] en fonction des atteintes neurologiques pour le niveau de base (NB) en condition directe et les Sessions d'apprentissage 1 et 2 en condition indirecte.

Figure 5.2. Amélioration des 4 groupes de participants à partir des deux premiers blocs du début (blanc) jusqu'aux deux derniers blocs (gris) de la première session d'entraînement à une tâche d'adaptation sensori-motrice telle que représenté par la fonction de l'indice moyen de performance.

Figure 5.3. Amélioration spontanée à la suite d'une période de latence entre la première (blanc) et la deuxième (gris) session d'entraînement à une tâche d'adaptation sensori-motrice telle que représenté par la fonction de l'indice moyen de performance.

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1

FICHE D'IDENTIFICATION 161

ANNEXE 2

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT (1) 163

ANNEXE 3

STIMULUS TYPE 167

ANNEXE 4

POSITION DES CIBLES 169

ANNEXE 5

CONSIGNES 171

ANNEXE 6

CONSIGNES AXÉES SUR LA VITESSE D'EXÉCUTION 173

ANNEXE 7

CONSIGNES AXÉES SUR LA PRÉCISION DU MOUVEMENT 175

ANNEXE 8

CONSIGNES AXÉES SUR LA COMBINAISON DE LA VITESSE D'EXÉCUTION ET DE LA PRÉCISION DES MOUVEMENTS 177

ANNEXE 9

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT (2) 179

ANNEXE 10

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT (3) 183

ANNEXE 11

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT (4) 187

ANNEXE 12

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT (5) **191**

ANNEXE 13

CONSIGNES AXÉES SUR LA COMBINAISON DE LA VITESSE D'EXÉCUTION ET DE LA PRÉCISION DES MOUVEMENTS POUR LA TÂCHE INTERFÉRENTE SEMBLABLE MAIS CONFLICTUELLE **195**

ANNEXE 14

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT (6) **197**

ANNEXE 15

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT (7) **201**

ANNEXE 16

BATTERIE D'ÉVALUATION NEUROPSYCHOLOGIQUE **205**

INTRODUCTION

LA MÉMOIRE

Caractérisation des paramètres méthodologiques et analyse du substrat neuro-anatomique impliqués dans la consolidation d'une adaptation sensori-motrice

De nombreuses études publiées au cours des dernières années démontrent qu'une conception unitaire de la mémoire ne peut rendre compte des phénomènes mnésiques observés (Cohen & Squire, 1980; Halsband & Freund, 1993; Hasselmo & McClelland, 1999; Nissen, 1992; Squire, 1992, 1998; Squire & Zola, 1996a, 1996b). Depuis la parution de certains travaux (Cohen & Squire, 1980; Squire, 1992), l'étude des différentes formes de mémoire est devenue un thème central pour les recherches sur le système mnésique (Squire, 1992, 1998). Aujourd'hui, les chercheurs s'entendent pour diviser la mémoire en plusieurs systèmes différents regroupés sous deux grandes catégories (cf. Figure I.1), la mémoire déclarative et la mémoire non-déclarative (Cohen & Squire, 1980; Halsband & Freund, 1993; Hasselmo & McClelland, 1999; Nissen, 1992; Squire, 1992, 1998; Squire & Knowlton, 1995; Squire & Zola, 1996a, 1996b) qui seront abordés ci-dessous.

Mémoire déclarative

La mémoire déclarative fait appel au matériel accessible explicitement, c'est-à-dire, encodé et récupéré consciemment (Halsband & Freund, 1993; Hasselmo & McClelland, 1999; Nissen, 1992; Squire, 1992, 1998; Squire & Knowlton, 1995; Squire & Zola, 1996a, 1996b). Elle réfère à deux types de mémoire distinctes, la mémoire des faits ou connaissances générales appelée mémoire sémantique et la mémoire des événements autobiographiques, connue sous le nom de mémoire épisodique (Halsband & Freund, 1993; Hasselmo & McClelland, 1999; Nissen, 1992; Squire, 1992, 1998; Squire & Knowlton, 1995; Squire & Zola, 1996a, 1996b). Les connaissances acquises par la mémoire déclarative sont habituellement vraies ou fausses (Squire, 1998). Cette forme de mémoire constitue ce qui est sous-entendu, dans la vie courante, par la sémantique usuelle générale du terme « mémoire »

(Halsband & Freund, 1993; Hasselmo & McClelland, 1999; Nissen, 1992; Squire, 1992, 1998; Squire & Knowlton, 1995; Squire & Zola, 1996a, 1996b). Elle peut facilement être évaluée à partir de tâches classiques de rappel et de reconnaissance (Halsband & Freund, 1993; Hasselmo & McClelland, 1999; Nissen, 1992; Squire, 1992, 1998; Squire & Knowlton, 1995; Squire & Zola, 1996a, 1996b).

Le substrat neuro-anatomique impliqué dans ce type de mémoire repose principalement sur 1) les structures médiales des lobes temporaux telles que l'amygdale, l'hippocampe, le cortex rhinal (régions entorhinale et périrhinale) et le gyrus parahippocampique, 2) les régions ventro-médiales du cortex préfrontal, 3) le prosencéphale basal comprenant le noyau de Meynert et 4) les noyaux dorso-médians et ventral antérieur du thalamus (Doyon, 1997; Kolb & Wishaw, 1996; Squire, 1992, 1998; Squire & Zola, 1996a, 1996b).

Mémoire non-déclarative

Le terme « mémoire non-déclarative » ne réfère toutefois, pas à un système cérébral spécifique (Squire, 1992, 1998; Squire & Zola, 1996a, 1996b). Il chapeaute en réalité plusieurs systèmes de mémoire différents qui reposent sur des systèmes neuronaux distincts (Squire, 1992, 1998; Squire & Zola, 1996a, 1996b). Chacune de ces différentes formes de mémoire traite du matériel spécifique qui est difficilement accessible aux autres systèmes mnésiques de type non-déclaratif (Squire & Zola, 1996a, 1996b). L'apprentissage qui s'opère dans ces différents systèmes est encodé et récupéré de façon non consciente et implicite (Squire, 1992, 1998; Squire & Zola, 1996a, 1996b). La mémoire non-déclarative s'exprime à travers le comportement et la performance des individus lorsqu'ils sont réexposés à une tâche donnée. L'apprentissage est dit incrémentiel, car il est dépendant du niveau de pratique et du passage du temps (Cohen & Squire, 1980; Doyon, 1997; Halsband & Freund, 1993; Hasselmo & McClelland, 1999; Nissen, 1992; Squire, 1992, 1998; Squire & Zola, 1996a, 1996b).

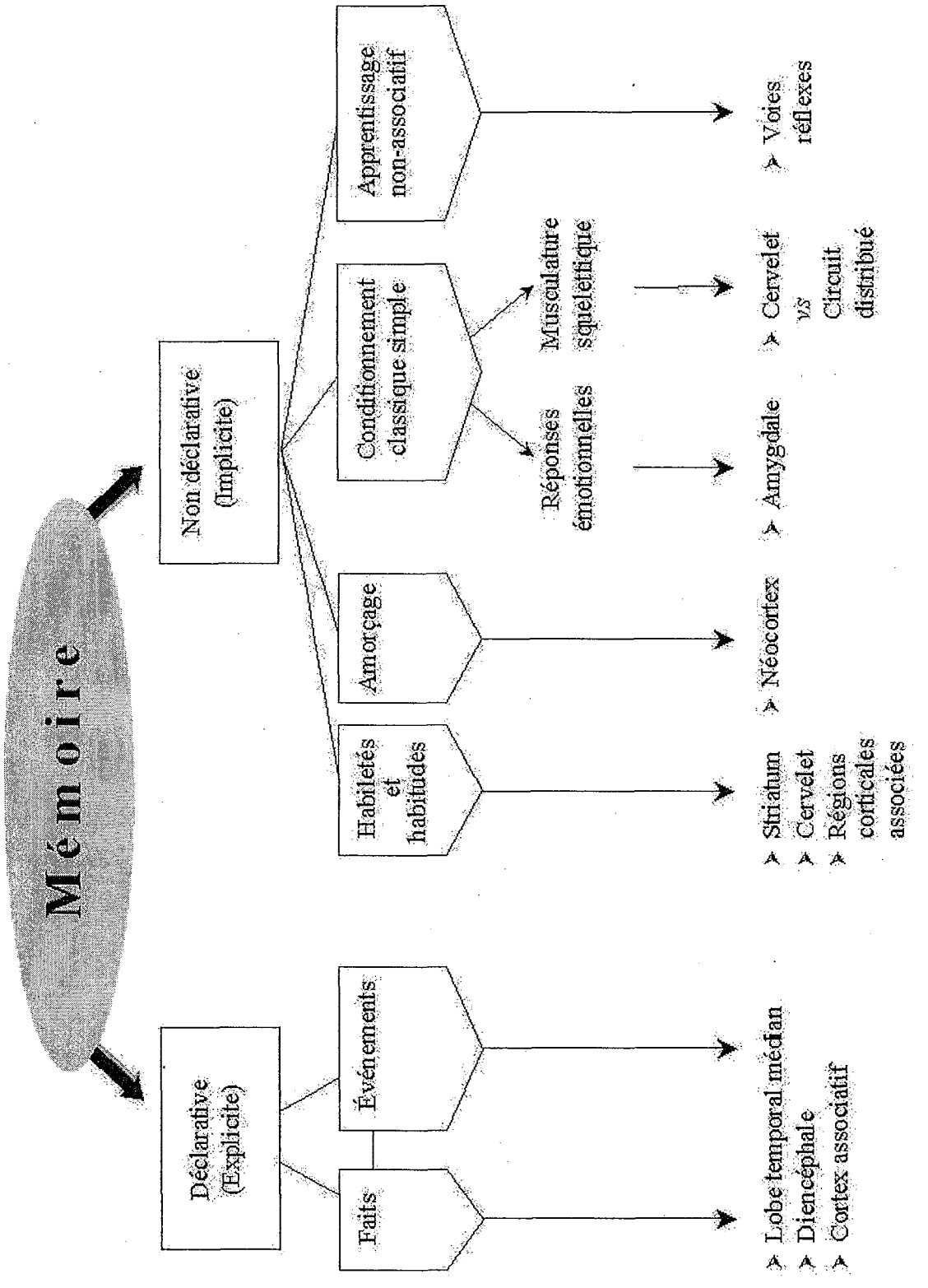


Figure I.1. Taxonomie de la mémoire adaptée de Squire et Knowlton (1995).

Récemment, Squire et ses collaborateurs (Squire, 1992, 1998; Squire & Knowlton, 1995; Squire & Zola, 1996a, 1996b) ont répertorié cinq différents systèmes mnésiques sous le terme « mémoire non-déclarative », soit : l'apprentissage non associatif, les formes émotionnelles et musculo-squelettique d'apprentissage par conditionnement classique, l'amorçage et l'apprentissage d'habiletés de type procédural (voir Figure I.1). L'apprentissage non-associatif, lequel comprend les phénomènes d'habituation et de sensibilisation, est une forme de mémoire robuste qui repose essentiellement sur les voies réflexes du système nerveux central (Squire, 1992, 1998; Squire & Knowlton, 1995; Squire & Zola, 1996a, 1996b). Le conditionnement classique se divise en deux formes distinctes, la forme émotionnelle telle que le conditionnement de la peur qui repose sur l'amygdale et la forme musculo-squelettique qui repose sur le cervelet (Squire, 1992, 1998; Squire & Knowlton, 1995; Squire & Zola, 1996a, 1996b). Le substrat neuroanatomique de l'amorçage, défini comme un phénomène sensitif qui prépare l'organisme à une réponse, est encore peu connu (Squire, 1998). Cependant, les études actuelles démontrent que les régions associatives du néocortex seraient importantes dans cette forme d'apprentissage (Squire, 1992, 1998; Squire & Knowlton, 1995; Squire & Zola, 1996a, 1996b). Enfin, l'apprentissage d'habiletés et d'habitudes réfère à l'acquisition graduelle d'une habileté à la suite de l'exposition répétée d'une activité spécifique (Cohen & Squire, 1980; Doyon, 1997; Doyon & Ungerleider 2002, 2003; Halsband & Freund, 1993; Hasselmo & McClelland, 1999; Nissen, 1992; Squire, 1992, 1998; Squire & Zola, 1996a, 1996b). Ce type de mémoire réfère davantage à ce qui est aujourd'hui plus communément appelé « l'apprentissage procédural » et s'exprime, pour plusieurs, comme la mémoire du « comment faire » (Cohen & Squire, 1980; Nissen, 1992; Squire, 1992, 1998; Squire & Knowlton, 1995; Squire & Zola, 1996a, 1996b). Ce type d'apprentissage repose principalement sur le striatum (voir Figure I.2), le cervelet et certaines régions corticales associées (Doyon, 1997; Doyon & Ungerleider, 2002, 2003; Halsband & Freund, 1993; Hasselmo & McClelland, 1999; Thach, Thach, Goodkin & Keating, 1992; Squire, 1992, 1998; Squire & Knowlton, 1995; Squire & Zola, 1996a, 1996b; Willingham, 1998).

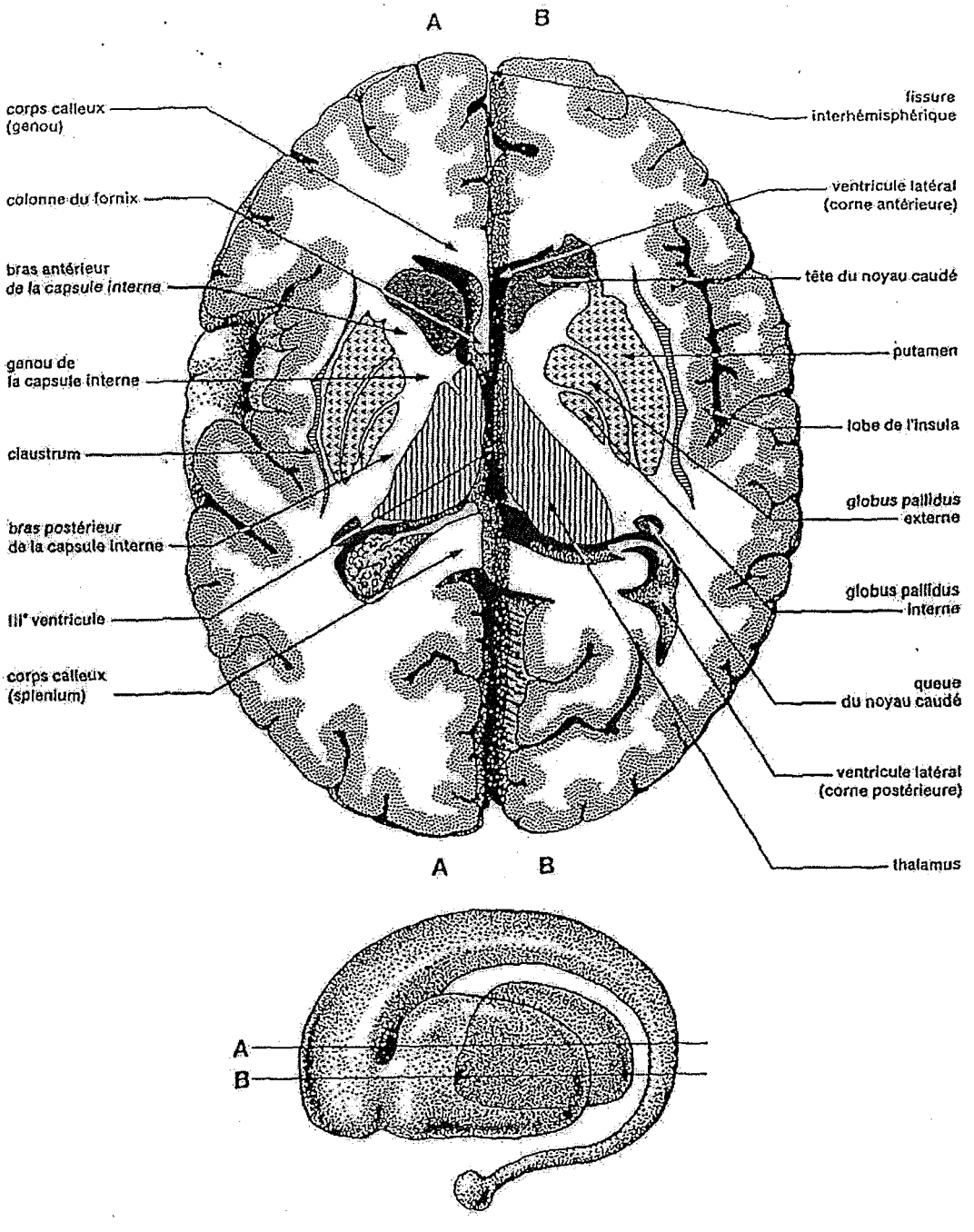


Figure I.2. Coupe horizontale représentant une vue dorsale du cerveau humain. Le striatum est une composante des noyaux gris centraux aussi appelés ganglions de la base. Le striatum est formé du noyau caudé et du putamen. (Tirée de Langlois, 1999).

De nombreuses habiletés et habitudes ont été étudiées à l'aide de divers paradigmes d'apprentissage de type cognitif, visuel ou sensorimoteur (Doyon, 1997; Gabrielli, Willingham, Stebbins & Goetz 1997; Squire, 1992). Au niveau cognitif, des tâches comme la tour de Londres (Tower of London) et différentes tâches de résolution de problèmes sont connues (Doyon, 1997; Nissen, 1992; Ouellet & Doyon, 1999; Willingham, 1998). Au niveau perceptif, des habiletés visuelles telles que la lecture de mots inversés par un effet miroir (Mirror Reading Task) et des tâches de discrimination visuelle de texture sont utilisées (Doyon, 1997; Karni & Sagi, 1993). Enfin, pour ce qui nous intéresse ici, au niveau des habiletés sensori-motrices, des tâches comme la poursuite rotatoire (Rotor Pursuit Test), de dessin miroir (Mirror Drawing Test), de temps de réaction sériel (SRT) et les épreuves de répétition de séquences de mouvements des doigts sont également employées (Doyon, 1997; Gabrieli et al., 1997; Grafton, Woods & Tyszka, 1994; Karni, Meyer, Jezzard, Adams, Turner & Ungerleider, 1995; Karni et al., 1998; Seitz, Roland, Bohm, Greitz & Stone-Elanders, 1990).

L'apprentissage d'habiletés motrices

L'humain se démarque de façon impressionnante par l'acquisition d'un vaste répertoire d'habiletés motrices (Grafton et al., 1994; Wolpert, Miall & Kawato, 1998), dans la vie de tous les jours (Doyon, Penhune & Ungerleider, 2003; Doyon & Ungerleider, 2002; Willingham, 1998). Il est facile d'imaginer des exemples d'apprentissage d'habiletés motrices où la performance s'effectue sans avoir besoin d'examiner consciemment les étapes ou les séquences de mouvements à effectuer pour accomplir une tâche (Nissen, 1992). Notons entre autres, la coordination séquentielle des articulations des doigts afin de jouer du piano, les mouvements globaux plus complexes dans un but précis tel que prendre un simple objet ou frapper une balle de golf (Doyon & Ungerleider, 2002, 2003; Doyon et al., 2003). Ainsi, il est facile de s'imaginer que sans ce type de mémoire, les automobilistes prendraient les commandes de leur véhicule pour la première fois chaque jour et il n'y aurait pas d'athlètes ni de virtuoses artistiques (Willingham, 1998).

L'apprentissage d'habiletés motrices se définit par l'amélioration, avec la pratique, des mouvements dans le temps et l'espace (Willingham, 1998), le tout, de façon interactive avec l'environnement (Doyon & Ungerleider, 2002, 2003; Doyon et al., 2003). Ainsi, généralement l'apprentissage est mesuré soit par l'amélioration du temps de réaction, soit par la diminution du nombre d'erreurs ou encore par des changements au niveau de la synergie et de la cinématique du mouvement. Certaines habiletés requièrent parfois une connaissance explicite des mouvements au début de l'apprentissage, par exemple, jouer une nouvelle mélodie. Par contre, la majorité des habiletés motrices sont exécutées implicitement jusqu'à l'atteinte d'une certaine automatisation des processus. Malgré les différences apparentes entre diverses habiletés, certaines constantes relient chacune de ces épreuves par des communalités, par exemple, le changement au niveau de la performance est incrémentiel, c'est-à-dire, graduel et constant (Doyon, 1997; Doyon & Ungerleider, 2002, 2003; Doyon et al., 2003).

L'apprentissage séquentiel et l'adaptation sensorimotrice

Les différentes habiletés motrices peuvent être étudiées à l'aide d'épreuves qui se divisent en deux grandes catégories, les tâches d'apprentissage séquentiel et les tâches d'adaptation sensori-motrice (Doyon & Ungerleider, 2002, 2003; Doyon et al., 2003). L'apprentissage séquentiel moteur réfère à la capacité d'un individu à combiner une séquence de mouvements, connu explicitement avant l'entraînement, pour former un comportement moteur précis et efficace (Doyon & Ungerleider, 2002, 2003; Doyon et al., 2003). La tâche de poursuite rotatoire (Gabrieli et al., 1997; Grafton et al., 1992, 1994; Jackson et al., 1997) et les épreuves de répétition de séquences de mouvements de doigts ou d'un membre en sont les plus connues (Doyon, Owen, Petrides, Sziklas & Evans, 1996; Doyon, Song, Karni, Lalonde, Adams & Ungerleider, 2002; Karni et al., 1995, 1998; Muellbacher, Ziemann, Boroojerdi, Cohen & Hallett, 2001; Muellbacher et al., 2002; Penhune & Doyon, 2002; Seitz et al., 1990).

L'adaptation sensori-motrice réfère, quant à elle, à la capacité de l'individu de compenser pour les changements imposés par l'environnement (Doyon & Ungerleider, 2002, 2003; Doyon et al., 2002; Shadmehr & Mussa-Ivaldi, 1994). La tâche de dessin miroir, où le sujet doit suivre le tracé d'une étoile en observant le stimulus et les mouvements produits à travers le reflet d'un miroir, est un bel exemple d'adaptation sensori-motrice (Gabrieli et al., 1997; Jackson et al., 1997). L'utilisation de lunettes munies de prismes conçues pour affecter

l'orientation visuo-spatiale est un autre exemple d'épreuve d'adaptation sensorimotrice (Fernandez-Ruiz et al., 1998; Thach et al., 1992; Vergara et al., 1999). Dans le même ordre d'idées, certains chercheurs ont modifié la relation entre le mouvement d'un levier et le mouvement du curseur dans une tâche sensori-motrice informatisée (Flament, Ellermann, Kim, Ugurbil & Ebner, 1996; Willingham, Koroshetz & Peterson, 1996) ou encore celui d'une souris reliée à un ordinateur (Imamizu et al., 2000). Enfin, certains chercheurs utilisent la simulation d'un champ de force pour évaluer l'habileté des participants à s'adapter aux changements mécaniques de l'environnement dans une tâche de poursuite de cible à l'aide d'un bras robotique (Brashers-Krug, Shadmehr & Bizzi., 1996; Krebs et al., 1998; Shadmehr & Holcomb, 1997, 1999; Shadmehr & Mussa-Ivaldi, 1994).

Représentation interne ou neuronale de l'apprentissage d'habiletés motrices

Le concept de représentation interne, issu de la robotique, constitue la pièce maîtresse des nouvelles théories et conceptions du contrôle moteur et de l'apprentissage au niveau des neurosciences et des sciences cognitives (Kawato, 1999). Ces modèles proposent qu'une représentation interne naît à partir de la concomitance de l'activité des entrées sensorielles (input), c'est-à-dire les différentes informations sensorielles perçues, et des sorties motrices (output), c'est-à-dire la trajectoire réalisée de l'appareil moteur (Gandolfo, Li, Benda, Padoa-Schioppa & Bizzi, 2000; Imamizu, 1995, 2000; Kawato, 1999; Wolpert et al., 1995, 1998). Ainsi, l'apprentissage moteur, du point de vue neuronal, s'effectuerait graduellement grâce au renforcement des liens synaptiques de l'association entre l'activité sensori-motrice qui prend place au sein de la structure interne corticale ou sous-corticale (Gandolfo et al., 2000). L'humain se démarque aussi particulièrement par la facilité avec laquelle il utilise ses connaissances à d'autres fins, ce qui réfère en fait au concept de généralisation (Imamizu, 1995; Kawato, 1999; Wolpert et al., 1998). Ainsi, après avoir appris à frapper une balle de tennis par exemple, il est très facile d'apprendre à frapper une balle de tennis dans une autre direction (Imamizu, 1995).

Selon le modèle inverse de la théorie du contrôle moteur, la représentation interne correspond à un réseau neuronal qui génère les commandes nécessaires à l'exécution d'un mouvement (Gandolfo et al., 2000; Imamizu, 1995, 2000; Kawato, 1999; Wolpert et al., 1995, 1998). L'exécution du mouvement serait gérée indépendamment par les transformations cinématiques et les transformations dynamiques. Plus précisément, les transformations cinématiques, c'est-à-dire le mouvement, correspondent à une certaine activité neuronale alors que les transformations dynamiques, soit les caractéristiques cinétiques du mouvement telles que la force appliquée à l'appareil moteur, correspondraient à une deuxième activité neuronale (Krakauer, Ghilardi & Ghez, 1999). Toutefois, le modèle inverse de la production de mouvement ou du programme moteur ne permet pas d'expliquer l'ensemble des habiletés motrices qui peuvent être acquises (Imamizu et al., 1995; Kawato, 1999; Wolpert et al., 1995, 1998). Par exemple, l'exécution d'un individu qui doit tracer une ligne droite en deux points est pénalisée par le délai temporel trop long de la boucle rétroactive sensorielle visuelle qui sert à corriger le mouvement de la main qui tient le crayon en cours de route entre ces deux points (Imamizu et al., 1995). Pour compléter ce type de tâche, l'individu doit alors développer, selon le modèle d'action (forward model), une représentation interne de la tâche à effectuer, à partir de la cinématique et de la dynamique de la trajectoire désirée, permettant ainsi de compléter la tâche par anticipation en évitant de reposer la réussite de l'exécution sur la boucle rétroactive sensorielle (Kawato, 1999). Ainsi, la représentation interne permettrait à partir du modèle inverse, de prédire la commande motrice qui induira le mouvement désiré (Imamizu et al., 2000; Wolpert et al., 1995, 1998).

Les théories actuelles (Gandolfo et al., 2000; Imamizu, 1995, 2000; Kawato, 1999; Wolpert et al., 1995, 1998) intègrent les deux modèles internes (forward et inverse) dans des enchaînements multiples complémentaires et cohérents. Or, l'humain doit interagir quotidiennement avec l'environnement afin d'effectuer de nombreuses exécutions motrices (Wolpert et al., 1998). Puisqu'il s'agit, en général, de combinaisons contextuelles déjà rencontrées, il apparaît donc que la conjugaison de certaines des représentations internes disponibles génère un vaste répertoire de comportements (Wolpert et al., 1998).

Les modèles théoriques sous-jacents à l'apprentissage d'habiletés motrices

D'un point de vue théorique, trois modèles ont été élaborés pour schématiser le processus d'acquisition d'une nouvelle habileté motrice. Le modèle d'Anderson (1990), lequel est inspiré de celui de Fitts publié en 1965 (voir Doyon, 1997), propose trois étapes à l'acquisition d'une habileté cognitive. La première étape prend place au tout début de l'apprentissage, lors de la familiarisation du participant avec la tâche. À cette étape, le sujet acquiert implicitement, ou explicitement, les connaissances nécessaires afin d'effectuer la nouvelle tâche. Un effort attentionnel et mental conscient est alors sollicité à cette étape. Avec la pratique, les sujets élaborent des mouvements qui combinent de façon séquentielle les gestes nécessaires afin d'obtenir une production globale qui réponde aux exigences de l'épreuve, soit la phase de composition. Ici, les sujets connaissent une importante amélioration de leur performance avec la pratique. L'effort attentionnel et mental conscient est encore sollicité à cette étape. Cependant, l'effort requis tend à diminuer puisque la forme déclarative de l'apprentissage se transforme peu à peu en matériel procédural ou non-déclaratif. Enfin, avec la pratique assidue de la tâche sur une plus longue période, la performance des participants devient automatisée; c'est la phase dite procédurale ou d'automatisation. Ainsi, l'effort attentionnel et mental conscient de même que la charge au niveau de la mémoire de travail sont réduits au minimum lors de l'exécution de la tâche. Le nombre d'essais, le nombre de sessions de pratique et le temps nécessaire pour passer d'une étape à l'autre varient selon la tâche utilisée et selon les sujets.

Dans le même ordre d'idée, Halsband et Freund (1993) décrivent, de façon beaucoup moins précise, le processus d'acquisition d'une nouvelle habileté motrice qu'ils résument en deux étapes. Pour eux, tout comme Anderson (1990), la première étape est caractérisée par la familiarisation du participant avec la nouvelle tâche à apprendre; c'est la phase de reconnaissance où le sujet prend connaissance du « quoi faire ». Par contre, pour Halsband et Freund (1993), la seconde étape correspond au « comment faire », ce qui représente la phase d'apprentissage d'une nouvelle habileté motrice.

Enfin, selon Karni (1997), le processus d'acquisition d'une nouvelle habileté motrice suit deux phases, la phase rapide et la phase lente. Au début de l'acquisition d'une nouvelle habileté motrice, la courbe d'apprentissage est particulièrement abrupte. Durant cette période, la performance des sujets s'améliore rapidement sur une très courte période de temps; c'est la phase rapide d'apprentissage du processus d'acquisition d'une nouvelle habileté motrice. Avec la pratique, le participant continue d'améliorer sa performance. Cependant, les gains sont minimes et s'effectuent sur une longue période de temps; cette dernière phase correspond à la phase lente de l'apprentissage. L'amélioration de la performance peut s'étendre sur des jours, voire des semaines avant que l'apprentissage atteigne un niveau asymptotique de performance (Doyon, 1997). À cette étape, le participant est considéré comme expert dans l'exécution de la nouvelle tâche d'habileté motrice laquelle peut être récupérée malgré une absence prolongée d'entraînement (Doyon & Ungerleider, 2002, 2003; Doyon et al., 2003).

Neuranatomie de l'apprentissage d'habiletés motrices

De nombreuses études effectuées chez les animaux et chez l'humain ont permis de comprendre la nature des processus cognitifs et d'analyser le substrat anatomique impliqué dans les phases rapides et lentes de l'acquisition d'une nouvelle habileté motrice ou de la représentation interne d'une nouvelle habileté motrice (Bloedel, Barcha, Kelly & Wu, 1990; Classen, Liepert, Wise, Hallett & Cohen, 1998; Dorris, Paré & Munoz, 2000; Doyon et al., 1996, 1997, 1998, 2002; Flament et al., 1996; Fernandez-Ruiz et al., 1998; Gabrieli et al., 1997; Grafton et al., 1992, 1994; Imamizu et al., 1995, 2000; Karni et al., 1995, 1998; Krebs et al., 1998; Muellbacher et al., 2001, 2002; Penhune & Doyon, 2002; Seitz et al., 1990; Shadmehr & Holcomb, 1997, 1999; Thach et al., 1992; Vergara et al., 1999; Wolpert et al., 1995; Willingham, 1998; Willingham et al., 1996). Plusieurs structures cérébrales telles que le striatum, le cervelet et les régions motrices des lobes frontaux sont considérées comme étant essentielles durant la phase d'acquisition ainsi que lors de la rétention des différentes habiletés motrices (Doyon, 1997; Doyon & Ungerleider, 2002, 2003; Doyon et al., 2003; Karni 1996). Entre autres, certaines études anatomiques ont permis de mettre à jour deux systèmes distincts qui permettent l'acquisition d'une nouvelle habileté motrice, la boucle cortico-striato-thalamo-cortical et la boucle cortico-cerebello-thalamo-cortical (Middlton & Strick, 1997; Picard & Strick, 1996). D'autres travaux effectués à partir de populations cliniques souffrant de lésions

cérébrales spécifiques distinctes au niveau des régions striatales (maladie de Parkinson) et cérébelleuses (ataxies) ont ainsi permis d'obtenir des données cohérentes avec ces deux systèmes (Agostino et al., 1996; Doyon et al., 1997, 1998; Gabrieli et al., 1997). Des études neurophysiologiques chez les primates (Gandolfo et al., 2000; Li, Padoa-Schioppa & Bizzi, 2001; Nudo et al., 1996) et dernièrement de nombreuses études par imagerie cérébrale chez l'humain (voir Doyon, 1997; Doyon & Ungerleider, 2002, 2003; Doyon et al., 2003; Karni, 1996) ont également permis d'appuyer l'existence de ces deux systèmes distincts sous-jacents aux différents types d'apprentissage moteur.

Si plusieurs études par imagerie cérébrale ont des conclusions similaires, parfois les résultats sont contradictoires ou incomplets. Pour Doyon et ses collaborateurs (2002, 2003) il apparaît clair que certains résultats contradictoires sont tributaires, entre autres, de l'hétérogénéité des tâches utilisées dans les études d'apprentissage d'habiletés. Ainsi, certaines études utilisent des tâches d'apprentissage séquentiel (Doyon et al., 1996, 2002; Gabrieli et al., 1997; Grafton et al., 1992, 1994; Jackson et al., 1997; Karni et al., 1995, 1998; Muellbacher et al., 2001, 2002; Penhune & Doyon, 2002; Seitz et al., 1990), tandis que d'autres utilisent des tâches d'adaptation sensori-motrice (Brashers-Krug et al., 1996; Fernandez-Ruiz et al., 1998; Flament et al., 1996; Gabrieli et al., 1997; Imamizu et al., 2000; Jackson et al., 1997; Krebs et al., 1998; Shadmehr et al., 1994, 1997, 1999; Thach et al., 1992; Vergara et al., 1999; Willingham et al., 1996). Une autre source d'hétérogénéité vient des processus cognitifs sous-jacents à l'exécution des tâches utilisées (Doyon et al., 2002, 2003). De fait, certaines tâches sont exécutées de façon complètement implicite sans effort conscient du participant (Doyon et al., 1996; Penhune & Doyon, 2002), alors que d'autres nécessitent l'apprentissage explicite d'une exécution motrice (Doyon et al., 1999; Karni et al., 1995, 1998; Seitz et al., 1990) avant l'entraînement. Selon Doyon et ses collaborateurs (2002, 2003), la condition de base, qui contrôle les facteurs non spécifiques à l'apprentissage dans les études d'imagerie cérébrale, est également à l'origine d'hétérogénéité des résultats obtenus. Ainsi, parfois le repos est l'activité suggérée alors, que dans certaines autres études, une condition perceptuelle ou aléatoire sert de condition contrôle. Enfin, d'autres sources de variabilité proviennent de la procédure expérimentale, de l'analyse des données, de la quantité de temps alloué pour l'entraînement ou tout simplement des différences interindividuelles des participants en regard des habiletés motrices et/ou d'apprentissage.

Doyon & Ungerleider (2002), un modèle neuroanatomique

Tout récemment, Doyon et Ungerleider (2002) ont effectué une revue des études par imagerie cérébrale qui s'intéresse précisément à l'acquisition et à la rétention des tâches d'apprentissage d'habiletés motrices séquentielles et par adaptation sensorimotrice. Selon ce modèle, les tâches d'apprentissage séquentielles permettent de valider le rôle important du striatum, tant au début de l'apprentissage que lors du test de rétention de l'apprentissage (Doyon & Ungerleider, 2002, 2003; Doyon et al., 2003). Par exemple, Grafton et ses collaborateurs (1994) ont effectué une étude, à l'aide de la tomographie par émissions de positons (TEP), basée sur l'apprentissage de la tâche de poursuite rotatoire lors de la première séance d'entraînement, ainsi que lors du test de rétention de l'apprentissage le jour suivant. Lors de l'acquisition, des activations étaient observées au niveau des régions antérieures cérébelleuses ipsilatérales à la main qui exécute le mouvement, ainsi que dans la région du vermis parasagittal (Doyon & Ungerleider, 2002; Doyon et al., 2003). De plus, des activations étaient notées au niveau du cortex moteur primaire (M1) controlatéral, des aires motrices supplémentaires (AMS) bilatérales ainsi qu'au niveau du cingulum et des régions pariétales inférieures (Doyon & Ungerleider, 2002; Doyon et al., 2003). Par contre, lors du test de rétention, des activations étaient obtenues au niveau du putamen, dans les régions pariétales de façon bilatérale ainsi qu'au niveau des régions prémotrices gauches, mais pas au niveau du cervelet (Doyon & Ungerleider, 2002; Doyon et al., 2003). Un patron similaire de résultats a été obtenu quelques années plus tard, par Doyon et ses collaborateurs (1999, 2001), par exemple dans une étude d'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMF) à l'aide d'une tâche de temps de réaction sériés où les participants devaient apprendre une séquence de mouvements de façon implicite et plus récemment, dans une étude d'imagerie par tomographie (TEP) à l'aide d'une tâche d'exécution motrice séquentielle effectuée en rétroaction à des stimuli visuels. Ainsi, Doyon et Ungerleider (2002) concluent que le striatum et les régions motrices corticales, mais pas le cervelet, sont probablement suffisants pour la rétention d'une habileté motrice séquentielle.

D'autres parts, les études relevées par Doyon et Ungerleider (2002), qui s'intéressent à l'apprentissage d'habileté par adaptation sensori-motrice par tomographie (TEP), suggèrent une interaction du système cortico-striatal et du système cortico-cérébelleux au début de l'apprentissage suivi d'une spécialisation du système cortico-cérébelleux pour le maintient à long terme de ce type d'habiletés (Krebs et al., 1998; Shadmehr & Holcomb, 1997, 1999). Cette interprétation est cohérente avec deux études d'imagerie cérébrale par résonance magnétique fonctionnelle. D'une part, Flament et ses collaborateurs (1996) ont étudié le rôle du cervelet dans la consolidation d'une adaptation sensori-motrice. Dans cette tâche, les participants utilisent un levier de jeu (Joystick) relié à un ordinateur afin d'atteindre l'une des huit cibles, disposées en rond avec un écart de 45 degrés entre chacune d'elles, qui seront présentées aléatoirement à tour de rôle. Ici, la relation entre les mouvements du curseur qui apparaît à l'écran et celui du levier de jeu peut être inversé afin de créer un tout nouveau système de coordonnées. Les résultats démontrent que l'activité cérébelleuse diminue rapidement avec l'amélioration observée à la tâche ce qui corrobore l'idée que le cervelet joue un rôle dans l'apprentissage d'une adaptation sensori-motrice. Toutefois, les résultats démontrent qu'une certaine activité cérébelleuse persiste à la suite de l'apprentissage de l'adaptation sensori-motrice.

Plus récemment, Imamizu et ses collaborateurs (2000) ont utilisé une variante de la tâche de poursuite des huit cibles utilisée par Flament et ses collaborateurs (1996) dans une étude d'imagerie cérébrale par résonance magnétique fonctionnelle. Dans cette étude, les participants apprennent à déplacer une souris reliée à un ordinateur afin d'atteindre l'une des huit cibles, disposées en cercle, qui sont présentées aléatoirement. Les coordonnées de la souris utilisée ici, sont inversées suivant la même philosophie d'adaptation sensori-motrice. Les résultats démontrent que les participants améliorent leur performance rapidement. Les données fonctionnelles démontrent que l'activité au niveau des régions latérales du cervelet diminue au cours de l'apprentissage. Par contre, des analyses supplémentaires démontrent qu'il existe en fait deux types d'activités cérébelleuses. Une première qui s'étend sur une grande partie du cervelet et qui est proportionnelle à l'apprentissage de la tâche, et une deuxième qui est confinée aux régions postérieures de la fissure supérieure qui demeure après l'apprentissage. Cette dernière, selon Imamizu et ses collaborateurs (2000), serait le reflet de l'acquisition d'une nouvelle représentation interne associée à l'apprentissage d'un nouvel instrument.

C'est à partir de ces données que Doyon et Ungerleider (2002) proposent un nouveau modèle d'acquisition et de rétention de l'apprentissage d'habileté motrice basé, non seulement sur les phases de l'apprentissage, mais qui tient également compte de la nature des épreuves utilisées. Ainsi, lors de l'acquisition d'une habileté, pendant la phase rapide de l'apprentissage, l'apprentissage d'habiletés motrices séquentielles et l'adaptation sensori-motrice reposent sur le striatum, le cervelet, les régions motrices corticales de même que sur les régions préfrontales et pariétales (Doyon & Ungerleider, 2002; Doyon et al., 2003). Par contre, au fur et à mesure que l'apprentissage s'effectue et qu'un degré d'expertise est développé, les habiletés motrices séquentielles reposent davantage sur le striatum et les régions motrices corticales alors que le cervelet ne serait plus essentiel (Doyon & Ungerleider, 2002). À l'opposé, l'apprentissage d'habiletés par adaptation sensori-motrice reposerait sur le cervelet et les régions motrices corticales alors que le striatum deviendrait moins essentiel (Doyon & Ungerleider, 2002).

Définition de la consolidation

Malgré l'avancement des travaux en ce qui concerne les caractéristiques de l'apprentissage d'habiletés motrices dans la phase rapide et la phase lente, peu de données, à ce jour, existent concernant le phénomène de consolidation de la mémoire motrice (Dudai, 1989; Squire et Alvarez, 1995) lequel se caractérise soit 1) par une amélioration spontanée de la performance à la suite d'une période de latence entre la phase rapide et la phase lente de l'apprentissage d'une habileté (Karni, 1996; Karni et al., 1998; Karni & Sagi, 1993), ou 2) par l'incapacité d'une seconde tâche dite interférente, insérée entre la phase d'acquisition et le test de consolidation de l'apprentissage initial, de compromettre la rétention de l'habileté motrice apprise (Brashers-Krug, Shadmehr & Bizzi, 1996; Krebs et al., 1998; Shadmehr & Brashers-Krug, 1997; Shadmehr & Holcomb, 1997, 1999; Shadmehr & Mussa-Ivaldi, 1994).

Le premier chapitre de cette thèse s'intéresse donc, au phénomène de consolidation de ce type d'apprentissage. Plusieurs travaux récents (Brashers-Krug et al., 1996; Brashers-Krug & Shadmehr, 1997; Karni & Sagi, 1993; Karni et al., 1998; Krebs et al., 1998, Shadmehr & Holcomb, 1997, 1999) seront décrits afin de mieux comprendre l'état actuel des connaissances sur ce processus cognitif bien connu de la mémoire déclarative (Brashers-Krug et al., 1996; Brashers-Krug & Shadmehr, 1997; Karni & Sagi, 1993; Hasselmo & McClelland, 1999; Karni et al., 1995, 1998; Krebs et al., 1998; Shadmehr & Holcomb, 1997, 1999). Ensuite, les Chapitres 2, 3, 4 et 5 présentent respectivement les Études 1, 2, 3 et 4 qui ont été effectuées afin de 1) caractériser les paramètres méthodologiques, et 2) analyser le substrat neuro-anatomique impliqué dans la consolidation d'une adaptation sensori-motrice. Plus précisément, l'Étude 1 s'intéresse à l'influence du nombre de blocs de pratique administré lors de la phase d'acquisition sur la consolidation d'une adaptation sensori-motrice, alors que l'Étude 2 s'attarde à l'influence des consignes administrées aux participants sur la consolidation d'une adaptation sensori-motrice. L'Étude 3, quant à elle, vise la caractérisation paramétrique de la période de latence et à la comparaison de l'effet des schèmes avec ou sans tâche interférente sur la consolidation d'une adaptation sensori-motrice. Enfin, l'Étude 4 vise à caractériser le rôle respectif du striatum et du cervelet dans la consolidation d'une adaptation sensori-motrice. Le Chapitre 6, propose une mise à jour des connaissances actuelles sur le phénomène de consolidation d'une adaptation sensori-motrice, de même que sur le substrat neuro-anatomique impliqué dans ce type d'apprentissage à partir de l'apport original des études effectuées dans cette thèse.

CHAPITRE 1

LA CONSOLIDATION

La mémoire réfère à la persistance dans le temps de la modification apportée à un ensemble neuronal, laquelle permet l'emmagasinage d'une représentation appropriée de nos perceptions, réactions et actions (Dudai, 1996). Il est bien connu que les éléments emmagasinés récemment en mémoire sont fragiles et sensibles aux interférences. Les types d'interférences varient de la simple stimulation environnementale ou distraction sensorielle, à l'action pharmacologique de molécules actives, en passant par l'administration de chocs électriques et aux lésions cérébrales (Attwell, Cooke & Yeo, 2002; Dudai, 1996; Knowlton & Fanselow, 1998; McGaugh, 2000; Nadel & Moscovitch, 1997). Le passage d'un état fragile à un état plus stable des engrammes mnésiques est à la source même du phénomène de consolidation de l'apprentissage, lequel est défini comme une stabilisation progressive d'une nouvelle représentation interne récemment acquise qui en assure la récupération (Atwell et al., 2002; Dudai, 1996; McGaugh, 2000) et la protège contre le simple passage du temps (Knowlton & Fanselow, 1998; McGaugh, 2000, Nadel & Moscovitch, 1997; Squire et Alvarez, 1995) et l'effet des diverses sources d'interférence (Atwell et al., 2002; Dudai, 1996; Knowlton & Fanselow, 1998; McGaugh, 2000; Nadel & Moscovitch, 1997; Squire et Alvarez, 1995). Ce phénomène, décrit pour la première fois il y a plus d'un siècle (McGaugh, 2000) par Müller et Pilzecker (1900), apparaît également dans la littérature scientifique sous le terme réminiscence (Destrade, Messier, Bontempi & Jaffard, 1992; Kohl, Fisicaro, Roenker, White & Turner, 1997) ou phénomène inverse de l'oubli (Belcadi-Abbassi & Destrade, 1995; Destrade et al., 1992).

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSITÉ LAVAL

L'amnésie rétrograde est le phénomène qui soutient l'existence d'un mécanisme de consolidation (Atwell et al., 2002; Hasselmo & McClelland, 1999; Knowlton & Fanselow, 1998; McGaugh, 2000; Nadel & Moscovitch, 1997; Squire et Alvarez, 1995). L'amnésie rétrograde, qui réfère à une perte mnésique des engrammes épisodiques acquis avant une lésion cérébrale, suit un gradient temporel (Atwell et al., 2002; Hasselmo & McClelland, 1999; Nadel & Moscovitch, 1997; Knowlton & Fanselow, 1998; Squire et Alvarez, 1995). Ce syndrome clinique est accepté depuis plus d'un siècle (Knowlton & Fanselow, 1998; McGaugh, 2000; Squire et Alvarez, 1995) et suggère, grâce aux travaux de Scoville et Milner (1957) par exemple, que les engrammes mnésiques acquis ne sont pas instantanément emmagasinés de façon permanente (Hasselmo & McClelland, 1999; Knowlton & Fanselow, 1998; Nadel & Moscovitch, 1997; Squire et Alvarez, 1995).

De nombreuses études suggèrent que la gradation temporelle de l'amnésie est plus ou moins grande selon l'importance de la lésion observée au niveau de l'hippocampe et des régions médiales du lobe temporal (Tulving & Markowitsch, 1997). Ainsi, une lésion circonscrite à l'hippocampe produirait une perte mnésique de quelques années, tandis qu'une lésion qui implique d'autres structures des régions médiales du lobe temporal telles que le gyrus dentelé, le cortex entorhinal et le subiculum, induirait une amnésie rétrograde impliquant parfois plusieurs décennies (Knowlton & Fanselow, 1998; Squire et Alvarez, 1995). De plus, l'amnésie rétrograde peut être totale si la lésion implique également les régions latérales du lobe temporal et les régions frontales responsables de l'organisation autobiographique des engrammes (Knowlton & Fanselow, 1998). Ces données suggèrent donc que l'hippocampe est responsable de la formation graduelle d'une représentation corticale des engrammes mnésiques acquis (Hasselmo & McClelland, 1999; Squire et Alvarez, 1995), que plusieurs structures des régions médiales du lobe temporal jouent un rôle important dans la consolidation, et que ce processus de maturation de la trace peut s'effectuer sur de nombreuses années (Dudai, 1996; Hasselmo & McClelland, 1999; Knowlton & Fanselow, 1998; Nadel & Moscovitch, 1997; Squire et Alvarez, 1995; Tulving & Markowitsch, 1997). Ainsi, le phénomène de consolidation ne doit pas être considéré comme un processus unitaire, mais plutôt comme un processus graduel qui impliquerait plusieurs niveaux d'organisation cérébrale (Dudai, 1996).

Modèles mnésiques de la mémoire déclarative

Plusieurs modèles mnésiques ont été proposés pour expliquer les processus cognitifs impliqués dans l'apprentissage de type déclaratif (Hasselmo & McClelland, 1999; Knowlton & Fanselow, 1998; Nadel & Moscovitch, 1997; Moscovitch & Nadel, 1998; Squire et Alvarez, 1995; Tulving & Markowitsch, 1997). Selon le modèle standard de Squire (1992) les informations sensorielles et motrices au niveau du cortex cérébral seraient acheminées vers l'hippocampe et les structures médiales du lobe temporal associées. Ce premier transfert de l'information constitue le processus de consolidation à court terme et s'opère dans les secondes, ou au plus dans les dizaines de minutes qui suivent la stimulation. L'hippocampe et les structures médiales du lobe temporal sont responsables de l'encodage et de la récupération de la trace mnésique. Cependant, la contribution de l'hippocampe diminue avec le processus graduel de consolidation à long terme au cours duquel le cortex cérébral acquiert une certaine autonomie, prend seul en charge la trace mnésique permanente et gère la récupération de l'information via les autres structures médiales du lobe temporal. Ainsi, un rôle temporaire est accordé à l'hippocampe qui permet d'acquérir rapidement l'information en attendant qu'un processus permanent prenne place par la construction graduelle d'une structure intégrée des connaissances au niveau du cortex (Knowlton & Fanselow, 1998; Squire et Alvarez, 1995). Ce processus graduel pourrait expliquer la gradation temporelle des amnésies rétrogrades, et pourrait ainsi s'expliquer par une catégorisation plus cohérente et efficace des apprentissages acquis (Dudai, 1996).

Par contre, le modèle de la trace multiple de Nadel et Moscovitch (Moscovitch & Nadel, 1998; Nadel & Moscovitch, 1997) stipule que l'hypothèse de l'existence d'un processus graduel de consolidation à long terme sur le simple passage du temps est non productive. Ils remettent en question les présomptions qui stipulent que les mécanismes de consolidation s'opèrent sur une période de 15 à 25 ans alors qu'il est déjà consolidé au niveau de l'hippocampe en quelques secondes, voire quelques minutes. Nadel et Moscovitch (Moscovitch & Nadel, 1998; Nadel & Moscovitch, 1997) proposent plutôt que la présentation répétée d'une certaine information, et ce, dans divers contextes, permet à l'hippocampe de générer de multiples traces mnésiques de l'information. L'existence de plusieurs traces pour la même information, facilite ainsi la récupération et améliore sa protection contre une éventuelle amnésie rétrograde. Ainsi, ils proposent que la résistance de certaines informations chez les patients atteints d'une amnésie rétrograde soit attribuable aux nombres et à la richesse des traces mnésiques issues de la présentation répétée, plutôt qu'à un mécanisme graduel basé sur le passage du temps.

Bien que contesté en partie (Knowlton & Fanselow, 1998; Nadel & Moscovitch, 1997; Moscovitch & Nadel, 1998; Squire et Alvarez, 1995), le modèle standard de Squire (1992) subsiste encore sous différentes formes (Hasselmo & McClelland, 1999; Nadel & Moscovitch, 1997; Knowlton & Fanselow, 1998; Moscovitch & Nadel, 1998; Squire et Alvarez, 1995; Tulving & Markowitsch, 1997). Par exemple, Hasselmo et McClelland (1999) ont proposé un modèle détaillé de l'apprentissage basé sur le rôle temporaire de l'hippocampe. Pour comprendre ce modèle, prenons l'exemple d'items individuels comme une liste de mots. L'information est reçue par l'hippocampe, le cortex entorhinal et une grande variété de régions du cortex cérébral. L'ensemble des neurones actifs et inactifs de l'hippocampe procure une représentation différente de chacun des patrons encodés. Ainsi, un certain patron d'activité neuronale correspond au contexte dans lequel le mot est placé, un autre patron correspond au mot lui-même et un dernier correspond à l'interaction du mot et de son contexte. Dans ce modèle, le rappel des mots de la liste s'effectue par le cortex entorhinal lequel active la représentation neuronale du contexte au niveau de l'hippocampe, ce dernier activerait à son tour la représentation neuronale de chacun des mots de la liste. La reconnaissance des mots s'effectue par le processus inverse, le mot est reconnu si l'activité générée par la représentation du mot est suffisante pour activer la représentation neuronale du contexte.

Le rôle du sommeil dans la consolidation d'un apprentissage déclaratif

Le sommeil se divise en deux phases, une phase bien connue et caractérisée par des mouvements rapides des yeux (MRY), et une phase caractérisée par l'absence d'activité motrice (N- MRY). Le sommeil sans mouvement rapide des yeux (N- MRY) se divise en quatre étapes. La première étape étant caractérisée par un sommeil léger et la quatrième par un sommeil profond alors que les étapes 2 et 3 sont des étapes intermédiaires. Les étapes 3 et 4 du sommeil N- MRY sont aussi connues sous le nom de sommeil à ondes lentes (SOL). Chronologiquement, le sommeil à ondes lentes prend place principalement au début de la nuit alors que le sommeil MRY se retrouve principalement à la fin de la nuit (Gais, Pliahl, Wagner & Born, 2000).

Des données issues d'études animales suggèrent que des patrons spatio-temporels d'activités neuronales au niveau de l'hippocampe sont réactivés, au cours du sommeil à ondes lentes (SOL) à la suite de l'apprentissage déclaratif chez le rat, et que cette activité serait à la base d'un mécanisme de consolidation qu'opère durant le sommeil N-MRY (Gais et al., 2000). De plus, dans une recension des écrits relativement récente, Smith (2001) suggère que les étapes 3 et 4 de la phase de sommeil N-MRY seraient possiblement impliquées dans la consolidation d'apprentissages déclaratifs, alors que la privation de sommeil en phase MRY aurait peu d'incidence sur la performance des participants. Ainsi, conformément au modèle de l'apprentissage déclaratif, le transfert de l'information de l'hippocampe vers le cortex s'effectuerait durant les variations lentes du sommeil (Hasselmo & McClelland, 1999; Squire et Alvarez, 1995; Tulving & Markowitsch, 1997). D'ailleurs, la baisse dramatique du niveau d'acétylcholine durant les variations lentes du sommeil contribuerait à ces différentes phases de la consolidation en augmentant le niveau de stimulation au niveau de l'hippocampe (Hasselmo & McClelland, 1999). Toutefois, malgré plusieurs études convaincantes, les données issues des travaux sur le rôle du sommeil dans la phase de consolidation des apprentissages déclaratifs chez l'humain sont encore controversées (Smith, 2001). Par contre, selon ce dernier l'origine de la controverse est largement issue de l'hétérogénéité de la complexité des tâches et des stratégies impliquées dans la réussite de la tâche.

Les mécanismes sous-jacents à la consolidation d'un apprentissage déclaratif

Les études de lésions chez l'animal ont depuis longtemps permis d'étudier le phénomène de consolidation (Abel & Lattal, 2001). Toutefois, les manipulations chirurgicales ne permettent pas de cerner l'ensemble des processus mnésiques puisqu'elles sont irréversibles (Abel & Lattal, 2001, McGaugh, 2000). Récemment, de nouvelles techniques pharmacologiques ont été mises au point afin de permettre l'étude des mécanismes de consolidation sans en compromettre la récupération (Abel & Lattal, 2001; McGaugh, 2000).

Par exemple, en utilisant une molécule antagoniste à action prolongée, Riedel et ses collaborateurs (1999) ont démontré que la neutralisation des récepteurs AMPA (α-amino-3-hydroxy-5-methyl-4-isoxazole propionic acid) nuit à la performance au cours du test de rétention dans une tâche de mémoire spatiale (Abel & Lattal, 2001). Poussant plus loin ces techniques, certains chercheurs ont identifié deux fenêtres temporelles de sensibilité aux inhibiteurs de protéine kinase A (PKA), et à la synthèse des protéines dans la consolidation d'une peur contextuelle (Abel & Lattal, 2001; McGaugh, 2000). Une première période de sensibilité surviendrait immédiatement après le conditionnement qui serait gérée par l'activation des récepteurs NMDA (N-methyl-D-aspartate), et une deuxième quatre heures plus tard qui impliquerait le système dopaminergique (Abel & Lattal, 2001). Ces données sont conformes au modèle de l'apprentissage déclaratif qui soutient l'existence de deux mécanismes de consolidation, un à court terme et l'autre à long terme (Hasselmo & McClelland, 1999; Knowlton & Fanselow, 1998; Moscovitch & Nadel, 1998; Nadel & Moscovitch, 1997; McGaugh, 2000; Squire et Alvarez, 1995; Tulving & Markowitsch, 1997). Ainsi, la modification synaptique des neurones du cortex cérébral responsables de la consolidation à long terme de l'information serait plus lente que celle des neurones de l'hippocampe, lesquels seraient responsables de la consolidation à court terme.

Devant la similitude des processus moléculaires mise à jour par ces études pharmacologiques et celui de la potentiation à long terme (PLT) induit au cours de l'apprentissage, plusieurs chercheurs tentent aujourd'hui d'établir un lien plus précis entre ces deux mécanismes et le processus de consolidation (McGaugh, 2000). Par exemple, dans une étude biochimique de l'apprentissage, Schafe et ses collaborateurs (2000) ont démontré que la cascade d'évènements (ERK[1] & MAP[2]) impliquant la synthèse des protéines était importante pour le déclenchement du processus de potentiation à long terme (PLT), ainsi que pour la consolidation du conditionnement auditif de la peur (Abel & Lattal, 2001). De plus, en 1999 Malenka et Nicoll ont démontré que l'inhibition de CaMKII (calcium-calmodulin dependant protein kinase II), impliquée dans la phosphorilisation de l'acide AMPA, bloque le processus de potentiation à long terme induit dans la région CA1 de l'hippocampe immédiatement après l'apprentissage (McGaugh, 2000). D'autres comme Shimuzi et ses collaborateurs (2000) ont aussi mis au point une autre technique permettant de neutraliser à plus long terme les récepteurs NMDA de la région CA1 de l'hippocampe au cours de la phase de consolidation d'un conditionnement contextuel de la peur (Abel & Lattal, 2001). Les résultats démontrent donc que le processus de consolidation serait dépendant de l'activité des récepteurs NMDA également impliqués dans l'induction de la potentiation à long terme (Abel & Lattal, 2001). Malgré toutes ces découvertes, encore bien peu de choses sont connues quant aux processus moléculaires qui sous-tendent le phénomène de consolidation, un processus qui s'amorce rapidement au cours de l'apprentissage et qui continue plusieurs heures après la fin d'un nouvel apprentissage afin de mettre sur pied une trace mnésique accessible pour le reste de la vie chez le candidat à l'entraînement (McGaugh, 2000).

---

[1] Extracellular signal-regulated kinase

Expérimentation animale et consolidation de l'apprentissage

La mémoire déclarative s'acquiert très souvent en un seul essai à un moment précis (Halsband & Freund, 1993; Hasselmo & McClelland, 1999; Nissen, 1992; Squire, 1992, 1998; Squire & Knowlton, 1995; Squire & Zola, 1996a, 1996b). Ainsi, il est difficile d'étudier la mémoire déclarative rétrograde à l'aide de participants humains puisqu'on ne peut s'assurer de la nouveauté des stimuli (Jaffard, Bontempi, Laurent-Demir & Destrade, 1998; Knowlton & Fanselow, 1998). Par contre, les protocoles d'études expérimentales à l'aide d'animaux permettent un contrôle rigoureux des acquis réalisés (Jaffard et al., 1998), ce qui permet de tester de façon expérimentale les différents rôles accordés à l'hippocampe dans les modèles de mémoire déclarative (Hasselmo & McClelland, 1999; Nadel & Moscovitch, 1997; Moscovitch & Nadel, 1998; Squire et Alvarez, 1995; Tulving & Markowitsch, 1997).

Au cours d'une série d'expérimentations, Destrade et ses collaborateurs (Belcadi-Abbassi & Destrade, 1995; Bontempi, Laurent-Demir, Destrade & Jaffard, 1999; Destrade et al., 1992; Jaffard et al., 1998) se sont intéressés au rôle de l'hippocampe dans la consolidation mnésique et à la réorganisation temporelle cérébrale qui sous-tend le passage à long terme de la mémoire déclarative. Destrade et ses collaborateurs (1992) ont utilisé une tâche de pression de levier pour étudier la consolidation de l'apprentissage chez des souris. Les résultats démontrent que la performance des souris se détériore à la suite d'une période de latence d'une heure, alors qu'elle s'améliore spontanément à la suite d'une période d'inactivité d'au moins trois heures suivant la première session d'apprentissage. Ces résultats correspondent au phénomène connu sous le nom de l'effet Kamin, qui suggère que l'engramme construit au cours de l'apprentissage est temporairement inaccessible; ce phénomène s'expliquerait par une relocalisation ou par une réorganisation de l'information. D'ailleurs, les résultats de l'analyse métabolique relative de l'activité cérébrale à l'aide de l'injection des isotopes (^{14}C) déoxyglucose et (^{14}C)-glucose, respectivement utiles pour échantillonner l'activité tardive et précoce, suggèrent que les régions sous-corticales (septum médial, hippocampe, thalamus et les corps mamillaires) sont impliquées dans la consolidation immédiate de ce même type d'apprentissage alors que le cortex cérébral (les régions du cingulum et le cortex piriforme) est impliqué dans la consolidation à long terme (trois heures plus tard).

---

[2] mitogen-activated protein

Dans le même ordre d'idée, Jaffard et ses collaborateurs (1998) ont soumis des souris à cinq sessions d'entraînement à une tâche de discrimination spatiale. Chacune des sessions est séparée par un intervalle de temps régulier et prend place au cours d'une période variant entre 3 jours et 6 semaines avant que les animaux ne subissent une lésion du cortex entorhinal par une injection d'acide iboténique. À la suite de la lésion, les souris sont remises en situation expérimentale pour le test de rétention mnésique des discriminations spatiales récemment acquises. Les résultats suggèrent que la mémoire des discriminations spatiales ne dépend plus de la boucle cortico-hippocampo-corticale transitant par le cortex entorhinal à la suite d'une période couvrant plus de 4 semaines.

Plus récemment, Bontempi et ses collaborateurs (1999) ont analysé l'activité cérébrale métabolique relative d'un acquis récent (5 jours) et d'un acquis ancien (25 jours), dans une tâche de discrimination spatiale, à l'aide de l'injection de l'isotope (^{14}C) déoxyglucose chez des souris. Les résultats obtenus démontrent l'existence d'une réorganisation cérébrale au cours du passage à long terme de la représentation neuronale acquise. En effet, l'activité métabolique de l'hippocampe diminue alors qu'un certain niveau d'activité est observé dans les régions corticales telles les régions frontales, le cingulum antérieur et le cortex temporal. Cependant, dès l'instant où des modifications sont apportées à la tâche de discrimination spatiale, l'activité métabolique de l'hippocampe augmente suggérant ainsi que l'hippocampe est impliqué dans l'apprentissage d'une nouvelle tâche ou dans le maintien d'un apprentissage avant son passage à long terme.

Neuroanatomie de l'apprentissage déclaratif chez l'humain

Récemment, Tulving et Markowitsch (1997) ont effectué une méta-analyse à partir de nombreuses études d'imagerie cérébrale. Ils s'intéressent particulièrement à la distinction des régions d'activités impliquées dans l'encodage et la récupération des représentations neuronales de l'apprentissage. Les résultats démontrent que l'encodage de l'information dépendrait du lobe temporal de façon bilatérale, en particulier du gyrus fusiforme, du cortex périhinal des régions médiales du lobe temporal gauche et du cortex entorhinal de façon bilatéral. Par contre, la récupération du matériel, quant à elle, dépendrait des régions frontales droites, du cingulum antérieur, du thalamus, du tronc cérébral, du cunéus et du pré-cunéus.

L'hypothèse courante stipule que l'hippocampe et les régions médiales du lobe temporal seraient davantage impliquées dans l'encodage et la consolidation que dans la récupération. Toutefois, des données neuroanatomiques issues d'études d'imagerie cérébrale à l'aide de la tomographie par émission de positons et de l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle suggèrent que l'hippocampe, de façon bilatérale, mais avec une prédominance de l'hémisphère droit, serait également impliqué dans la récupération de l'information.

Ensemble, les données issues des études pharmacologiques, des études animales ainsi que les données issues d'études sur le sommeil ou par imagerie cérébrale chez l'humain, soutiennent les différentes variations du modèle standard entre autres celle proposée par Hasselmo et McClelland (1999) qui stipule l'existence d'une réorganisation cérébrale graduelle de l'activité métabolique du cerveau avec le passage à long terme de la représentation neuronale des différents apprentissages déclaratifs transitant par la boucle cortico-hippocampo-corticale. Si plusieurs études ont permis de mieux comprendre le rôle de l'hippocampe au cours de la consolidation des acquis mnésiques déclaratifs, aucune structure équivalente n'a, à ce jour, été identifiée pour la consolidation des acquis non-déclaratifs (Dudai, 1996).

Consolidation de l'apprentissage d'habiletés chez l'humain

La majorité des données disponibles sur le phénomène de consolidation de l'apprentissage chez l'humain sont issues d'études impliquant des épreuves mnésiques explicites qui dépendent de l'intégrité des régions médiales du lobe temporal (Brashers-Krug et al., 1996; Dudai, 1989, Squire et Alvarez, 1995). La première démonstration du phénomène de consolidation de l'apprentissage d'habiletés de type visuel revient à Karni et Sagi (1993). Toutefois, au niveau de l'apprentissage d'habiletés motrices, on retient le travail de Brashers-Krug et ses collaborateurs en 1996 (Muellbacher et al., 2002). Ces études sont les premières, chez l'humain, qui soutiennent l'idée d'une transformation rapide de la mémoire non-déclarative à la suite du passage du temps, démontrant ainsi l'existence de processus cognitifs semblables dans différentes formes de mémoire, et ce, chez différentes espèces (Dudai, 1996). Ces études et d'autres qui s'y sont jointes depuis (Bütefisch et al., 2000; Donchin, Sawaki, Madupu, Cohen & Shadmehr, 2002; Fisher, Hallschimid, Elsner & Born, 2002; Flament et al., 1996; Gais et al., 2000; Gandolfo, Li, Banda, Schioppa & Bizzi, 2000; Imamizu et al., 2000; Karni et al, 1998; Krebs et al., 1998; Li, Schioppa & Bizzi, 2001; Maquet, Peigneux, Laureys & Smith, 2002; Muellbacher et al., 2002; Schwartz, Maquet & Frith, 2002; Shadmehr & Barshers-Krug, 1997; Shadmehr & Holcomb, 1997, 1999; Stickgold, LaTanya & Hobson, 2000; Walker, Brakesfield, Morgan, Hobson & Stickgold, 2002) seront analysées plus en détail ci-dessous, car elles représentent l'ensemble des travaux à l'origine de cette thèse.

Consolidation de l'apprentissage d'une habileté perceptuelle

Karni et Sagi (1993) ont utilisé une tâche de discrimination visuelle de cibles texturées afin de mesurer l'amélioration de la performance au cours des différentes étapes de l'apprentissage d'habileté visuelle chez neuf participants sains. Dans cette tâche, les participants doivent apprendre à discriminer les essais où toutes les lignes qui forment le fond d'un stimulus sont verticales, des essais où 3 de ces lignes sont diagonales. Ces auteurs ont observé une amélioration rapide de la performance au cours des premiers blocs d'essais, suivi d'une amélioration incrémentielle, mais plus lente de la performance pour le reste de la première session de pratique. Cependant, ils n'ont observé aucune amélioration entre la première session d'entraînement et les sessions subséquentes lorsque le délai temporel représentait moins de huit heures. Par contre, une amélioration spontanée de la performance a été notée pour certains participants à la suite d'un délai temporel de huit heures, et pour tous les participants à la suite d'un délai temporel de 22 à 28 heures après la première session de pratique. L'amélioration de la performance des participants s'est poursuivie au cours des sessions quotidiennes subséquentes d'entraînement et l'apprentissage effectué fut conservé plusieurs mois, voire même des années plus tard. Selon Karni & Sagi l'amélioration de la performance au cours de la phase de latence entre la première session de pratique et les sessions de pratique ultérieures est tributaire de l'expérience sensorielle acquise lors de l'apprentissage initial de la première session de pratique. Pour eux, ces résultats suggèrent donc que les processus sous-jacents aux phases rapides et lentes de l'apprentissage sont différents de par leur évolution et leur saturation, et que l'apprentissage lent est tributaire d'un mécanisme d'emmagasinage mnésique qui consolide l'apprentissage à plus long terme.

Rôle du sommeil dans la consolidation d'une habileté perceptuelle

Les travaux de Karni et Sagi (1993) sont non seulement à l'origine de nombreuses études sur la consolidation, mais ont également stimulé plusieurs travaux sur la compréhension du rôle du sommeil dans la consolidation d'un apprentissage procédural (Gais, et al., 2000; Maquet et al., 2002; Stickgold et al., 2000). Utilisant la même tâche de discrimination visuelle de cibles texturées qu'eux, Stickgold et ses collaborateurs (2000) ont démontré que la consolidation de ce type d'apprentissage est dépendant de certaines phases du sommeil, et non du simple passage du temps tel que stipulé par le paradigme paramétrique de Karni et Sagi (1993). Dans leur étude, Stickgold et ses collaborateurs (2000) ont privé de sommeil certains participants à la suite d'un entraînement à la même tâche de discrimination perceptuelle de cibles texturées que celle utilisée par Karni et Sagi (1993). Tous les participants de cette étude ont été revus pour le test de rétention, trois jours plus tard après deux nuits complètes de sommeil réduisant ainsi les effets physiologiques de la privation de sommeil sur la performance. Les résultats démontrent que contrairement aux participants contrôles donc, sans privation de sommeil, les participants qui ont été privés de sommeil ne démontrent aucune amélioration significative à la tâche au troisième jour. De plus, les résultats démontrent que les nuits de sommeil subséquentes à la période de privation de sommeil ne remplacent pas cette dernière quant au processus de consolidation de l'apprentissage.

Dans une autre étude, Gais et ses collaborateurs (2000) ont scindé en deux la nuit de sommeil afin de comparer l'effet des phases N-MRY et MRY du sommeil. Dans cette étude, certains participants ont été privés de sommeil au début de la nuit où le sommeil est composé principalement des phases N-MRY, alors que d'autres participants ont été privés de sommeil vers la fin de la nuit où le sommeil est caractérisé par la phase MRY. Les résultats démontrent que les participants qui ont bénéficié de la première phase de sommeil N-MRY se sont améliorés à la tâche de discrimination. Les participants contrôles qui ont bénéficié d'une nuit complète de sommeil se sont améliorés encore davantage, alors que les participants qui ont bénéficié de la dernière partie du sommeil (MRY) uniquement ne démontrent aucune amélioration à la tâche, démontrant ainsi le rôle prédominant du sommeil N-MRY dans ce type d'apprentissage perceptuel. Suivant ces deux études, Mednick et ses collaborateurs (2002) ont démontré que la détérioration de la performance des participants au cours de plusieurs

entraînements effectués le même jour, peut être évitée si les participants bénéficient d'une sieste de 30 ou de 60 minutes durant la journée. La sieste de 60 minutes étant plus efficace qu'une sieste de 30 minutes, puisqu'elle a pour effet d'augmenter le temps passé en sommeil N-MRY. Ensemble, ces données (Gais et al., 2000; Stickgold et al., 2000) et celle de Karni & Sagi (1993) suggèrent que la consolidation d'un apprentissage procédural de type perceptuel s'effectue à la suite de la première phase de sommeil N-MRY caractérisé par un sommeil à ondes lentes (SOL) ou encore mieux à la suite d'une nuit complète de sommeil.

Imagerie cérébrale de la consolidation d'une habileté perceptuelle

Récemment, Schwartz, Maquet et Frith (2002) se sont intéressés à l'imagerie cérébrale de la consolidation de l'apprentissage d'une habileté perceptuelle en utilisant encore une fois la même tâche de discrimination perceptuelle de cible texturée. Dans cette étude, les participants s'entraînaient à effectuer la tâche avec un œil seulement. Par contre, le test de rétention, effectué 24 heures plus tard à l'aide de la technique d'imagerie cérébrale par résonance magnétique fonctionnelle (IRMF), s'effectuait avec les deux yeux de façon à utiliser l'œil non entraîné comme condition contrôle. Les résultats obtenus suggèrent qu'une réorganisation cérébrale s'opère au cours de la consolidation de l'apprentissage, laquelle implique les connexions locales des régions corticales visuelles primaires. Par contre, dans la condition contrôle, l'activité des régions corticales visuelles primaires est appuyée par l'activité des régions pariétales et frontales, ainsi que par une activité au niveau de l'amygdale. Cette réorganisation de l'activité cérébrale est sous-jacente au processus de consolidation qui opère à la suite de l'entraînement et présuppose une amélioration de la performance malgré la réduction de l'influence contributoire des régions corticales impliquées dans les processus d'analyses supérieures (higher-order brain areas).

Consolidation d'un apprentissage moteur simple

Utilisant la technique de stimulation corticale transmagnétique (STM), Muellbacher et ses collaborateurs (2002) ont récemment démontré l'implication du cortex moteur primaire (M1) dans la consolidation de l'apprentissage d'une tâche de mouvements simples tel que l'opposition de l'index avec le pouce à un rythme imposé par un métronome. Dans cette étude, les participants s'entraînent au cours de deux sessions d'apprentissage de cinq minutes suivies d'une troisième session de dix minutes. Chacune des sessions est séparée par une pause de 15 minutes au cours de laquelle la technique de stimulation corticale transmagnétique est appliquée au niveau du cortex moteur primaire (M1). Les résultats obtenus démontrent que les participants améliorent leur performance en terme de force appliquée au mouvement et d'accélération rythmique au cours de l'entraînement à la première session. Les participants démontrent une bonne rétention de l'habileté apprise et continuent de s'améliorer au cours des périodes d'entraînement subséquentes. Par contre, la performance des participants est grandement affectée lorsque le cortex moteur primaire est stimulé (STM) immédiatement après l'entraînement afin d'interférer avec le passage d'un état fragile à un état stable et résistant à l'interférence de l'apprentissage. Dans une série d'études subséquentes, Muellbacher et ses collaborateurs (2002) ont démontré que la stimulation corticale affecte spécifiquement le processus de consolidation puisque 1) la stimulation corticale de régions corticales autres que la région motrice primaire ne produit pas d'interférence telle que mesuré lors du test de rétention, 2) la stimulation corticale n'affecte pas la performance des participants qui n'ont pas été entraînés à la tâche, et 3) la stimulation corticale du cortex moteur primaire, effectuée à la suite d'une période de latence six heures entre la première session d'entraînement et le test de rétention, n'affecte pas la performance des participants.

Mécanismes sous-jacents à la consolidation d'un apprentissage moteur simple

Bütefisch et ses collaborateurs (2000) se sont attardés aux mécanismes sous-jacents à la consolidation l'apprentissage d'un mouvement moteur simple à l'aide d'une étude neuropsychopharmacologique. Ils ont utilisé la technique de stimulation corticale transmagnétique afin de déterminer la direction des mouvements du pouce engendrés sous stimulation du cortex M1. Ensuite, ils ont mis sur pied un protocole d'entraînement où les participants effectuent des mouvements dans la direction opposée au mouvement effectué naturellement lors des stimulations, et ce, suivant le rythme d'un métronome pour une période de 30 minutes. Les résultats démontrent que les participants apprennent à effectuer des mouvements opposés au mouvement naturel au cours de l'entraînement. Par contre, cette amélioration de la performance est éliminée lorsqu'on administre au participant 1) une dose de Lorazepam (0.038 mg/kg) molécule qui augmente l'activité de l'acide γ-aminobutyric de type A ($GABA_A$) et qui bloque la potentiation à long terme (PLT), deux heures avant l'entraînement ou encore 2) une dose de Dextromethorphan (2 mg/kg), une molécule qui bloque les récepteurs N-methyl-D-aspartate (NMDA), trois heures avant l'entraînement. Par contre, l'administration d'une dose de Lamotrigine (300 mg/kg), une molécule qui modifie l'activité des canaux Na^+ et Ca^{2+} sans affecté l'induction de la potentiation à long terme (PLT), deux heures avant l'entraînement, n'élimine pas l'effet d'apprentissage. Ces résultats suggèrent que les récepteurs NMDA sont importants dans la plasticité cérébrale et donc possiblement impliqués dans la consolidation. De plus, ces résultats suggèrent que le processus de plasticité cérébrale qui sous-tend le mécanisme à la base de la consolidation d'un apprentissage moteur simple est considérablement éliminé par l'activité gabaergique qui nuit à la potentiation à long terme (PLT). Ensemble, ces résultats suggèrent que les mécanismes sous-jacents l'induction de la potentiation à long terme (PLT) sont similaires aux mécanismes de plasticité cérébrale possiblement impliqués dans la consolidation de l'apprentissage.

Consolidation de l'apprentissage moteur séquentiel

Faisant suite aux résultats obtenus au cours des études paramétriques de la consolidation d'un apprentissage perceptif, Karni et ses collaborateurs (1998) se sont intéressés à la consolidation d'une tâche d'apprentissage d'une séquence motrice. Dans leur étude, Karni et ses collaborateurs (1998) étudient l'effet de l'administration de quelques blocs de pratique à une tâche de séquences de mouvements de doigts sur la consolidation de ce type d'apprentissage. Dans cette tâche les participants doivent apprendre à effectuer une combinaison de séquences de doigts en opposant chacun des 4 doigts de la main contre le pouce à tour de rôle, et ce, selon deux séquences précises qui sont, en fait, le miroir l'une de l'autre (4, 1, 3, 2, 4, et 4, 2, 3, 1, 4). Au cours de l'entraînement, la séquence choisie (l'autre devenant une condition contrôle) devait être effectuée au cours de six périodes de 40 secondes séparées par une période de repos de 2-3 minutes. Les mouvements étaient gérés par un métronome. Le niveau de base au début de l'apprentissage, ainsi que les niveaux de performance à la fin de l'entraînement et celui obtenu 24 heures plus tard, est mesuré par le plus grand nombre de séquences effectuées en 30 secondes, ainsi par le nombre d'erreurs effectuées. Les résultats obtenus démontrent qu'une simple familiarisation est suffisante pour observer une amélioration significative de la performance pour la séquence pratiquée seulement. De plus, ce bref entraînement s'avère également suffisant pour observer une amélioration significative de la performance sans pratique additionnelle entre les deux sessions de pratique quotidiennes à la suite d'une période de latence de 24 heures. Ces résultats suggèrent donc que la consolidation s'amorce immédiatement avec les premières exécutions de la tâche et qu'elle se poursuit après la session d'entraînement. Ainsi, il y a une similitude du processus neuronal de consolidation de l'apprentissage entre une tâche perceptuelle et une tâche de séquence motrice.

Poursuivant dans le même sens, Karni et son groupe (Korman, Raz, Flash & Karni, 2003) ont analysé l'effet de l'administration de sessions de pratique supplémentaires sur la consolidation de l'apprentissage de la tâche d'opposition des doigts au pouce de la main. Dans ce protocole, les participants de l'un des groupes bénéficiaient de cinq sessions d'entraînement supplémentaires avant le test de consolidation. Les résultats démontrent que les sessions de pratique supplémentaire provoquent des changements quantitatifs, mais surtout qualitatifs. Ainsi, les participants sont non seulement meilleurs, mais l'apprentissage effectué devient spécifique à la séquence et au membre entraîné, donc moins généralisable à une autre séquence d'opposition des doigts au pouce de la main et moins généralisable à l'autre membre supérieur qui ne s'entraîne pas.

Rôle du sommeil dans la consolidation de l'apprentissage moteur séquentiel

Dans une étude récente, Walker et ses collaborateurs (2002) ont utilisé une version informatisée de la tâche de séquence de doigts de Karni et ses collaborateurs (1998). Les résultats démontrent que 1) le simple passage du temps ne permet pas d'observer une amélioration significative de la performance à la suite d'une période de latence insérée entre la première et la deuxième session d'entraînement, 2) qu'une amélioration significative est observée 24 heures plus tard à la suite d'une nuit complète de sommeil, 3) que cette amélioration n'est pas tributaire des mouvements moteurs subséquents et que l'interférence des mouvements de la main n'explique pas l'absence d'amélioration au cours du simple passage du temps alors que certains participants avaient la main emballée entre chacune des sessions, et 4) qu'il y a une relation entre le pourcentage de temps de sommeil de la phase 2 N-MRY particulièrement vers la fin de la nuit et le pourcentage d'amélioration spontanée à la tâche.

Dans une étude semblable utilisant, cette fois-ci, la tâche d'origine utilisée dans l'étude de Karni et ses collaborateurs (1998), Fisher et ses collaborateurs (2002) s'intéressent également au rôle du sommeil dans la consolidation de l'apprentissage moteur séquentiel. Ici, les résultats suggèrent 1) qu'une amélioration significative de la performance peut être observée à la suite d'une période de sommeil qui prend place soit au cours de la journée ou au cours de la nuit, 2) que l'amélioration est spécifique à la séquence utilisée au cours de l'entraînement, et 3) dans une analyse exploratoire corrélationnelle des phases du sommeil avec un faible nombre de participants, que l'amélioration de la performance corrèle avec le temps de sommeil passé en phase MRY et non avec la phase 2 du sommeil N-MRY.

Pour leur part, Karni et son groupe (Korman et al., 2003) ont comparé la performance de deux groupes de participants lors du test de consolidation à la suite d'une période de latence de douze heures sans pratique additionnelle. Les participants de l'un des groupes effectuaient le test de consolidation le jour même alors que les participants de l'autre groupe effectuaient ce test le lendemain après une nuit de sommeil. Les résultats révèlent une amélioration significative pour les participants qui ont pu dormir entre les deux sessions alors que les autres participants démontrent une amélioration significative seulement 48 heures plus tard après une nuit complète de sommeil. Ces résultats suggèrent que le processus de consolidation demeure latent pendant le jour et prend pleinement forme au cours de la nuit de sommeil subséquente.

Les études s'intéressant à l'apprentissage par adaptation sensori-motrice

Shadmehr et ses collaborateurs (Brashers-Krug et al., 1996; Krebs et al., 1998; Nezafat et al., 1999; Shadmehr & Brashers-Krug, 1997; Shadmehr & Holcomb, 1997, 1999; Shadmehr & Mussa-Ivaldi, 1994) ont adopté une conception biomécanique de l'apprentissage d'habileté motrice basé sur le concept de la représentation interne des mouvements désirés et celle des mouvements effectués. Pour ce faire, ils adoptent une tâche sensori-motrice pour étudier l'adaptation mécanique des mouvements à la suite de changements produits dans l'environnement. Dans cette tâche, les participants doivent manipuler un levier articulé relié à un robot afin d'atteindre l'une des huit cibles disposées en cercle avec un écart de 45 degrés entre chacune d'entre elles. Ce robot offre la particularité de simuler ou non un champ de force qui perturbe la performance des participants au cours de l'apprentissage. Ce champ de force peut être soit positif, dans le sens du mouvement, soit négatif, inverse au mouvement.

Le modèle d'acquisition de Shadmehr et ses collaborateurs (Brashers-Krug et al., 1996; Krebs et al., 1998; Nezafat et al., 1999; Shadmehr & Barshers-Krug, 1997; Shadmehr & Holcomb, 1997, 1999; Shadmehr & Mussa-Ivaldi, 1994) ne se définit pas par une amélioration spontanée de la performance à la suite d'une période de latence entre la phase rapide et la phase lente de l'apprentissage d'une tâche (Karni, 1996; Karni et al., 1998; Karni & Sagi, 1993), mais plutôt par l'incapacité d'une seconde tâche dite interférente, insérée entre la phase d'acquisition et le test de consolidation de l'apprentissage initial, de compromettre la rétention de l'habileté motrice apprise initialement (Brashers-Krug et al., 1996; Krebs et al., 1998; Shadmehr & Brashers-Krug, 1997; Shadmehr & Holcomb, 1997, 1999). Tout comme l'étude de Karni et Sagi (1993), les travaux de Shadmehr et ses collaborateurs (Brashers-Krug et al., 1996; Krebs et al., 1998; Nezafat et al., 1999; Shadmehr & Brashers-Krug, 1997; Shadmehr & Holcomb, 1997, 1999; Shadmehr & Mussa-Ivaldi, 1994) ont donné suite à de nombreuses études complémentaires entre autres au niveau animal, pharmacologique, ainsi qu'au niveau du sommeil et par imagerie cérébrale qui seront survolées dans les sections suivantes.

L'expérimentation animale et la consolidation d'une adaptation sensori-motrice

Gandolfo et ses collaborateurs (2000) se sont intéressés aux changements neuronaux observés au niveau du cortex moteur primaire à la suite de l'apprentissage d'une adaptation sensori-motrice. Dans cette étude qui repose sur la même tâche que celle mise sur pied par Schadmehr et ses collaborateurs (Brashers-Krug et al., 1996; Krebs et al., 1998; Nezafat et al., 1999; Shadmehr & Brashers-Krug, 1997; Shadmehr & Holcomb, 1997, 1999; Shadmehr & Mussa-Ivaldi, 1994), on utilise l'enregistrement cellulaire afin d'identifier l'activité neuronale associée à l'apprentissage et à la consolidation de la représentation interne tributaire d'une adaptation sensori-motrice. Les résultats obtenus permettent d'identifier 143 neurones du cortex moteur primaire qui semblent relier à l'une ou l'autre des trois conditions suivantes : 1) niveau de base sans champ de force, 2) apprentissage sous le champ de force A et 3) retour au niveau de base. De ces 143 neurones, 63 neurones sont associés à la composante cinématique de la tâche, c'est-à-dire le mouvement. Parmi les autres neurones, 57 ont vu leur activité modifiée tandis que l'activité des 23 autres est demeurée équivalente au cours des différentes phases de l'apprentissage. Ainsi, ces 23 neurones représentent fort probablement ainsi la composante dynamique, c'est-à-dire la force appliquée au membre supérieur qui effectue la tâche tandis que les 57 autres sont identifiés comme « neurone-mémoire ». Ainsi, l'activité de ces 57 neurones est reliée à la représentation interne acquise de la tâche à effectuer. Ensemble, ces résultats appuient l'hypothèse d'une plasticité cérébrale au niveau du cortex moteur primaire à la suite de l'acquisition et la consolidation d'une adaptation sensori-motrice.

Ces résultats ont été confirmés par une étude similaire de Li et ses collaborateurs (2001). Par contre, ici, Li et ses collaborateurs (2001) divisent les « neurones-mémoire » en deux groupes distincts, un premier groupe qui tient compte du champ de force A dont l'activité diminue au cours du retour au niveau de base, et un deuxième groupe qui tient compte de l'apprentissage dont l'activité se maintient, mais de façon différente, que lors du niveau de base. Pour Li et ses collaborateurs (2001) ces résultats démontrent clairement que l'activité neuronale de deux ensembles différents se combine entre elles pour assouvir deux fonctions différentes soit d'une part l'exécution motrice et d'autre part l'apprentissage moteur.

Consolidation d'une adaptation sensori-motrice

Brashers-Krug et ses collaborateurs (1996) sont les premiers à s'être intéressés à la consolidation d'une tâche d'adaptation sensori-motrice. Dans cette étude, le premier groupe de participants est soumis à un champ de force, nommé champ de force A, lors de la phase d'acquisition et au même champ de force A à la suite d'une période de latence de 24 heures entre la phase d'acquisition et le test de rétention de l'apprentissage. Les résultats démontrent que la performance des participants s'améliore de façon significative sans pratique additionnelle au cours de la période de latence. Tous les autres groupes sont soumis, à divers moments, à un champ de force interférent B au cours de la période de latence soit immédiatement, 5 minutes, une heure, et quatre heures après l'entraînement avec le champ de force A. Une amélioration spontanée de la performance est observée seulement pour les participants du groupe qui bénéficient d'une période de quatre heures avant l'entraînement sous le champ de force B. De plus, une amélioration spontanée est notée pour les participants qui ont effectué la tâche de poursuite de cible sans champ de force comme tâche interférente. Ces résultats indiquent que l'apprentissage d'une adaptation sensori-motrice peut être consolidé au cours de la période de latence entre la première et la deuxième session de pratique si une tâche similaire, mais conflictuelle n'est pas introduite au cours des quatre premières heures suivant l'apprentissage initial. Aussi, ces données suggèrent que si un délai temporel inférieur à quatre heures sépare deux apprentissages moteurs, le système nerveux central confond les deux tâches et les interprètes comme un seul et unique apprentissage. Toutefois, il semble selon Brashers-Krug et ses collaborateurs (1996) que l'administration de seulement quelques blocs d'essais à la tâche interférente soit insuffisante pour nuire à la consolidation de la tâche initialement acquise, ce qui laisse supposer que le système nerveux central traite les deux apprentissages de façon distincte et qu'il faut plutôt tenter de comprendre comment la mémoire motrice gère les différentes représentations internes des nombreux apprentissages effectués pour comprendre comment s'opère la consolidation.

Pour Shadmehr et Brashers-Krug (1997) il existe également un lien entre les résultats obtenus à la suite de l'administration de la tâche interférente à divers moments au cours de la période de latence et le passage d'un état fragile à un état plus stable et résistant de la représentation interne du mouvement à effectuer pour accomplir une tâche. Dans cette nouvelle étude, ils utilisent la même tâche d'adaptation sensori-motrice pour identifier les propriétés des processus impliqués dans le passage à long terme de la mémoire motrice. Les résultats démontrent que l'apprentissage de l'adaptation sensori-motrice en présence d'un champ de force A est consolidé à la suite d'une période de latence de 24 heures et que 5 mois plus tard, la performance des participants demeure significativement supérieure à la performance obtenue à la fin de la phase d'acquisition de l'apprentissage. Pour eux, ces résultats démontrent que la représentation interne construite lors de la première session d'entraînement à la tâche d'adaptation sensori-motrice est désormais gérée par la mémoire à long terme. Shadmehr & Brashers-Krug (1997) ont également cherché à caractériser la période de latence en administrant un champ de force B : 5 minutes, 30 minutes, 2.5 heures, 5.5 heures et 24 heures à la suite de l'apprentissage de la tâche sous un champ de force A. Cependant, cette fois le test de rétention de l'adaptation sensori-motrice sous un champ de force A est effectué seulement une semaine plus tard. Une amélioration spontanée de la performance est démontrée uniquement pour les conditions avec interférence à 5.5 heures et 24 heures. De plus, les résultats démontrent que lorsqu'un délai temporel de 5 minutes est utilisé, les participants utilisent la représentation interne du champ de force A pour effectuer la tâche sous le champ de force B, tandis qu'à 5.5 heures, les participants se comportent pratiquement comme ceux qui ne se sont jamais entraînés à la tâche, ce qui leur permet de consolider l'adaptation sensori-motrice acquise sous le champ de force A.

Les résultats de Shadmehr et Brashers-Krug (1997) indiquent que l'apprentissage d'habileté motrice s'effectue en au moins deux phases distinctes et que chacune des phases est caractérisée par un substrat neuroanatomique différent, tout comme le laisse entendre Karni et ses collaborateurs (Karni, 1996; Karni et al., 1995, 1998; Karni & Sagi, 1993) en ce qui concerne l'apprentissage d'habiletés visuelles. De plus, les résultats de l'étude de Brashers-Krug et ses collaborateurs (1996) ainsi que ceux de Shadmehr et Brashers-Krug (1997) démontrent que la consolidation de l'apprentissage d'habileté motrice est également soutenue par un processus neuronal qui continue d'évoluer pendant la période de latence entre la première et la deuxième session de pratique de l'apprentissage, tout comme dans l'apprentissage d'habiletés visuelles. Cependant, le substrat neuroanatomique qui sous-tend le phénomène de consolidation d'une adaptation sensori-motrice demeure encore inconnu.

Substrat neuro-anatomique de la consolidation d'une adaptation sensori-motrice

En utilisant cette fois-ci un protocole paramétrique sans interférence, Shadmehr et Holcomb (1997) ont observé l'activité métabolique du cortex (TEP), au cours de l'apprentissage de cette même tâche d'adaptation sensori-motrice. Dans cette étude, la performance des sujets à l'adaptation sensori-motrice demeure inchangée à la suite d'une période de latence de 5.5 heures. Cependant, l'analyse de l'activité cérébrale démontre que le passage de l'état fragile de la représentation interne à l'état plus stable et résistant aux interférences est corrélé avec le passage de l'activité neuronale des régions dorsales des cortex préfrontaux bilatérales, aux régions prémotrices et pariétales postérieures gauches, ainsi qu'aux régions antérieures du cervelet droit. Ces résultats démontrent que la représentation interne de l'adaptation sensori-motrice est gérée par des structures différentes au cours des phases de l'apprentissage, et que cette réorganisation dynamique contribue au transfert et au maintien de cette représentation en mémoire. De la même façon, Krebs et ses collaborateurs (1998) ont démontré que la boucle cortico-striatale est particulièrement importante au début de l'apprentissage (phase rapide), tandis que la boucle cortico-cérébelleuse joue un rôle actif dans la phase lente de l'apprentissage. Les données de ces deux études démontrent que les régions striatales sont impliquées durant l'acquisition tandis que les régions cérébelleuses jouent un rôle dans l'adaptation des mouvements par rétroaction sensorielle et dans l'automatisation d'une adaptation sensori-motrice dans un paradigme sans tâche interférente.

Nezafat et ses collaborateurs (1999) ont utilisé le même paradigme d'adaptation sensori-motrice afin d'étudier la contribution fonctionnelle du cervelet dans la rétention à long terme des apprentissages moteurs à l'aide de la TEP. Les données métaboliques permettent de conclure que le cervelet est impliqué dans la construction de la représentation interne au cours de la phase d'acquisition de la première session. De plus, les résultats démontrent que l'activité métabolique du cervelet diminue au cours des sessions subséquentes d'entraînement à la suite d'une période de latence de 2 semaines entre chaque session par comparaison à l'activité métabolique observée lors de l'administration d'une série de champs de force différents présentés aléatoirement. Ces résultats indiquent que le rôle du cervelet diminue graduellement avec l'amélioration de la performance et le raffinement de la représentation interne des mouvements à effectuer pour accomplir une tâche déjà acquise.

Pour leur part, Shadmehr et Holcomb (1999) se sont également attardés à identifier l'activité neuronale associée à l'administration d'une tâche interférente à l'aide de TEP. Dans une condition, la tâche interférente est administrée immédiatement après l'acquisition de la tâche initiale tandis que dans l'autre, la tâche interférente est administrée à la suite d'une période de latence de six heures suivant la fin de la première session d'entraînement. Les résultats démontrent que l'administration d'une tâche interférente immédiatement après l'acquisition de la tâche initiale active de nouveau les régions impliquées dans la phase rapide au début de l'apprentissage soit la boucle cortico-striato-thalamo-cortical et la boucle cortico-cerebello-thalamo-cortical. De plus, les résultats démontrent que les régions ventrales du cortex préfrontal sont impliquées dans la gestion des représentations internes de deux tâches semblables, mais conflictuelles.

Mécanismes actifs de la consolidation d'une adaptation sensori-motrice

Donchin et ses collaborateurs (2002) se sont attardés aux mécanismes sous-jacents à la consolidation de l'apprentissage d'une adaptation sensori-motrice à l'aide d'une étude neuropsychopharmacologique. Dans cette étude, ils utilisent la même tâche que dans l'étude de Shadmehr et ses collaborateurs (Brashers-Krug et al., 1996; Krebs et al., 1998; Nezafat et al., 1999; Shadmehr & Brashers-Krug, 1997; Shadmehr & Holcomb, 1997, 1999; Shadmehr & Mussa-Ivaldi, 1994). Ainsi, tous les participants s'entraînent sous un champ de force A la première journée, effectuent un test de rétention de la tâche A et l'apprentissage de la tâche B le lendemain. Le deuxième jour, quatre groupes de participants absorbent une molécule pharmacologique différente, un groupe est privé de sommeil alors qu'un sixième groupe sert de contrôle. Les résultats démontrent que les participants apprennent à effectuer des mouvements sous le champ de force A et que le rappel de cet apprentissage est normal. Par contre, l'apprentissage de la tâche B est déficient lorsque l'on administre, aux participants, une dose de Lorazepam (0.038 mg/kg), une molécule qui augmente l'activité de l'acide γ-aminobutyric de type A ($GABA_A$) et qui bloque la potentiation à long terme (PLT), deux heures avant l'entraînement ou encore une dose de Dextromethorphan (2 mg/kg) qui bloque les récepteurs N-methyl-D-aspartate (NMDA), 30 minutes avant l'entraînement. L'administration d'une dose de Lamotrigine (200 mg) qui modifie l'activité des canaux Na^+ et Ca^{2+} sans affecter l'induction de la PLT, deux heures avant l'entraînement, ou celui d'une dose de scopolamine (1,5 mg) sous forme d'application transdermale derrière l'oreille, un antagoniste des récepteurs muscariniques, ou encore, la privation de sommeil entre la première et la deuxième journée d'entraînement n'éliminent pas l'effet d'apprentissage. Les résultats de la deuxième journée démontrent que la privation de sommeil n'a pas d'effet sur la consolidation d'une adaptation sensori-motrice et que les récepteurs NMDA sont importants pour l'acquisition, mais pas pour le rappel de ce type d'apprentissage. Ces résultats appuient l'hypothèse du rôle du processus d'induction de la potentiation à long terme (PLT) dans la consolidation de l'apprentissage moteur. Par contre, c'est l'une des premières études à démontrer que le sommeil n'a pas d'effet sur la consolidation de ce type d'apprentissage. Ce dernier résultat est conforme avec le modèle neuro-anatomique de Doyon et Ungerleider (2002) qui distingue les processus et les mécanismes d'apprentissage selon la nature séquentielle ou adaptative des tâches motrices à apprendre.

Comparaison de la consolidation de deux tâches de nature différentes

Récemment, des membres de notre laboratoire se sont intéressés à mesurer la période de latence nécessaire pour observer la consolidation de l'apprentissage de deux habiletés motrices différentes (Jackson, Forget, Soucy, Leblanc, Cantin, & Doyon, 1997). Au cours de la première session, les sujets sont entraînés à la tâche de dessin miroir (adaptation sensori-motrice) et à la tâche de poursuite rotatoire (apprentissage moteur séquentiel). Dans la tâche de dessin miroir, les participants doivent suivre le tracé d'une étoile en observant le stimulus et les mouvements qu'ils produisent à travers le reflet d'un miroir. L'apprentissage est mesuré par le temps nécessaire pour effectuer la tâche et par le nombre d'erreurs commises, c'est-à-dire le nombre de fois où le participant déborde du tracé de l'étoile pour toucher la plaque métallique. Dans la tâche de poursuite rotatoire, les sujets doivent poursuivre une lumière située sur un disque rotatoire, à vitesse variable, à l'aide d'un stylet photo-électrique. L'apprentissage est mesuré par le temps total où le stylet capte le signal lumineux du disque rotatoire. Une amélioration spontanée de la performance est observée au cours de la deuxième session d'entraînement à la suite d'une période de latence de 1, 6, 8, et 10 heures pour la tâche de poursuite rotatoire seulement. Ces résultats suggèrent que la tâche de poursuite rotatoire (habileté motrice séquentielle) et la tâche dessin miroir (adaptation sensorimotrice) n'impliquent pas les mêmes processus cognitifs. D'autres chercheurs ont observé une distinction entre ces deux tâches d'apprentissage d'habiletés dans des études cliniques réalisées auprès de participants atteints de la maladie de Huntington (Gabrielli et al., 1997; Willingham et al., 1996). Par ailleurs, les résultats de Jackson et ses collaborateurs (1997) sont congruents avec les données actuelles qui démontrent la nécessité d'une période de latence d'au moins six heures pour que les mécanismes de consolidation soient efficaces.

Résumé

Comme suite à l'analyse des nombreuses études relevées ci-dessus, plusieurs constantes peuvent être identifiées. Premièrement, ces études ont permis de démontrer l'existence d'une plasticité cérébrale qui s'exprime par l'augmentation de la surface des régions activées lors d'un mouvement, lequel est corrélé avec l'amélioration de la performance et le raffinement de la représentation interne de l'habileté acquise. Ainsi, certaines études indiquent que cette plasticité opère de façon intrinsèque au niveau des régions, qui sont à la base de la fonction même telle que M1 ou V1 (Gandolfo et al., 2000; Karni et al., 1995; Li et al., 2002; Muellbacher et al., 2002; Schwartz et al., 2002).

Deuxièmement, les données de ces études ont permis d'identifier au moins deux phases distinctes de l'apprentissage d'habileté motrice, soit la phase rapide et la phase lente (Doyon & Ungerleider, 2002; Flament et al., 1996; Imamizu et al., 2000; Krebs et al., 1998; Nezafat et al., 1999; Shadmehr & Holcomb, 1997). Au cours de la phase rapide, la performance des participants s'améliore brusquement en très peu de temps. À cette étape, le participant construit une représentation interne des mouvements à exécuter afin d'accomplir une tâche avec succès. Par contre, l'amélioration de la performance des participants lors de la phase lente s'effectue de façon plus graduelle; ainsi, les gains effectués par la pratique sont minimes et s'échelonnent sur une plus longue période, ce qui s'exprime par un raffinement de la représentation interne de la routine motrice.

Troisièmement, les études discutées précédemment permettent également de démontrer l'existence d'une réorganisation lente de l'activité neuronale qui sous-tend les phases d'acquisition et de rétention de l'apprentissage d'habileté motrice. Ainsi, certaines études démontrent l'existence d'une réorganisation cérébrale impliquant un ensemble de structure telle que la boucle cortico-striato-corticale et la boucle cortico-cérébello-corticale (Doyon & Ungerleider, 2002; Flament et al., 1996; Imamizu et al., 2000; Krebs et al., 1998; Nezafat et al., 1999; Shadmehr & Holcomb, 1997).

Quatrièmement, ces études permettent aussi d'identifier une phase intermédiaire située entre la phase rapide et la phase lente pour laquelle le terme consolidation semble faire consensus pour identifier cette phase qui permet le passage à long terme de la représentation interne de l'habileté motrice acquise qui sous-tend 1) l'amélioration spontanée de la performance, sans pratique additionnelle, à la suite d'une période de latence entre deux sessions d'entraînement (Fisher et al., 2002; Gais et al., 2000; Karni & Sagi, 1993; Karni et al., 1998; Muellbacher et al., 2002; Stickgold et al., 2000; Walker et al., 2002), 2) l'incapacité d'une seconde tâche dite interférente, insérée entre la phase d'acquisition et le test de consolidation de l'apprentissage initial, de compromettre la rétention de l'habileté motrice apprise initialement (Brashers-Krug et al., 1996; Krebs et al., 1998; Shadmehr & Brashers-Krug, 1997; Shadmehr & Holcomb, 1997, 1999), 3) l'incapacité d'une privation de sommeil, insérée entre la phase d'acquisition et le test de consolidation de l'apprentissage initial, de compromettre la rétention de l'habileté motrice apprise initialement (Donchin et al., 2002; Fisher et al., 2002; Gais et al., 2000; Maquet et al., 2002; Stickgold et al., 2000; Walker et al., 2002) ou encore 4) l'incapacité d'une molécule, administrée entre la phase d'acquisition et le test de consolidation de l'apprentissage initial, de compromettre la rétention de l'habileté motrice apprise initialement (Bütefisch et al., 2000; Donchin et al., 2002). Finalement, de façon générale, les études suggèrent également qu'une période de latence de 4 à 6 heures est nécessaire pour observer le phénomène de consolidation de l'apprentissage d'habileté motrice dans un paradigme avec ou sans tâche interférente.

Problématique

L'analyse approfondie des études relevées ci-dessus permet de soulever certains indices qui suggèrent que la consolidation d'apprentissage d'habiletés motrices est un phénomène peu robuste. Premièrement, Karni et Sagi (1993) n'observent pas d'amélioration spontanée de la performance chez tous les participants à la suite d'une période de latence de huit heures entre deux sessions d'entraînement. La consolidation de l'apprentissage apparaît pour tous les participants seulement après un délai temporel de 22 à 28 heures entre la première et la deuxième session d'entraînement. Ces résultats démontrent une certaine variabilité interindividuelle relative à des variations naturelles des habiletés d'apprentissage des participants. L'atteinte d'une saturation de la performance des participants est donc probablement nécessaire afin de maximiser les effets du phénomène de consolidation.

Deuxièmement, Jackson et ses collaborateurs (1997) observent une amélioration spontanée de la performance à la tâche de poursuite rotatoire, mais pas à la tâche de dessin miroir, et ce, pour les mêmes périodes de latence dans un paradigme paramétrique. Ces résultats démontrent encore une fois l'existence de processus cognitifs distincts pour ces deux tâches.

Troisièmement, bien qu'innovateurs, les résultats de Brashers-Krug et ses collaborateurs (1996) et, de Shadmehr et Holcomb (1997) doivent être interprétés avec prudence due à l'incapacité de reproduire les mêmes résultats dans deux paradigmes différents. D'abord, Brashers-Krug, et ses collaborateurs (1996) obtiennent une amélioration significative de la performance à la suite d'une période de latence entre deux sessions d'entraînement par la comparaison statistique des données de la première et de la deuxième session. Cette manipulation statistique des données n'est en fait qu'une analyse reliée à un effet de l'apprentissage entre deux sessions d'entraînement, et non pas à l'identification du phénomène de consolidation tel que défini par une amélioration spontanée de la performance à la suite d'une période de latence entre deux sessions de pratique d'une nouvelle habileté motrice. De plus, dans une étude d'imagerie cérébrale, Shadmehr et Holcomb (1997) n'ont pu reproduire les résultats de Brashers-Krug et ses collaborateurs (1996) en l'absence d'une tâche interférente. Le passage entre ces deux études est également marqué par l'amélioration des manipulations statistiques et la modification du concept de consolidation. Shadmehr &

Holcomb (1997) comparent maintenant les données des premiers essais de pratique de la deuxième session d'apprentissage à celles de la fin de la première session d'entraînement. Cependant, pour eux, la consolidation s'exprime désormais par la différence entre la performance au début de la deuxième session et la performance initiale des participants au tout début de l'entraînement à l'adaptation sensori-motrice.

Enfin, l'analyse de l'activité neuronale à l'aide des techniques d'imageries cérébrales permet d'identifier un ensemble de structures possiblement impliquées dans l'exécution d'une tâche, mais ne permet pas de déterminer si ces structures sont essentielles pour la performance à cette tâche. Ainsi, il est primordial de comparer les résultats d'imagerie cérébrale à ceux obtenus à l'aide d'études effectuées auprès de populations cliniques porteuses de lésions cérébrales circonscrites différentes avant de pouvoir statuer de façon précise sur l'implication des structures étudiées dans la consolidation d'une adaptation sensori-motrice.

Objectifs et hypothèses

Le présent projet propose quatre expériences afin d'optimiser les paramètres méthodologiques et de caractériser le substrat neuro-anatomique impliqués dans la consolidation de l'apprentissage d'une habileté motrice. Ces expériences sont réalisées à l'aide d'une tâche d'adaptation sensori-motrice informatisée où le sujet doit atteindre une cible en suivant une trajectoire précise à l'écran à l'aide d'un levier. La relation inversée, entre le mouvement du curseur et celui du levier, est étudiée et chacune des huit cibles est présentée de façon aléatoire. Les trois premières études sont réalisées à partir d'un échantillon de participants issu de la population générale saine.

L'Étude 1 s'intéresse à l'influence du nombre de blocs d'essais de pratique administrés lors de la phase d'acquisition de l'apprentissage sur la consolidation d'une adaptation sensori-motrice. Il est attendu qu'une saturation de la performance, exprimée par l'atteinte d'un plateau lors de la phase d'acquisition, est nécessaire pour observer une amélioration spontanée à la suite d'une période de latence de 24 heures entre deux sessions de pratique d'une adaptation sensori-motrice. À la suite des études préliminaires et de l'Étude 1, il s'avère que les participants peuvent effectuer la tâche sans suivre les consignes à la lettre ce qui devient inquiétant quant au contrôle du protocole. Ainsi, l'Étude 2 vise à approfondir l'influence du

contenu des consignes transmises aux participants lors de l'apprentissage sur la consolidation d'une adaptation sensori-motrice. Contrairement à l'administration de consignes axées sur la vitesse ou la précision du geste, il est attendu que l'administration de consignes basées sur la combinaison de ces deux composantes permettra un raffinement supplémentaire de la représentation interne qui s'exprime à travers l'amélioration spontanée de la performance à la suite d'une période de latence de 24 heures entre deux sessions d'entraînement à une épreuve d'adaptation sensori-motrice. L'Étude 3 s'intéresse au caractère paramétrique de la période de latence et à la comparaison des schèmes avec ou sans tâche interférente sur la consolidation d'une même tâche d'adaptation sensori-motrice. Il est attendu qu'une période de latence de cinq heures insérée entre la phase d'acquisition et le test de rétention est nécessaire pour observer une amélioration spontanée de la performance à une tâche d'adaptation sensori-motrice avec ou sans l'utilisation d'une tâche interférente.

Le but de l'Étude 4 est de caractériser le rôle du cervelet et du striatum dans la consolidation d'une adaptation sensori-motrice. Cette étude sera réalisée à partir de deux échantillons de participants provenant de populations cliniques différentes. Le premier échantillon clinique sera constitué de participants au stade 2 et 3 de l'évolution de la maladie de Parkinson atteints d'une dysfonction striatale. Le deuxième échantillon clinique sera constitué de participants porteurs de lésions cérébrales circonscrites au cervelet. La performance de deux groupes contrôles, issus de la population générale saine correspondant à chacun des participants des deux groupes de populations cliniques sur des variables sociodémographiques, permettra de caractériser le rôle essentiel et suffisant du striatum et du cervelet dans la consolidation d'une adaptation sensori-motrice. Contrairement aux patients atteints de la maladie de Parkinson, il est attendu que les patients avec lésions cérébrales circonscrites au cervelet ne démontreront pas une amélioration spontanée à la suite d'une période de latence de 24 heures entre la première et la deuxième session d'apprentissage d'une habileté.

Les résultats de ces expériences psychophysiques et neuropsychologiques serviront de données de base lors d'études d'imagerie cérébrale pour approfondir les changements dynamiques du flot sanguin à l'aide de la tomographie par émission de positons ou d'imagerie par résonance magnétique. De plus, ces données serviront également de base lors d'études sur le rôle du sommeil ainsi que sur les mécanismes sous-jacents au processus de consolidation de l'apprentissage d'une adaptation sensori-motrice. De façon générale, ces résultats devraient aussi ouvrir la voie à de nouvelles méthodes d'enseignement et d'entraînement à l'intérieur de programmes de réadaptation de patients cérébrolésés basés sur des aspects spécifiques tels que : 1) les caractéristiques et la nature de la tâche, 2) les variations interindividuelles de la performance des participants, 3) les stratégies cognitives utilisées, 4) la fenêtre temporelle idéale pour favoriser la consolidation de l'apprentissage d'habiletés motrices et 5) les caractéristiques spécifiques associées aux différentes atteintes cérébrales. Finalement, ces données de façon générale serviront également aux situations d'entraînement de virtuoses artistiques ou d'athlètes qui ont l'intention d'atteindre un niveau d'expertise élevé dans leur domaine respectif.

CHAPITRE 2

ÉTUDE 1

Influence du nombre de blocs d'essais de pratique administré lors de la phase d'acquisition de l'apprentissage sur la consolidation d'une adaptation sensori-motrice

Dans son modèle, Karni (1997) décrit le processus d'acquisition d'une nouvelle habileté en deux phases distinctes, la phase rapide et la phase lente. Au cours de la phase rapide, une amélioration importante de la performance est obtenue au cours des premiers blocs d'essais de pratique. Par contre, au cours de la phase lente, une amélioration incrémentielle, définie comme une amélioration lente et progressive, est observée. Au cours de cette dernière phase, les progrès sont minimes, mais constants et suivent une courbe asymptotique de performance. Cette amélioration a la particularité de s'effectuer sur une longue période de temps.

Des études récentes démontrent qu'une réorganisation cérébrale s'effectue rapidement à la suite de quelques blocs d'essais d'une habileté motrice chez l'humain (Bütefisch et al., 2000; Classen et al., 1998; Flament et al., 1996; Imamizu et al., 2000; Karni et al., 1998; Muellbacher et al., 2002) et chez les primates (Dorris et al., 2000; Gandolfo et al., 2000; Kleim, Barbay & Nudo, 1998; Li et al., 2001). Par exemple, Karni et ses collaborateurs (1998) ont étudié l'effet de l'administration de quelques blocs de pratique à une tâche de séquences de mouvements de doigts sur la consolidation de ce type d'apprentissage. Dans cette tâche les participants doivent apprendre à effectuer une combinaison de séquences de doigts en opposant chacun des 4 doigts de la main contre le pouce à tour de rôle suivant une séquence précise. Une deuxième séquence est enseignée, mais non pratiquée. Les résultats démontrent qu'une simple familiarisation est suffisante pour observer une amélioration significative de la performance pour la séquence pratiquée seulement. De plus, ce bref entraînement s'avère également suffisant pour observer une amélioration significative de la performance sans pratique additionnelle entre les deux sessions de pratique à la suite d'une période de latence de 24 heures. Ces résultats suggèrent donc que la consolidation s'amorce immédiatement avec les premières exécutions de la tâche et qu'elle se poursuit après la session d'entraînement.

Poursuivant dans le même sens, Karni et son groupe (Korman, Raz, Flash & Karni, 2003) rapportent une pente positive significative au cours des premiers blocs d'essais d'une étude subséquente tout à fait semblable. Cette phase rapide de l'apprentissage est représentée par une amélioration brusque de la performance, laquelle s'opère en quelques minutes seulement. Elle est caractérisée, selon eux, par l'ajustement d'une routine motrice déjà acquise face à la demande particulière d'une nouvelle habileté motrice. Basé sur la présomption que le système moteur de l'humain différencie par expérience les routines familières des exigences particulières d'une nouveauté, cette hypothèse de travail réfère maintenant à l'effet de nouveauté.

Dans cette étude, Karni et son groupe (Korman et al., 2003) ont également étudié l'effet de l'administration de sessions de pratique supplémentaires sur la consolidation de l'apprentissage de la tâche d'opposition des doigts au pouce de la main. Dans ce protocole, les participants de l'un des groupes bénéficiaient de cinq sessions d'entraînement supplémentaires avant le test de consolidation. Les résultats démontrent que les sessions de pratique supplémentaire provoquent des changements quantitatifs, mais surtout qualitatifs. Ainsi, les participants sont non seulement meilleurs, mais l'apprentissage effectué devient spécifique à la séquence et au membre entraîné, donc moins généralisable à une autre séquence d'opposition des doigts au pouce de la main et moins généralisable à l'autre membre supérieur qui ne s'entraîne pas.

Malgré ces résultats concernant l'effet du nombre d'essais de pratique sur la consolidation d'une habileté séquentielle, peu de données existent par rapport à cette variable méthodologique pour la consolidation d'une adaptation sensori motrice. La première étude de ce projet a pour objectif spécifique de caractériser l'influence du nombre de blocs d'essais de pratique administré lors de la phase d'acquisition de l'apprentissage sur la consolidation d'une adaptation sensori-motrice. Les résultats d'une étude pilote effectuée dans notre laboratoire (Plamondon, Ouelette & Doyon, non publié) ont permis d'apprécier les différentes phases de l'apprentissage de la nouvelle version informatisée de la tâche de poursuite de cible développée. Ainsi, une amélioration brusque de la performance est observée autour des quatre premiers blocs de pratique de la première session d'entraînement. Puis un ralentissement de la progression est noté pour les quelques blocs suivants. Enfin, une saturation de la performance

exprimée par l'atteinte d'un niveau asymptotique de performance est notée autour des huit derniers blocs de pratique de la première session d'entraînement. Conformément à ces observations préliminaires et aux études de Karni et ses collaborateurs (1998, 2003) il est attendu que l'atteinte d'un niveau asymptotique de performance (16 blocs), exprimée par l'absence de différence significative entre les quatre derniers blocs d'entraînement de la première session, est préférable afin d'observer une amélioration spontanée de la performance à la suite d'une période de latence de 24 heures entre deux sessions de pratique d'une adaptation sensori-motrice.

Méthode

Participants

Trente-trois participants issus de la population saine sont recrutés parmi la masse étudiante universitaire à l'aide de publicité dans les cours de premier cycle en psychologie et dans les médias à l'Université Laval. Les participants sont pairés dans la mesure du possible à partir des variables démographiques âge et sexe (cf. Tableau 2.1). Les participants sont soumis à un questionnaire démographique (Annexe 1) pour connaître leurs antécédents psychiatriques et neurologiques ou toute autre conditions qui pourrait nuire à l'acquisition d'une adaptation sensori-motrice. Ils ont tous signé un formulaire de consentement (Annexe 2) issu de ce projet de recherche reconnu et accepté par le Comité Éthique de la Recherche de l'Université Laval. Les participants ont reçu un léger dédommagement pour couvrir leurs frais de déplacement et de repas encouru par leur participation à cette étude.

Variables	4 blocs	8 blocs	16 blocs
Âge	21.1 (2.5)	21.4 (1.1)	22.6 (4.9)
Sexe	8 femmes	8 femmes	7 femmes
	3 hommes	3 hommes	4 hommes
Niveau d'expérience	2.82 (1.7)	2.72 (1.3)	2.6 (1.3)

Tableau 2.1. Tableau résumé des moyennes et écarts-types obtenus à partir des données démographiques pour l'ensemble des 3 groupes de participants.

Des analyses de variance (ANOVA) ont été effectuées à partir des données démographiques obtenues auprès des trois groupes de participants pour les variables « âge » et « niveau d'expérience », d'habileté ou de connaissance de ce genre de tâche avec un levier du type jeux vidéo. Les deux ANOVA ne s'avèrent pas significatives suggérant ainsi que les participants des trois groupes sont du même âge et du même niveau de familiarisation avec ce type de tâche. De plus, deux analyses non paramétriques (Chi-carré) ont été effectuées à partir des variables « sexe » et « scolarité ». La variable « scolarité » est ici prise comme une variable no paramétrique puisque le nombre d'années de scolarité n'a pas été comptabilisé et qu'un étudiant au baccalauréat peut avoir soit 14, 15 ou 16 ans de scolarité, ainsi les catégories sont « 1 » pour un étudiant au bacc et « 0 » pour un étudiant qui est à la maîtrise ou au niveau collégiale. Les résultats des deux analyses non paramétriques ne s'avèrent pas significatives suggérant ainsi que les groupes sont équivalents en terme de répartition garçon/fille et que ces participants ont sensiblement le même niveau de scolarité.

Matériel

Une tâche d'adaptation sensori-motrice informatisée a été créée sur la plate-forme Powerbuilder 6.0 de Microsoft afin d'obtenir une variante de la tâche de poursuite de cibles (Eight-Target Tracking Task) utilisée, entre autres, par Flament et ses collaborateurs (1996). Dans cette tâche, le participant doit atteindre une cible, présentée sur le moniteur de l'ordinateur, à l'aide d'un levier en suivant une trajectoire non linéaire qui prend la forme d'une ellipse. Des blocs de pratique sont effectués en condition directe, c'est-à-dire, selon une relation directe entre le mouvement du levier et celui du curseur. Ainsi, si le participant dirige le levier vers l'avant, le curseur va se diriger vers la partie supérieure de l'écran. De la même façon, si le participant dirige le levier vers la gauche, le curseur va se diriger vers la gauche de l'écran. Par contre, les blocs expérimentaux sont effectués en condition indirecte ou inverse, c'est-à-dire, selon une relation indirecte ou inverse entre le mouvement du levier et celui du curseur. Ainsi, si le participant dirige le levier vers l'avant, le curseur se déplace vers la partie inférieure de l'écran. Par contre, si le participant dirige le levier vers la gauche, le curseur se dirige vers la droite de l'écran.

Les stimuli sont composés de plusieurs éléments reliés entre eux qui apparaissent simultanément (Annexe 3). Le point de départ est représenté par un cercle blanc de 0.75 cm de diamètre qui apparaît systématiquement au centre de l'écran. Le curseur en forme de croix est superposé au point de départ. La trajectoire à suivre est grise et sa largeur est de 0,5 cm. Elle est non linéaire et prend la forme d'une ellipse dont le rayon est d'environ 2.5 cm. Les huit cibles possibles, disposées sur un rayon de 10 cm, sont représentées par un cercle rouge de 1.5 cm de diamètre. Les cibles sont séparées de par un angle de 45 degrés, formant ainsi une représentation circulaire uniforme des cibles potentielles (Annexe 4). Les cibles sont présentées une à la fois, de façon aléatoire.

Le programme informatique fonctionne sous l'environnement Windows 95 de Microsoft sur un ordinateur Pentium, muni d'une carte de son standard 16 bits, de haut-parleurs, d'un port jeu et d'un moniteur de 13 pouces. Le levier de marque PC Mission est construit par la firme Performance Multimedia Products. La hauteur de la chaise est ajustée en fonction de la grandeur des participants de façon à ce que leurs yeux soient au même niveau que le moniteur. Le participant est placé à environ 60 cm du moniteur. Les mouvements du bras du participant ne sont pas limités ou contraints d'aucune façon. Cependant, la position de départ favorise un angle droit confortable au niveau du coude. L'expérimentation a lieu dans un local isolé et bien éclairé.

Procédure

Les participants sont convoqués pour deux sessions d'entraînement d'environ une heure chacune. Les sessions d'entraînement sont séparées par une période de latence d'une durée variant entre 22 et 26 heures. À leur arrivée lors de la première session, les participants doivent remplir un formulaire de consentement (Annexe 2) et un questionnaire d'identification (Annexe 1). Ensuite des consignes standard (Annexe 5) leur sont communiquées afin de maximiser leur compréhension de la tâche et d'harmoniser l'information transmise d'un participant à l'autre. La tâche débute avec un écran noir qui indique au participant qu'il peut débuter au moment de son choix en appuyant sur la barre d'espace du clavier de l'ordinateur. Ensuite, un deuxième écran noir apparaît dans le but de préparer le participant à la présentation du prochain stimulus. Enfin, le stimulus apparaît (Annexe 3). Le participant dispose de cinq secondes pour atteindre la cible. Que la cible soit atteinte ou non, l'essai prend fin après que

les cinq secondes sont écoulées. Entre chaque essai, un écran noir apparaît pour séparer la présentation des cibles. Le participant dispose au total de trois secondes entre chacun des essais. À la fin d'un bloc d'essai, un écran noir apparaît, ce qui indique au participant qu'il peut prendre une pause. Il peut alors débuter au moment de son choix en appuyant sur la barre d'espace du clavier de l'ordinateur. Ainsi, si le besoin de prendre une pause, de quelques secondes, se fait pressant, le participant peut aisément attendre avant de poursuivre l'expérimentation. Des séries de 5 blocs d'essais en condition directe sont administrées aux participants jusqu'à ce qu'ils obtiennent un niveau de performance d'environ 90 %, soit au moins trois blocs de 7 ou 8 essais réussis sur une possibilité de 8 essais par bloc. Trois autres blocs d'essais sont alors alloués aux participants au début de la session expérimentale afin d'obtenir un niveau de base global pour les participants en condition directe. Les blocs d'essais expérimentaux en condition indirecte qui suivent comportent seize essais chacun. Trois conditions expérimentales de 4, 8 ou 16 blocs sont à l'étude. Les huit cibles sont présentées deux fois chacune de façon aléatoire. Tous les participants s'entraînent de nouveau à la tâche de poursuite de cible à la suite d'une période de latence de 22 à 26 heures suivant la fin de la première session. Au cours de cette deuxième session expérimentale, les consignes sont de nouveau transmises aux participants qui effectuent ensuite 4, 8 ou 16 blocs de 16 essais chacun, toujours en condition indirecte. La performance des participants au premier bloc d'essais constitue une re-familiarisation avec la tâche et ne figure donc pas dans les graphiques et les analyses.

Résultats

L'analyse des résultats est effectuée à partir de quatre indices de mesure : 1) le temps (ms) mesuré à la suite du premier mouvement du participant jusqu'à l'atteinte de la cible, 2) la distance (cm) mesurée par la distance parcourue entre le point de départ et la cible, et 3) le taux de réussites (%) mesuré par le rapport entre le nombre de cibles atteintes sur le nombre de cibles possible par blocs. Une moyenne de la performance des participants de chacune des conditions expérimentales est calculée pour chaque bloc, et ce, pour chacun des trois premiers indices de mesure décrits ci-dessus. Le quatrième indice est une mesure globale de performance [taux de réussites/(distance X temps)] issue d'une formule mathématique composée des trois autres indices de mesure. Les analyses sont principalement basées sur ce dernier indice puisqu'il s'est déjà avéré être un bon estimé de performance dans une tâche de poursuite de cibles semblables (Flament et al., 1996). Toutefois, étant donné le peu de connaissances relatives à cette tâche et ces différents indices de mesure, les 4 indices de mesure sont maintenus pour les trois premières études. Les données descriptives sont présentées sous forme graphique dans les Figures 2.1, 2.2, 2.3 et 2.4.

La première analyse statistique vise à démontrer l'équivalence des groupes formés aléatoirement au niveau de base lors de la condition directe. Les résultats de l'analyse de variance à mesures répétées (MANOVA) ne révèlent pas d'effet de Groupe. Cependant, il y a un effet significatif de Bloc, $F(2, 10) = 5.73$, $p<.05$, ce qui démontre que les participants ont amélioré leur performance au cours des trois blocs de pratique supplémentaires en condition directe. Les analyses de variance (ANOVA) univariées[3] indiquent une différence significative des variables temps, $F(2, 10) = 16.89$, $p<.05$, taux de réussites, $F(2, 10) = 13.82$, $p<.05$, et indice de performance, $F(2, 10) = 19.75$, $p<.05$. Enfin, l'interaction Bloc X Groupe n'est pas significative suggérant ainsi que le même niveau d'amélioration est obtenu pour tous les participants peu importe la condition expérimentale.

[3] Les probabilités des ANOVA univariées sont tous corrigées avec le test de Greenhouse-Geisser

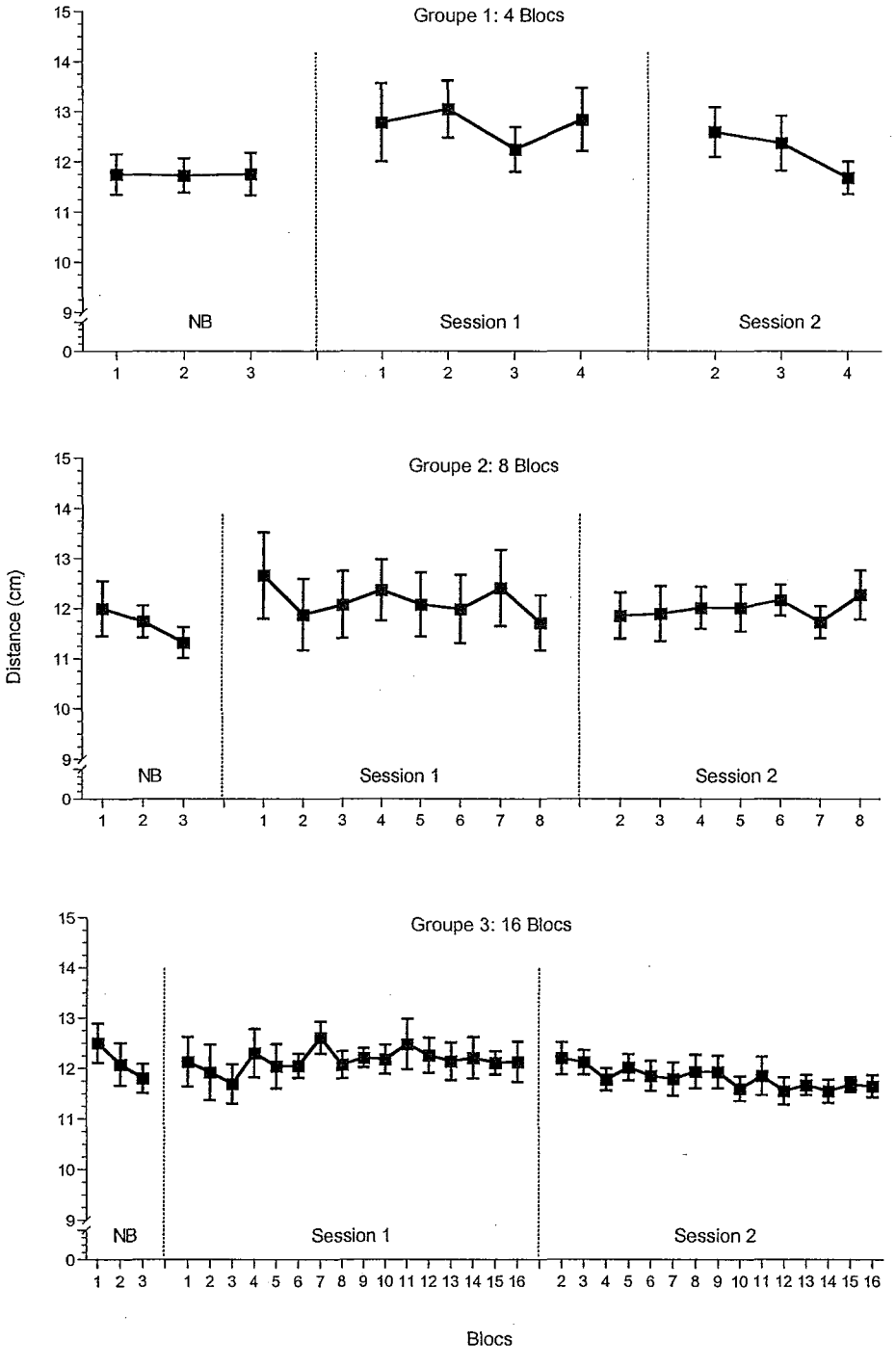


Figure 2.1. Distance moyenne (cm) parcourue en fonction du nombre de blocs de pratique administré lors de la phase d'acquisition de l'apprentissage pour le niveau de base (NB) en condition directe, ainsi que pour les Sessions d'apprentissage 1 et 2 en condition indirecte.

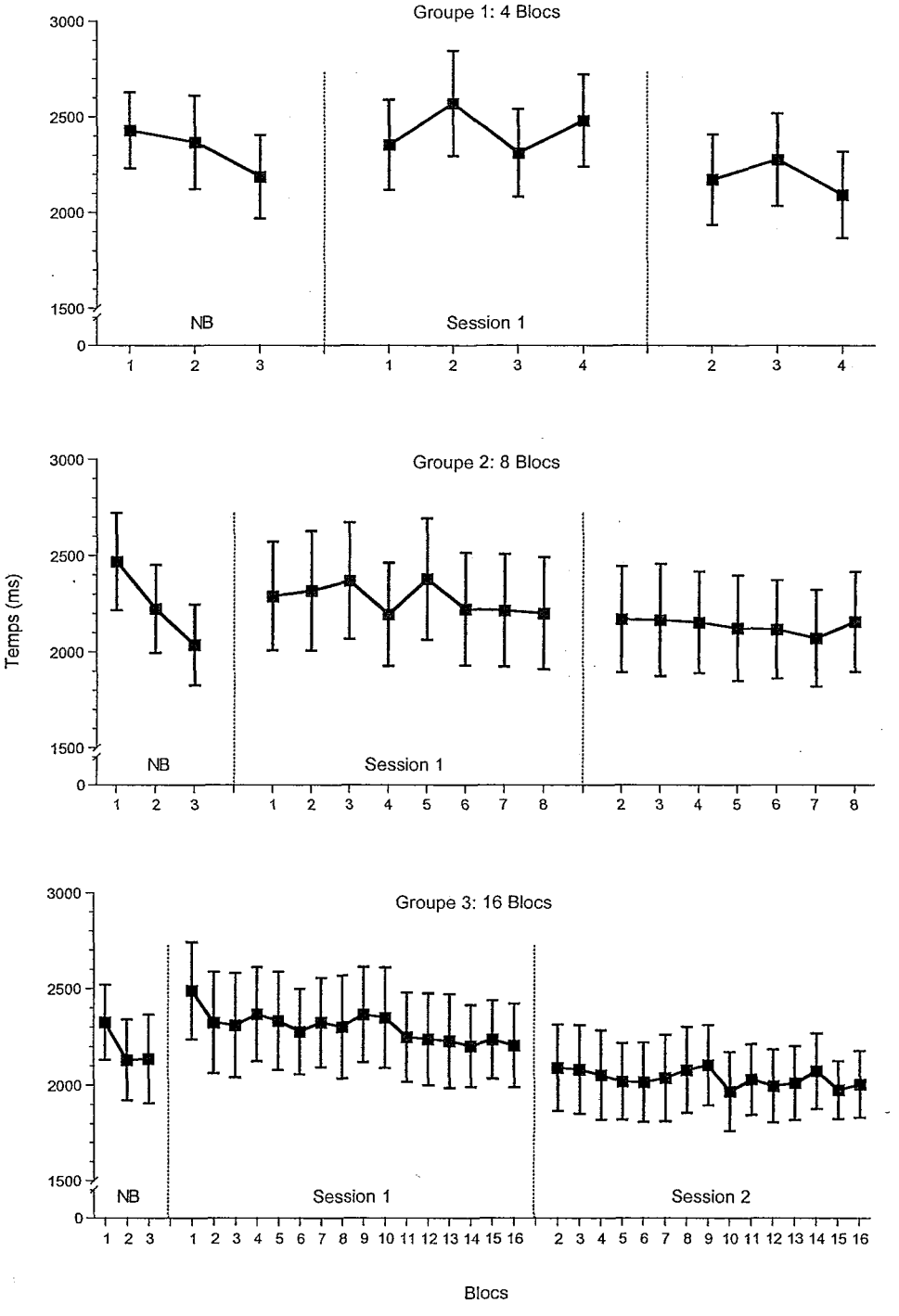


Figure 2.2. Temps moyen (ms) utilisé pour effectuer la tâche en fonction du nombre de blocs de pratique administré lors de la phase d'acquisition de l'apprentissage pour le niveau de base (NB) en condition directe, ainsi que pour les Sessions d'apprentissage 1 et 2 en condition indirecte.

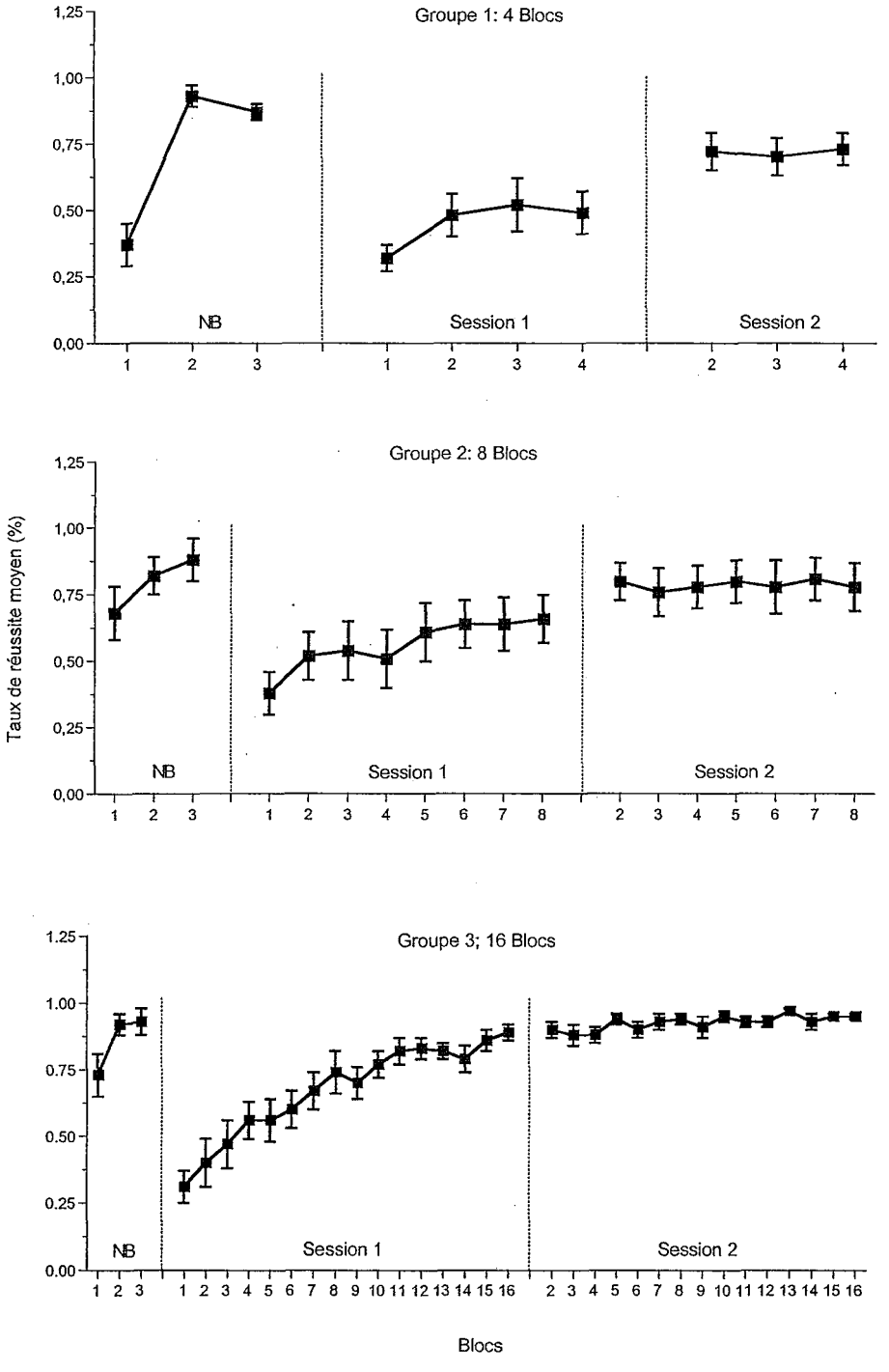


Figure 2.3. Taux de réussites moyen (%) en fonction du nombre de blocs de pratique administré lors de la phase d'acquisition de l'apprentissage pour le niveau de base (NB) en condition directe, ainsi que pour les Sessions d'apprentissage 1 et 2 en condition indirecte.

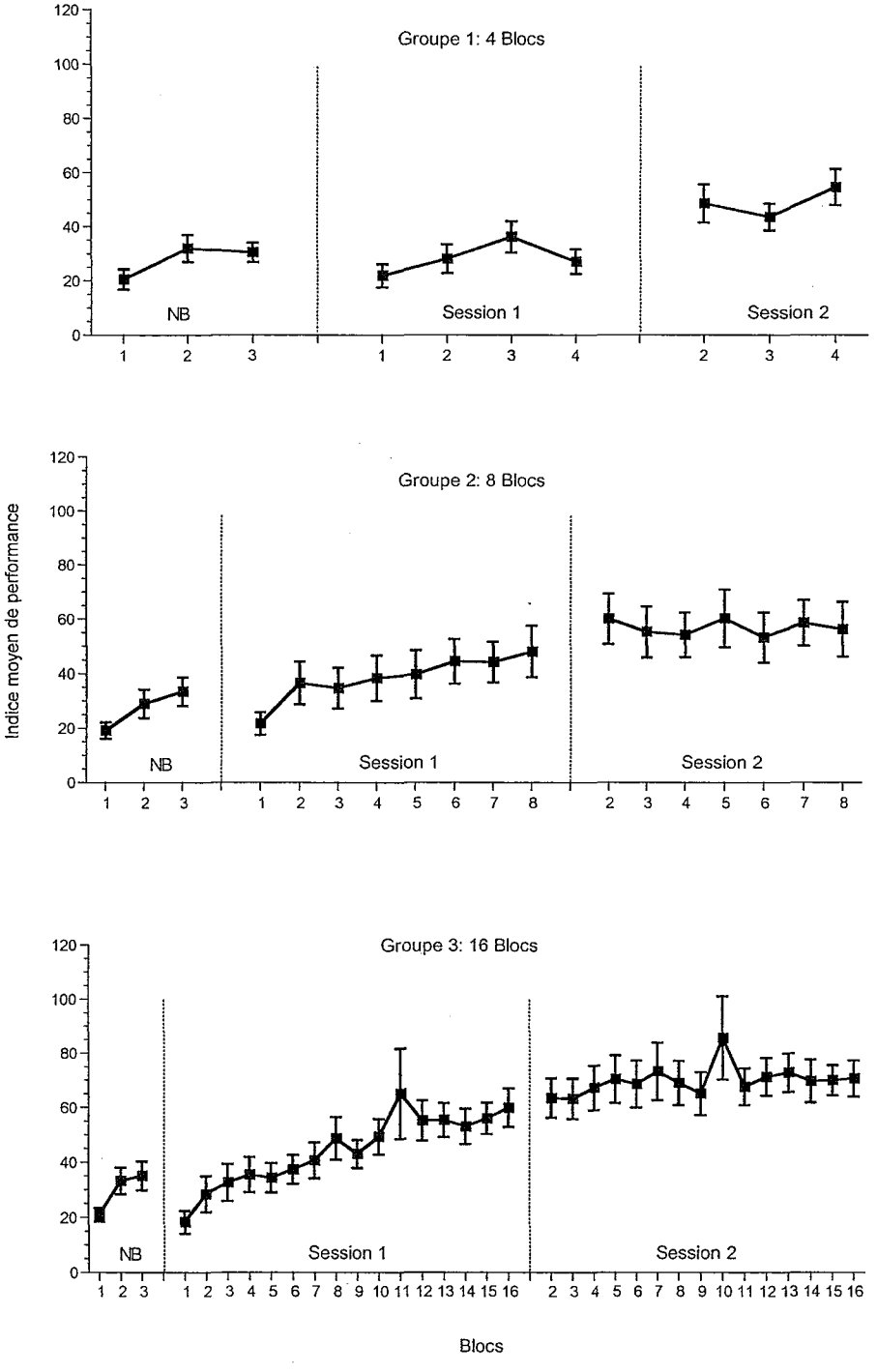


Figure 2.4. Indice moyen de performance [taux de réussites / (distance X temps)] en fonction du nombre de blocs de pratique administré lors de la phase d'acquisition de l'apprentissage pour le niveau de base (NB) en condition directe, ainsi que pour les Sessions d'apprentissage 1 et 2 en condition indirecte.

Dans le même ordre d'idée, la deuxième analyse vise à démontrer l'équivalence des groupes formés aléatoirement au niveau de base lors du premier bloc de la condition indirecte. Les résultats de l'ANOVA n'indiquent aucune différence significative au niveau de la performance des participants dans cette condition. Les résultats de ces deux premières analyses suggèrent donc que les trois groupes sont statistiquement équivalents au début de l'apprentissage en condition directe et indirecte, et qu'ils démontrent le même niveau d'amélioration peu importe la condition expérimentale.

La troisième analyse a pour but de démontrer que les participants ont appris la tâche d'adaptation sensori-motrice au cours des essais qui leur ont été administrés lors de la session d'acquisition. Une analyse de variance à mesures répétées (MANOVA) est effectuée à partir de la comparaison statistique des moyennes des deux premiers et des deux derniers blocs de pratique en condition indirecte de la première session, et ce, pour les 4 indices de mesures séparément. Les résultats de la MANOVA ne révèlent aucun effet de Groupe significatif. Cependant, l'effet de Bloc, $F\ (2, 10) = 24.57$, $p<.05$, est significatif, suggérant que les participants ont réussi à s'adapter à la tâche d'adaptation sensori-motrice au cours de la première session. Les analyses de variance (ANOVA) univariées indiquent une différence significative pour l'effet Bloc au niveau des variables taux de réussites, $F\ (2, 10) = 90.58$, $p<.05$ et indice de performance, $F\ (2, 10) = 70.19$, $p<.05$. L'interaction Bloc X Groupe est également significative, $F\ (2, 10) = 3.95$, $p<.05$, suggérant ainsi que certains participants ont démontré une amélioration plus importante au cours de la première session. Les analyses de variance (ANOVA) univariées effectuées à partir de l'interaction Bloc X Groupe indiquent également une différence significative pour les variables taux de réussites, $F\ (2, 10) = 18.63$, $p<.05$ et indice de performance, $F\ (2, 10) = 12.37$, $p<.05$. Afin de déterminer lesquels des groupes se démarquent de façon significative, une ANOVA supplémentaire a été effectuée à partir du calcul du pourcentage d'amélioration des trois groupes. Les résultats de cette ANOVA confirment l'existence d'une différence significative entre les groupes pour les variables taux de réussites, $F\ (2, 10) = 9.73$, $p<.05$ et indice de performance, $F\ (2, 10) = 5.82$, $p<.05$. De plus, tel que prévu, les analyses post-hoc de Tukey HSD démontrent que ce sont les participants du groupe d'individus qui bénéficient de 16 blocs d'essais de pratique lors de la première session d'entraînement qui s'améliorent de façon significativement différente des autres participants. De façon générale, les résultats de cette troisième analyse démontrent que

les participants se sont adaptés aux changements de coordonnées induits à la relation entre le levier et le curseur dans la condition indirecte. Ils suggèrent également que les participants qui bénéficient 16 blocs de pratique lors de la première session d'apprentissage s'améliorent davantage que les autres participants.

La quatrième analyse s'intéresse au niveau de saturation des participants, exprimé par l'atteinte d'un niveau de performance asymptotique, à la fin de la première session d'apprentissage. Cette précédure a été mise sur pied afin de s'assurer que les participants ont atteint la phase lente de l'apprentissage tel que définit par Karni et Sagi (1993). Une analyse de variance à mesures répétées (MANOVA) est effectuée à partir des quatre derniers blocs en condition indirecte de la première session, et ce, pour les quatre indices de mesures. Ici, méthodologiquement, il a été choisi de travailler avec 4 blocs afin d'obtenir une certaine stabilité dans les résultats. Les résultats de cette MANOVA révèlent un effet significatif de Groupe, $F(2, 10) = 2.22$, $p<.05$. Les analyses de variance (ANOVA) univariées indiquent une différence significative pour l'effet Groupe au niveau du taux de réussites, $F(2, 10) = 7.53$, $p<.05$, et de l'indice de performance, $F(2, 10) = 4.95$, $p<.05$. Pour le taux de réussites, les tests post-hoc de Tukey HSD indiquent que les participants qui bénéficient de 16 blocs d'essais de pratique ont un taux de réussites significativement supérieur aux participants des deux autres groupes qui ne bénéficient que de 4 ou 8 blocs d'essais de pratique lors de la première session d'entraînement. Pour l'indice de performance, les tests post-hoc de Tukey HSD indiquent que les participants qui bénéficient de 16 blocs d'essais de pratique obtiennent un indice de performance significativement supérieur aux participants qui ne bénéficient que de 4 blocs d'essais de pratique lors de la première session d'entraînement. Toutefois, l'effet de Bloc et l'interaction Bloc X Groupe ne sont pas significatifs. De façon générale, ces résultats suggèrent que les trois groupes ont atteint un niveau de saturation correspondant à une performance asymptotique au cours de leurs quatre derniers blocs respectifs d'entraînement à la tâche d'adaptation sensori-motrice. Cependant, il semble que les participants qui bénéficient de 16 blocs de pratique réussissent significativement mieux au niveau du taux de réussites et l'indice de performance que les participants qui ne bénéficient que de 4 blocs d'essais de pratique lors de la première session d'entraînement. Par contre, ces derniers démontrent une plus grande variabilité dans leurs mouvements.

La cinquième analyse vise à déterminer si une amélioration de la performance est observée lors de la deuxième session d'apprentissage. Une analyse de variance à mesures répétées (MANOVA) est effectuée à partir de la comparaison statistique de la moyenne des deux premiers blocs d'essais à celle des deux derniers blocs de la deuxième session d'entraînement en condition indirecte, et ce, pour les 4 indices de mesures. Les résultats de la MANOVA ne révèlent aucun effet de Groupe significatif. Cependant, l'effet de Bloc, $F(2, 10) = 3.09$, $p<.05$, est significatif, suggérant que la performance des participants poursuit sur la même progression incrémentielle au cours de la deuxième session d'entraînement. Les analyses de variance (ANOVA) univariées indiquent une différence significative pour l'effet Bloc uniquement au niveau de la distance parcourue, $F(2, 10) = 4.083$, $p<.05$ suggérant ainsi une amélioration par rapport à la précision du mouvement effectué à chaque essai. Enfin, l'interaction Bloc X Groupe n'est pas significative montrant donc que tous les groupes s'améliorent significativement à cette tâche.

La sixième analyse a pour but d'évaluer l'amélioration spontanée de la performance entre la première et la deuxième session de pratique à la tâche d'adaptation sensori-motrice (voir Figure 2.5). Une analyse de variance à mesures répétées (MANOVA) est effectuée à partir de la comparaison statistique de la moyenne des quatre derniers blocs en condition indirecte de la première session et celle du deuxième bloc en condition indirecte de la deuxième session pour les quatre indices de mesure. Encore une fois, méthodologiquement il a été choisi de poursuivre avec 4 blocs afin de miser sur la stabilité de la performance des participants à la fin de la première session d'entraînement. De plus, ce choix méthodologique tend à pallier pour la faiblesse méthodologique de Brashers-Krug et ses collaborateurs (Brashers-Krug et al., 1996) où l'on mesure la consolidation en comparant statistiquement les courbes entières de la première et de la deuxième session d'entraînement. D'autres parts, le premier bloc est enlevé tel que suggéré par Brashers-Krug et ses collaborateurs (Brashers-Krug et al., 1996) puisque qu'il consiste en une refamiliarisation avec la tâche. Les résultats de la MANOVA ne révèlent aucun effet de Groupe. Toutefois, l'effet de Bloc est significatif, $F(2, 10) = 13.54$, $p<.05$, confirmant ainsi la présence d'une amélioration spontanée de la performance à la suite d'une période de latence de 24 heures entre deux sessions de pratique d'une tâche d'adaptation sensori-motrice. Cependant, l'interaction Bloc X Groupe n'est pas significative suggérant donc que l'amélioration est équivalente pour tous les participants peu

importe le nombre de blocs de pratique administrés lors de la phase d'acquisition de l'adaptation sensori-motrice. Les analyses de variance (ANOVA) univariées montrent un effet Bloc au niveau du temps, F (2, 10) = 10.22, p<.05, du taux de réussites, F (2, 10) = 36.67, p<.05, et de l'indice de performance, F (2, 10) = 39.19, p<.05. Afin de déterminer si l'amélioration spontanée est significative pour les trois groupes, des tests t ont été effectués à partir de ces mêmes données pour chacun des trois groupes et ce, uniquement pour l'indice de performance puisque cet indice de mesure s'est déjà avéré être le meilleur estimé de performance des participants dans une tâche de poursuite de cibles semblable (Flament et al., 1996). Les résultats des tests *t* démontrent une amélioration spontanée pour tous les participants, qu'ils aient bénéficié de 4 blocs, t (4) = -4.664, p<.05, 8 blocs, t (4) = -3.47, p<.05 ou 16 blocs, t (4) = -2.50, p<.05, de pratique. Ces résultats suggèrent ainsi que le phénomène de consolidation est observé à la suite d'une période de latence de 24 heures entre deux sessions d'entraînement pour tous les participants lors de la phase d'acquisition d'une tâche d'adaptation sensori-motrice.

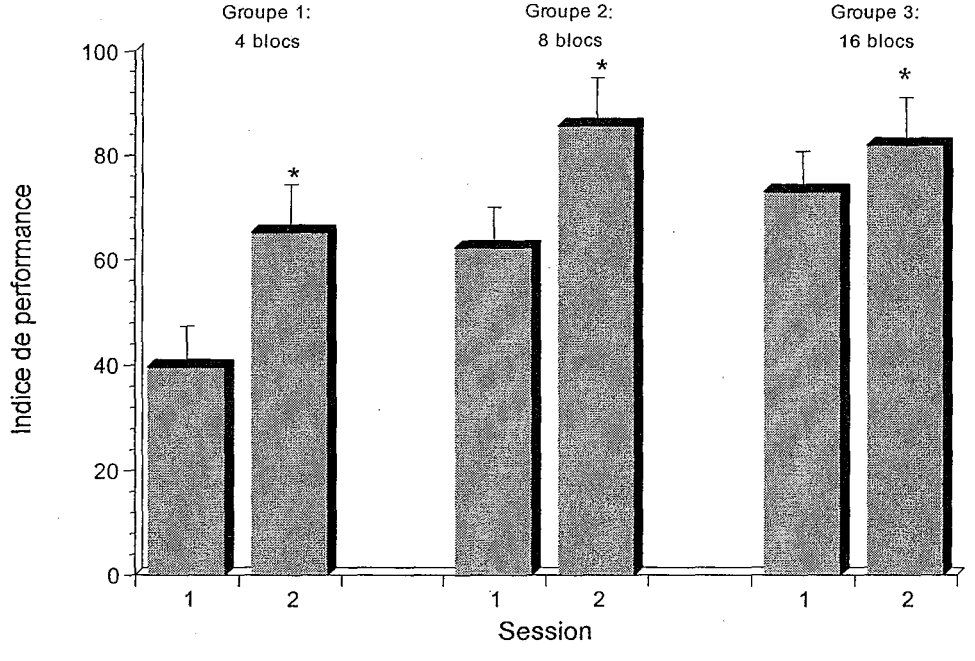


Figure 2.5. Amélioration spontanée de la performance à la suite d'une période de latence de 24 heures entre deux sessions d'entraînement à une tâche d'adaptation sensori-motrice telle que représentée par la fonction de l'indice de performance et du nombre de blocs de pratique administrés lors de la phase d'acquisition de l'apprentissage.

Discussion

Le but de cette étude est de caractériser l'influence du nombre d'essais de pratique administrés lors de la phase d'acquisition de l'apprentissage sur la consolidation d'une adaptation sensori-motrice. Basé sur les résultats de Karni et Sagi (1993), il est attendu qu'un niveau de saturation de la performance exprimée par l'atteinte d'un niveau asymptotique de performance est nécessaire afin d'observer une amélioration spontanée de la performance à la suite d'une période de latence de 24 heures entre deux sessions de pratique d'une adaptation sensori-motrice. L'analyse effectuée à partir de la performance des participants au niveau de base en condition directe et indirecte démontre que les trois groupes sont statistiquement équivalents au début de l'apprentissage en condition directe et indirecte, et qu'ils démontrent le même niveau d'amélioration peu importe la condition expérimentale. L'analyse des données de la première session d'entraînement en condition indirecte révèle que les participants améliorent leur performance à la tâche d'adaptation sensori-motrice et ce, peu importe le nombre d'essais de pratique administrés lors de la phase d'acquisition de l'apprentissage. Cependant, traduits en pourcentage d'amélioration, les résultats suggèrent que les participants qui bénéficient de 16 blocs de pratique lors de la première session d'apprentissage s'améliorent davantage que les autres participants au cours de la première session d'entraînement. L'analyse du niveau de saturation de la performance des participants démontre que tous les participants ont atteint un niveau asymptotique de performance au cours de leurs quatre derniers blocs de pratique respectifs. De plus, cette analyse démontre que le niveau de performance des participants qui bénéficient de 16 blocs d'essais de pratique lors de la phase d'acquisition est significativement supérieur au cours des quatre derniers blocs de pratique à celui des participants qui bénéficient de 4 ou 8 blocs d'essais de pratique. L'analyse des données de la deuxième session d'entraînement démontre que les participants ne s'améliorent plus lors de la deuxième session de pratique. Cependant, d'autres indices de mesure (distance parcourue) suggèrent que les participants continuent de gagner en précision lors de la deuxième session d'apprentissage. Enfin, l'analyse des données démontre une amélioration spontanée de la performance à la suite d'une période de latence de 24 heures entre la première et la deuxième session de pratique d'une tâche d'adaptation sensori-motrice pour tous les participants, peu importe le nombre de blocs de pratique administré lors de la phase d'acquisition.

Ensemble, ces résultats confirment en partie l'hypothèse de départ qui stipule qu'une saturation de la performance exprimée par l'atteinte d'un niveau de performance asymptotique est nécessaire pour observer une amélioration spontanée de la performance à la suite d'une période de latence de 24 heures entre deux sessions de pratique d'une adaptation sensori-motrice. En fait, les résultats suggèrent que rapidement lors des premiers blocs d'entraînement à cette tâche, les participants atteignent un niveau de performance démontrant une certaine saturation. En outre, les résultats de la présente étude démontrent que la représentation neuronale construite dès les premiers blocs de pratique d'une nouvelle adaptation sensori-motrice entre systématiquement dans une phase de consolidation en l'absence d'interférence suffisante d'une tâche similaire, mais conflictuelle. Ces résultats, tout comme ceux de Karni et ses collaborateurs (1998, 2003), suggèrent en fait que le simple fait d'amorcer une nouvelle routine motrice au cours de la phase rapide de l'apprentissage est suffisant pour que la représentation interne construite puisse effectuer un passage de la mémoire à court terme à la mémoire à long terme au cours d'une période de latence de 24 heures. De plus, ces résultats sont cohérents avec les résultats de nombreuses études lesquelles démontrent qu'une réorganisation cérébrale s'effectue rapidement à la suite de quelques blocs d'essais d'une habileté motrice chez l'humain (Bütefisch et al., 2000; Classen et al., 1998; Flament et al., 1996; Imamizu et al., 2000; Karni et al., 1998; Muellbacher et al., 2002) et chez les primates (Dorris et al., 2000; Gandolfo et al., 2000; Kleim, Barbay & Nudo, 1998; Li et al., 2001).

Les résultats de la présente étude suggèrent donc que le nombre de blocs de pratique administré lors de la phase initiale d'apprentissage n'a pas d'effet observable, du moins tel que mesuré ici, sur la consolidation d'une adaptation sensori-motrice. Par contre, conformément aux travaux du groupe de Karni (Korman et al., 2003), les données de la première session suggèrent que l'augmentation du nombre de bloc de pratique lors de la première session améliore quantitativement, mais surtout qualitativement la performance de participants. Ainsi, dans la présente étude, les participants qui bénéficient de 16 blocs de pratique obtiennent un meilleur taux de réussite et un indice de performance supérieur à la fin de la première session. Bien que cela n'influence pas la consolidation elle-même à la suite d'une période de latence de 24 heures, il est permis de croire que la situation serait différente en réduisant la période de latence de 24 à 6 heures tel que suggéré dans les études paramétriques ou encore avec un schème interférent. Cette question fondamentale demeure non résolue pour l'instant.

Curieusement, les résultats des participants qui ne bénéficient que de quatre blocs de pratique lors de la première session démontrent à la fois un apprentissage (premiers blocs vs deux derniers blocs) et à la fois une saturation de la performance exprimée par l'absence de différence significative au sein des quatre blocs de pratique. Ce malheureux phénomène est tributaire des choix statistiques et méthodologiques effectués pour analyser l'apprentissage et le niveau de saturation de l'apprentissage et ne serait pas à l'agenda si le groupe avait bénéficié de 5 ou 6 blocs de pratique. Toutefois, il ne constitue pas une entrave aux différents modèles de l'apprentissage d'habiletés qui préconise une amélioration rapide et brusque de la performance lors de la familiarisation de la tâche. La phase rapide de l'apprentissage est possiblement masqué statistiquement par les seize essais contenus dans le premier bloc de pratique ce qui ne permet pas de la distinguer dans les Figures 2.1 à 2.4. Il est possible aussi que ce phénomène statistique soit tributaire d'un problème d'échantillonnage et représente un artefact puisque visuellement le quatrième et dernier bloc d'entraînement semble démontrer un fléchissement dans la progression par rapport aux trois autres blocs. Néanmoins, conformément au protocole de départ, les études subséquentes contiendront toujours seize blocs de seize essais de pratique. Ce choix méthodologique est justifié par de nombreuses études qui suggèrent qu'un niveau de performance stable et rigoureux doit être atteint pour favoriser le phénomène de consolidation (Korman et al., 2003). De plus, des données récentes (Korman, et al., 2003) démontrent que l'administration de blocs de pratique supplémentaire procure à l'apprentissage un caractère qualitatif spécifique plus difficilement généralisable. Puisque la réalisation du programme de recherche est tributaire d'un phénomène peu robuste, il est donc important de s'assurer de développer chez nos participants une routine motrice spécifique à l'adaptation sensori-motrice administrée.

CHAPITRE 3

ÉTUDE 2

Influence du contenu des consignes transmises aux participants sur la consolidation d'une adaptation sensori-motrice

Lorsque des instructions sont communiquées à des participants qui s'apprêtent à s'initier à une nouvelle habileté motrice, l'emphase est toujours mise sur l'importance d'être rapide et efficace dans l'exécution des mouvements. Cependant, pratiquement, on a rapidement compris, avec les pré-tests à cette tâche, qu'il était ardu de demander aux participants d'établir un bon compromis entre la précision et la rapidité au cours de l'apprentissage de nouveaux mouvements ou séquences de mouvements. Ce compromis temps/espace de la performance est bien connu sous le nom de « Speed-Accuracy Trade-Off » (SATO). La loi de Fitts' est d'ailleurs un dérivé direct du SATO. Cette loi stipule que la précision des mouvements diminue avec l'augmentation de la vitesse d'exécution (Etnyre, 1998). Le SATO a été étudié dans des épreuves d'apprentissage moteur simple telles que la tâche de temps de réaction multiple (Cauraugh, 1990), dans certaines épreuves motrices complexes telles que le lancer d'une balle (Engelhorn, 1997) ou de fléchettes sur une cible (Etnyre, 1998) ainsi que dans des épreuves d'adaptation sensori-motrice (Agostino, Sanes & Hallett, 1996).

Certaines de ces études s'intéressent directement au compromis vitesse/temps et observent des résultats contradictoires selon le type de tâche utilisée (Agostino et al., 1996; Etnyre, 1998). Par exemple, dans une épreuve de lancer de fléchettes sur une cible, Etnyre (1998) indique que la précision des lancers des participants experts, intermédiaires et débutants diminue avec l'augmentation de la force appliquée au lancer suggérant ainsi que le SATO s'applique à la tâche de lancer des fléchettes sur une cible. Par contre, les résultats de Agostino et ses collaborateurs (1996) démontrent que les épreuves d'adaptation sensori-motrice ne sont pas soumises au SATO car les participants démontrent une amélioration de la performance en terme de vitesse (temps) et de précision (nombre d'erreurs) à la tâche de dessin miroir.

D'autres études se sont attardées à l'influence des consignes (Belkin & Eliot, 1997; Cauraugh, 1990; Engelhorn, 1997) sur la performance des participants en terme de compromis vitesse/précision. Par exemple, Cauraugh (1990) démontre que les consignes a) temps de réaction et b) précision et temps de réaction favorisent une meilleure performance que des consignes sans préférence à une tâche de temps de réaction multiple. Engelhorn (1997) soutient que les participants entraînés à lancer rapidement une balle de softball sont plus précis dans leur exécution, utilisent une meilleure technique et que leurs lancers sont plus rapides que ceux du groupe entraîné à lancer avec précision. Belkin et Eliot (1997) démontrent que le SATO ne s'applique pas lors de l'apprentissage de lancers au hockey de salle lorsque les consignes sont axées sur combinaison de la Vitesse et de la Précision. Les résultats de Belkin et Eliot (1997) suggèrent que les participants qui bénéficient de consignes axées sur la vitesse obtiennent une performance significativement supérieure que les participants à qui les consignes axées sur la Précision sont communiquées. Ces données (Belkin & Eliot, 1997; Cauraugh, 1990; Engelhorn, 1997) démontrent que la précision n'est pas nécessairement sacrifiée lors d'une exécution rapide et que le SATO ne s'applique pas dans certaines tâches motrices complexes lors de la manipulation du contenu des consignes transmises aux participants.

Dans le même ordre d'idées, une étude réalisée par Decety et al. (1997) à l'aide de la TEP, démontre que les régions cérébrales impliquées dans l'observation de mouvements des mains diffèrent selon les consignes administrées aux participants. Ainsi, l'observation des mouvements dans le but de les reconnaître implique une forte activation au niveau du gyrus parahippocampique droit. Cependant, l'observation des mouvements dans le but d'imiter les mouvements implique une forte activation au niveau du cortex préfrontal dorsolatéral bilatéral et de l'aire motrice supplémentaire antérieure gauche. Ces résultats indiquent que les circuits neuronaux impliqués dans une tâche diffèrent selon les consignes administrées aux participants lors de l'apprentissage.

Enfin, d'autres études (Goode, Meeuwsen & Magill, 1998; Wulf, Hoess & Prinz, 1998; Wulf, Lauterbach & Toole, 1999) se sont intéressées à la communication de différentes stratégies d'apprentissage à travers le contenu des consignes sur la performance des participants. Par exemple, Goode et ses collaborateurs (1998) ont recueilli les stratégies d'experts à une tâche d'habileté motrice complexe de lancer. Ces stratégies ont ensuite été utilisées comme consigne pour des participants débutants au cours de l'apprentissage de ce type de tâche. Les résultats démontrent que les participants qui bénéficient des stratégies d'experts réussissent mieux que les participants qui ne bénéficient pas de ces consignes. De plus, les résultats démontrent qu'il n'y a pas de différences entre la performance des participants qui bénéficie des stratégies d'experts et la performance même des experts. Dans le même ordre d'idée, Wulf et ses collaborateurs (1998, 1999) démontrent que la communication des stratégies axées sur des facteurs externes tels que l'environnement entraîne une amélioration plus rapide de la performance que la communication des stratégies axées sur des facteurs internes tels que les mouvements du corps.

Les études relevées ci-dessus suggèrent 1) que le SATO ne s'applique pas à toutes les tâches motrices complexes, 2) que le contenu des consignes influence la performance des participants au cours de l'apprentissage, 3) que différents circuits neuronaux sont impliqués selon le contenu des consignes administrées, et 4) que la communication de stratégies cognitives à travers les consignes favorise un apprentissage plus efficace et rapide. Cependant, à notre connaissance, aucune donnée n'existe concernant l'influence du contenu des consignes transmises aux participants lors de l'apprentissage sur la consolidation d'une habileté motrice complexe.

La représentation interne des mouvements à effectuer pour accomplir une tâche se construit très tôt au cours de l'apprentissage d'une habileté motrice chez l'humain (Bütefisch et al., 2000; Classen et al., 1998; Flament et al., 1996; Imamizu et al., 2000; Karni et al., 1998; Muellbacher et al., 2002) et chez les primates (Dorris et al., 2000; Gandolfo et al., 2000; Kleim, Barbay & Nudo, 1998; Li et al., 2001). Selon Wolpert et ses collaborateurs (1998) l'apprentissage d'une nouvelle habileté motrice constitue une mise à jour des différentes représentations internes, déjà existantes, effectuées par le processus de rétroaction sensorielle à partir de l'analyse des entrées et des sorties du système. Le but de l'apprentissage est de

réduire le bruit ou l'imprécision des signaux sensoriels et moteurs en utilisant les mises à jour afin de prédire et de maximiser l'adaptation de la représentation interne déjà existante à la nouvelle condition environnementale (Wolpert et al., 1998). Des études d'imagerie cérébrale par résonance magnétique effectuées par Flament et ses collaborateurs (1996) ainsi que par Imamizu et ses collaborateurs (2000) démontrent que même si l'activité cérébelleuse diminue au cours de l'apprentissage, une certaine activité confinée aux régions postérieures de la fissure supérieure persiste après l'apprentissage. Cette activité cérébelleuse, selon Imamizu et ses collaborateurs (2000), serait le reflet de l'acquisition d'une nouvelle représentation interne associée à l'apprentissage d'un nouvel instrument.

En ce sens, il est permis de croire que la richesse de l'information obtenue à la suite d'une stratégie cognitive basée sur l'administration d'une consigne axée sur la combinaison de la vitesse et de la précision permettra un raffinement supérieur de la représentation interne par la réduction du bruit et surtout par rapport à l'augmentation de la précision des signaux. Or, dans la présente étude, contrairement à l'administration de consignes axées uniquement sur une composante, il est attendu que l'administration de consignes basées sur la combinaison de la précision et de la vitesse permettra un raffinement de la représentation interne qui s'exprime par une amélioration spontanée supérieure de la performance à la suite d'une période de latence de 24 heures entre deux sessions d'entraînement à une épreuve d'adaptation sensori-motrice.

Méthode

Participants

Trente-trois participants sont recrutés et pairés, dans la mesure du possible, dans les trois conditions de cette étude (cf. Tableau 3.1). Le mode de recrutement et la gestion de l'expérimentation sont identiques à ceux de l'Étude 1.

Variables	Vitesse	Précision	Combiné
Âge	24.1 (4.2)	23.5 (4.3)	23 (2.5)
Sexe	6 femmes	6 femmes	5 femmes
	5 hommes	5 hommes	6 hommes
Niveau d'expérience	2.82 (1.9)	2.55 (1.2)	2.64 (1.1)

Tableau 3.1. Tableau résumé des moyennes et écarts-types obtenus à partir des données démographiques pour l'ensemble des 3 groupes de participants.

Des analyses de variance (ANOVA) ont été effectuées à partir des données démographiques obtenues auprès des trois groupes de participants pour les variables « âge » et « niveau d'expérience », d'habileté ou de connaissance de ce genre de tâche avec un levier du type jeux vidéo. Les deux ANOVA ne s'avèrent pas significatives suggérant ainsi que les participants des trois groupes sont du même âge et du même niveau de familiarisation avec ce type de tâche. De plus, deux analyses non paramétriques (Chi-carré) ont été effectuées à partir des variables « sexe » et « scolarité ». La variable « scolarité » est ici prise comme une variable no paramétrique puisque le nombre d'années de scolarité n'a pas été comptabilisé et qu'un étudiant au baccalauréat peut avoir soit 14, 15 ou 16 ans de scolarité, ainsi les catégories sont « 1 » pour un étudiant au bacc et « 0 » pour un étudiant qui est à la maîtrise ou au niveau collégiale. Les résultats des deux analyses non paramétriques ne s'avèrent pas significatives suggérant ainsi que les groupes sont équivalents en terme de répartition garçon/fille et que ces participants ont sensiblement le même niveau de scolarité.

Matériel

Le matériel utilisé dans la présente étude est identique à celui utilisé pour l'étude 1.

Procédure

La procédure utilisée dans la présente étude est semblable à celle utilisée dans l'Étude 1 à l'exception des particularités relatives au nombre de blocs (Étude 1) et aux consignes (Étude 2) administrés aux participants. Dans la présente étude, tous les participants bénéficient de 16 blocs de pratique lors de chacune des deux sessions d'entraînement. De plus, les consignes administrées varient selon les groupes. Des consignes spécifiques à la vitesse d'exécution sont administrées aux participants du premier groupe (Annexe 6), tandis que des consignes spécifiques à la précision de l'exécution sont administrées aux participants du deuxième groupe (Annexe 7) et des consignes spécifiques à la combinaison de la vitesse et de la précision de l'exécution sont administrées aux participants du dernier groupe (Annexe 8).

Résultats

Les résultats sont compilés de la même façon dans cette étude que dans l'Étude 1. Les données descriptives sont présentées sous forme graphique dans les Figures 3.1, 3.2, 3.3 et 3.4.

La première analyse statistique vise à démontrer l'équivalence des groupes formés aléatoirement au niveau de base lors de la condition directe. Les résultats de la MANOVA démontrent un effet significatif de Groupe, $F(2, 30) = 2.14$, $p<.05$. Les analyses de variance (ANOVA) univariées[4] indiquent une différence significative pour l'indice de mesure temps, $F(2, 30) = 8.24$, $p<.05$, et pour l'indice de performance global, $F(2, 30) = 5.83$, $p<.05$. Les tests post-hoc de Tukey HSD indiquent que les participants de la condition Vitesse (Groupe 1) sont plus rapides que les participants de la condition Précision (Groupe 2), et que les participants de la condition Combiné (Groupe 3) sont également plus rapides que les participants de la condition Précision (Groupe 2). De plus, les participants de la condition Vitesse (Groupe 1) obtiennent un meilleur indice de performance que les participants de la condition Précision (Groupe 2). Enfin, l'effet de Bloc et l'interaction Bloc X Groupe ne sont pas significatifs suggérant qu'aucun des participants ne s'est amélioré au cours de ces trois blocs d'essais.

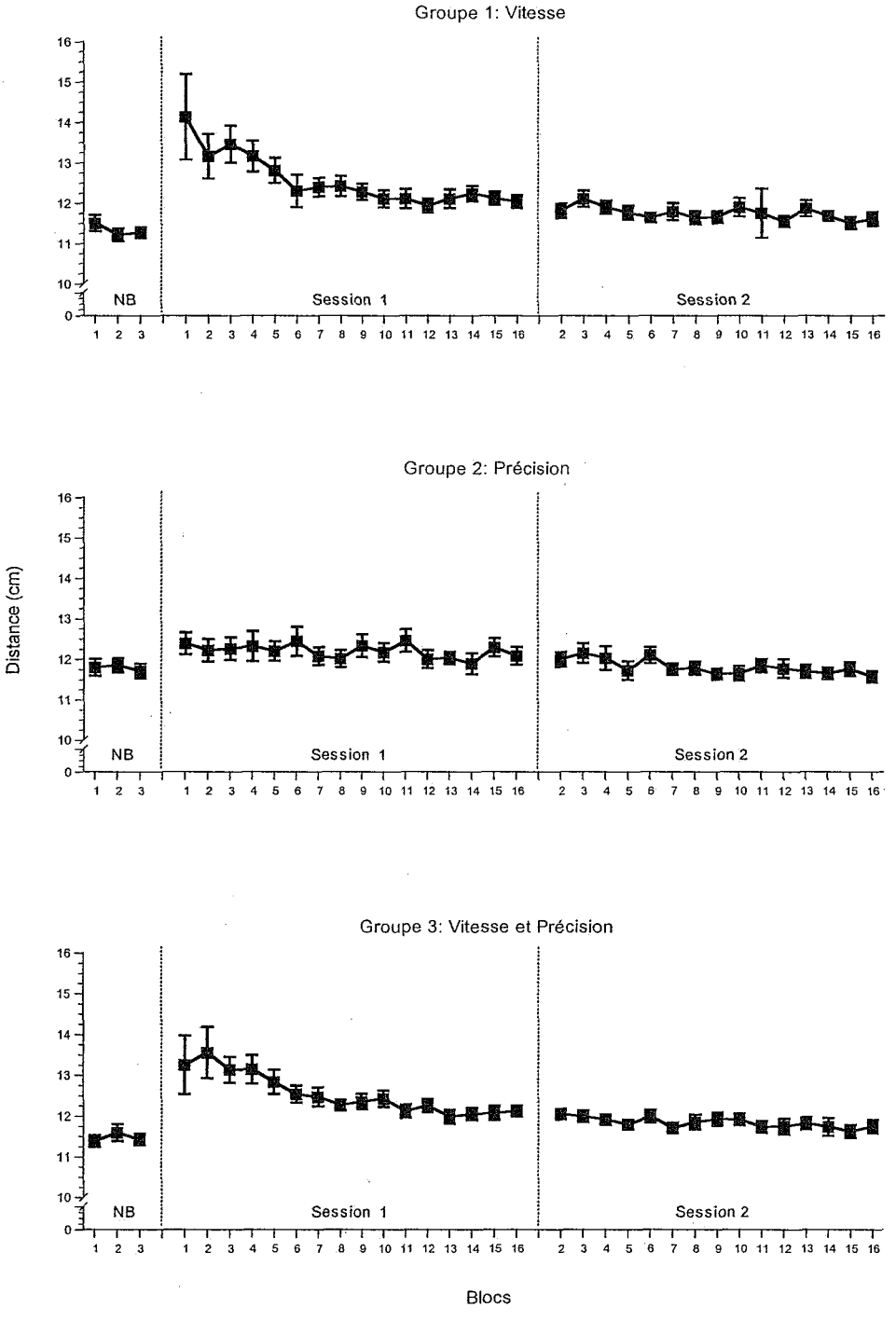


Figure 3.1. Distance moyenne (cm) parcourue en fonction du contenu des consignes transmises aux participants pour le niveau de base (NB) en condition directe et les Sessions 1 et 2 d'apprentissage en condition indirecte.

---

[4] Les probabilités des ANOVA univariées sont tous corrigées avec le test de Greenhouse-Geisser

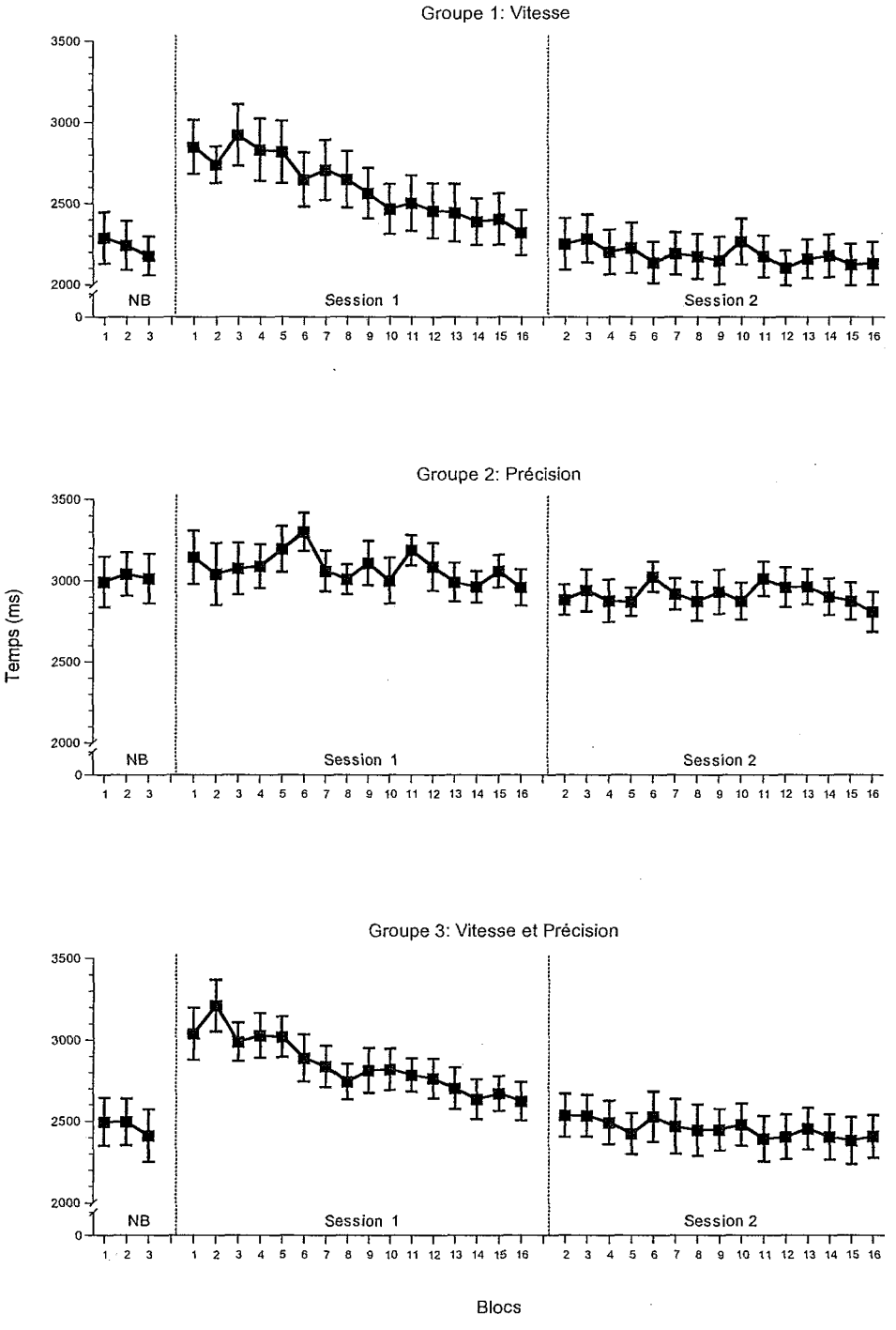


Figure 3.2. Temps moyen (ms) utilisé pour effectuer la tâche en fonction du contenu des consignes transmises aux participants pour le niveau de base (NB) en condition directe et les Sessions 1 et 2 d'apprentissage en condition indirecte.

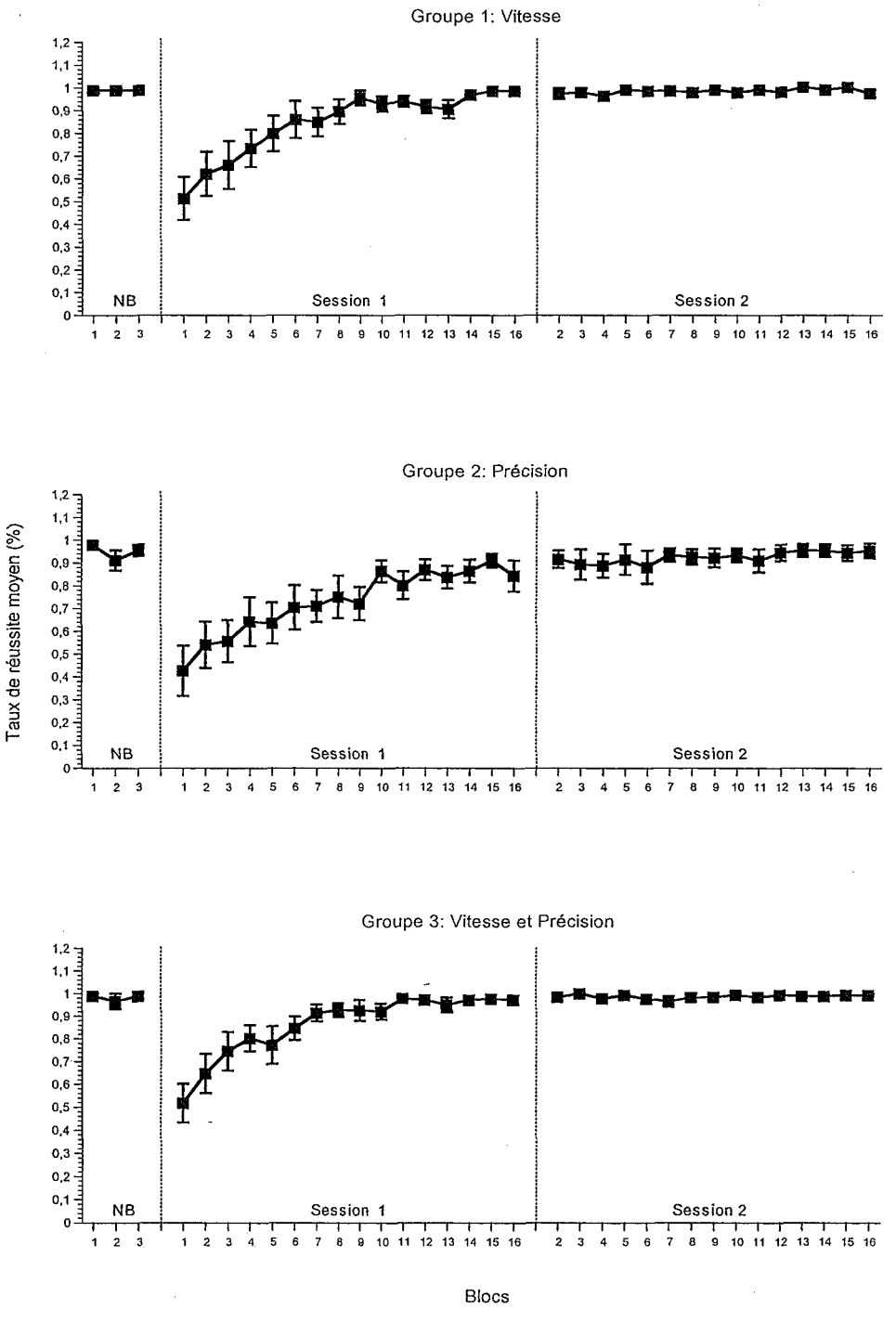


Figure 3.3. Taux de réussite moyen (%) en fonction du contenu des consignes transmises aux participants pour le niveau de base (NB) en condition directe et les Sessions 1 et 2 d'apprentissage en condition indirecte.

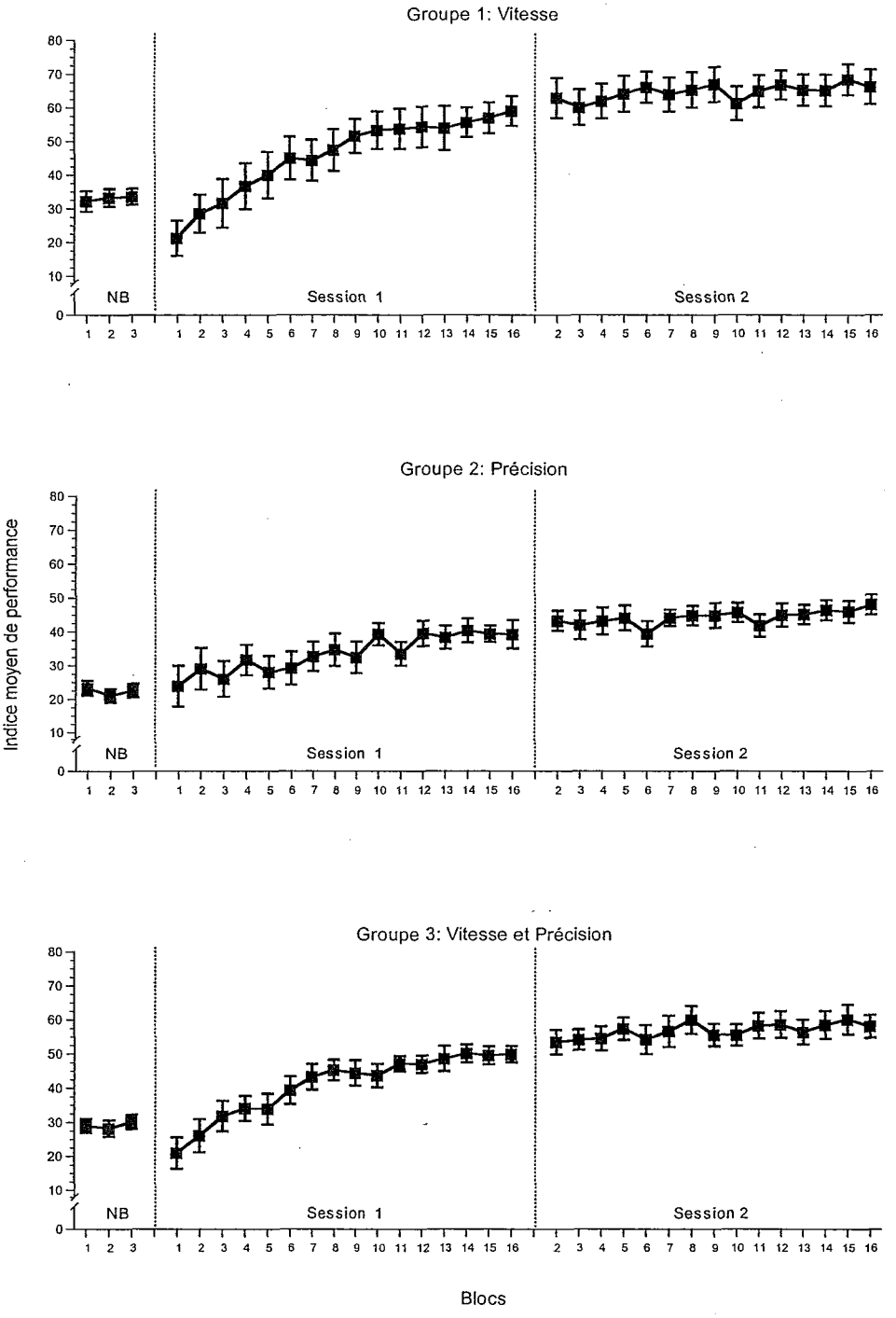


Figure 3.4. Indice moyen de performance [taux de réussite / (distance X temps)] en fonction du contenu des consignes transmises aux participants pour le niveau de base (NB) en condition directe et les Sessions 1 et 2 d'apprentissage en condition indirecte.

Dans le même ordre d'idée, la deuxième analyse vise à démontrer l'équivalence des groupes formés aléatoirement au niveau de base lors du premier bloc de la condition indirecte. Les résultats de l'ANOVA n'indiquent aucune différence à ce niveau. Ainsi, il n'y pas de différence entre les participants quant à leur niveau d'habileté à la tâche d'adaptation sensori-motrice. Ces données suggèrent que les participants sont statistiquement équivalents dès le départ en condition indirecte et que les différences entre les niveaux de base en condition directe sont tributaires des consignes administrées et non à des différences interindividuelles des participants à l'échantillonnage.

La troisième analyse a pour but de démontrer que les participants ont appris la tâche d'adaptation sensori-motrice au cours des essais qui leur ont été administrés lors de la session d'acquisition. Une analyse de variance à mesures répétées (MANOVA) est effectuée à partir de la comparaison statistique des moyennes du premier et du dernier bloc de pratique en condition indirecte de la première session pour les 4 indices de mesures séparément. Les résultats de la MANOVA révèlent un effet significatif de Groupe, $F(2, 30) = 2.82$, $p<.05$. Les analyses de variance (ANOVA) univariées révèlent une différence significative pour l'effet Groupe au niveau du temps seulement, $F(2, 30) = 4.72$, $p<.05$. Les tests post-hoc Tukey HSD indiquent que la différence de performance se situe entre les participants pour qui la consigne Vitesse (Groupe 1) a été administrée et les participants pour qui la consigne Précision (Groupe 2) a été administrée. Un effet significatif de Bloc est également obtenu, $F(2, 30) = 38.55$, $p<.05$, suggérant que l'adaptation sensori-motrice a bien été apprise au cours de la première session. Les analyses de variance (ANOVA) univariées révèlent une différence significative pour l'effet de Bloc au niveau du temps, $F(2, 30) = 18.19$, $p<.05$, de la distance, $F(2, 30) = 13.11$, $p<.05$, du taux de réussites, $F(2, 30) = 72.84$, $p<.05$ et de l'indice de performance, $F(2, 30) = 146.02$, $p<.05$. Enfin, l'interaction Bloc X Groupe est significative, $F(2, 30) = 4.46$, $p<.05$ ce qui suggère que certains participants s'améliorent plus que d'autres au cours de la première session d'entraînement. Les analyses univariées pour l'interaction Bloc X Groupe révèlent une différence significative au niveau du temps, $F(2, 30) = 3.87$, $p<.05$, et pour l'indice de performance, $F(2, 30) = 12.16$, $p<.05$. Afin de déterminer lesquels des groupes se démarquent de façon significative une ANOVA supplémentaire a été effectuée à partir du calcul du pourcentage d'amélioration des trois groupes. Les résultats de cette ANOVA indiquent une différence significative entre les groupes pour l'indice de performance

seulement, $F(2, 10) = 8.60$, $p<.05$. De plus, les analyses post-hoc de Tukey HSD démontrent que les participants qui bénéficient de la consigne axée sur la Vitesse (Groupe 1) s'améliorent davantage que les participants qui bénéficient de la consigne axée sur la Précision (Groupe 2). De plus, les participants qui bénéficient de la consigne axée sur la combinaison Vitesse et Précision (Groupe 3) s'améliorent davantage que les participants qui bénéficient de la consigne axée sur la Précision (Groupe 2). L'ensemble de ces résultats suggère 1) que les participants se sont adaptés à la tâche au cours de la première session d'entraînement et 2) que la consigne Vitesse, administrée seule ou en combinaison, favorise une meilleure performance des participants.

La quatrième analyse s'intéresse au niveau de saturation des participants, exprimé par l'atteinte d'un niveau de performance asymptotique, à la fin de la première session d'apprentissage. Une analyse de variance à mesures répétées (MANOVA) est effectuée à partir des quatre derniers blocs en condition indirecte de la première session, et ce, pour les quatre indices de mesures. Ici, méthodologiquement, il a été choisi de travailler avec 4 blocs afin d'obtenir une certaine stabilité dans les résultats. Les résultats de cette MANOVA n'indiquent aucun effet significatif suggérant que la performance de tous les participants atteint une saturation équivalente exprimée par l'atteinte d'un niveau asymptotique de performance lors des derniers blocs d'essais de pratique de la première session d'entraînement.

La cinquième analyse vise à déterminer si une amélioration de la performance est observée lors de la deuxième session d'apprentissage. Une analyse de variance à mesures répétées (MANOVA) est effectuée à partir de la comparaison statistique de la moyenne des deux premiers blocs et de la moyenne des deux derniers blocs de la deuxième session d'entraînement en condition indirecte pour les 4 indices de mesures. Les résultats de la MANOVA révèlent un effet significatif de Groupe, $F(2, 30) = 2.132$, $p<.05$. Les analyses de variances (ANOVA) univariées indiquent une différence significative pour l'effet Groupe au niveau du temps, $F(2, 30) = 8.12$, $p<.05$, et de l'indice de performance, $F(2, 30) = 6.45$, $p<.05$. Les tests post-hoc de Tukey HSD indiquent que les participants de la condition Vitesse sont plus rapides et obtiennent un meilleur indice de performance que les participants de la condition Précision. De plus, les participants de la condition combinée sont plus rapides et obtiennent un meilleur indice de performance que les participants de la condition Précision.

L'effet Bloc de la MANOVA est également significatif, $F(2, 30) = 9.06$, $p<.05$. Les ANOVA univariées révèlent une différence significative pour l'effet de Bloc au niveau du temps, $F(2, 30) = 6.81$, $p<.05$, de la distance, $F(2, 30) = 33.34$, $p<.05$, du taux de réussite, $F(2, 30) = 5.28$, $p<.05$ et de l'indice de performance, $F(2, 30) = 15.32$, $p<.05$. Enfin, l'interaction Bloc X Groupe de la MANOVA n'est pas significative. Les résultats de cette cinquième analyse suggèrent 1) que les participants continuent d'améliorer leur performance au cours de la deuxième session d'entraînement, 2) que les participants qui bénéficient de la consigne axée sur la Vitesse réussissent mieux que les participants qui bénéficient de la consigne axée sur la Précision, et 3) que les participants qui bénéficient de la consigne combinée réussissent mieux que les participants qui bénéficient de la consigne axée sur la Précision.

La sixième analyse a pour but d'évaluer l'amélioration spontanée de la performance entre la première et la deuxième session de pratique à la tâche d'adaptation sensori-motrice (voir Figure 3.5). Une analyse de variance à mesures répétées (MANOVA) est effectuée à partir de la comparaison statistique de la moyenne des quatre derniers blocs en condition indirecte de la première session et celle du deuxième bloc en condition indirecte de la deuxième session pour les quatre indices de mesure. Encore une fois, méthodologiquement il a été choisi de poursuivre avec 4 blocs afin de miser sur la stabilité de la performance des participants à la fin de la première session d'entraînement. De plus, ce choix méthodologique tend à pallier pour la faiblesse méthodologique de Brashers-Krug et ses collaborateurs (Brashers-Krug et al., 1996) où l'on mesure la consolidation en comparant statistiquement les courbes entières de la première et de la deuxième session d'entraînement. D'autres parts, le premier bloc est enlevé tel que suggéré par Brashers-Krug et ses collaborateurs (Brashers-Krug et al., 1996) puisque qu'il consiste en une refamiliarisation avec la tâche. Les résultats de la MANOVA n'indiquent pas de différence entre les groupes. L'effet de Bloc est significatif, $F(2, 12) = 4.87$, $p<.05$, indiquant une amélioration spontanée de la performance à la suite d'une période de latence de 24 heures entre deux sessions de pratiques d'une tâche d'adaptation sensori-motrice. L'interaction Blocs X Groupes n'est pas significatif suggérant une amélioration semblable pour tous les participants peu importe la consigne administrée lors de la phase d'acquisition de l'adaptation sensori-motrice. Les analyses de variance (ANOVA) univariées indiquent une différence significative pour l'effet Bloc au niveau du temps, $F(2, 12) = 12.77$, $p<.05$, du taux de réussites, $F(2, 12) = 4.84$, $p<.05$, et de l'indice de performance,

F (2, 12) = 20.96, p<.05. Afin de déterminer si l'amélioration spontanée est significative pour les trois groupes, des tests t pairés ont été effectués à partir des mêmes données pour chacun des trois groupes et ce, uniquement pour l'indice de performance (Figure 3.5). Les résultats démontrent une amélioration spontanée à l'indice de performance, à la suite d'une période de latence de 24 heures entre deux sessions d'entraînement à une adaptation sensori-motrice, pour tous les participants, condition Vitesse (Groupe 1), t (10) = -3.23, p<.05, de la condition Précision (Groupe 2), t (10) = -2.29, p<.05 et de la condition Combiné (Groupe 3) t (10) = -2.33, p<.05.

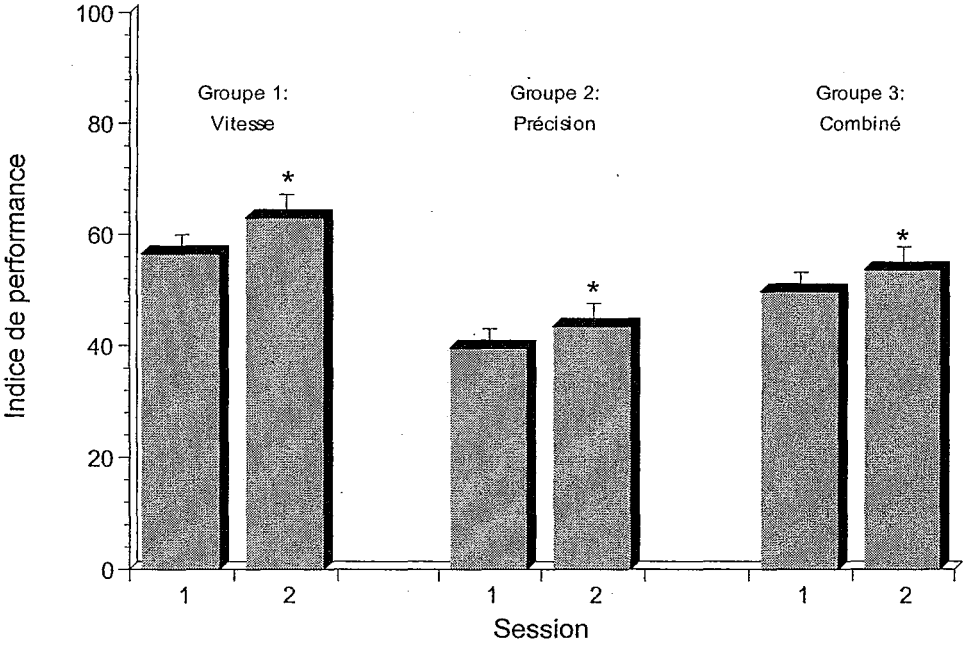


Figure 3.5. Amélioration spontanée de la performance à la suite d'une période de latence de 24 heures entre deux sessions d'entraînement à une tâche d'adaptation sensori-motrice telle que représentée par la fonction de l'indice moyen de performance et du contenu des consignes transmises aux participants.

Enfin pour répondre spécifiquement à la question du compromis entre la vitesse d'exécution et la précision du mouvement, une analyse statistique a été ajoutée. Ainsi, une corrélation est effectuée pour mettre en relation le temps de mouvement, soit la vitesse d'exécution et le taux de réussite, soit la précision du mouvement, les deux composantes du SATO. Cette corrélation est effectuée à partir des quatre derniers blocs d'entraînement de la première session. Les résultats démontrent une corrélation négative significative $r = -.581$, $p<.000$ suggérant ainsi une relation indirecte significative entre le temps de mouvement et la précision.

Discussion

Le but de cette étude est de caractériser l'influence du contenu des consignes transmises aux participants lors de l'apprentissage sur la consolidation d'une adaptation sensori-motrice. Il est attendu que l'administration de consignes basées sur la combinaison de la précision et de la vitesse permettra un raffinement de la représentation interne qui s'exprime par une amélioration spontanée supérieure de la performance à la suite d'une période de latence de 24 heures entre deux sessions d'entraînement à une épreuve d'adaptation sensori-motrice. L'analyse des données effectuée à partir de la performance des participants au niveau de base en condition directe démontre que la variable indépendante a bien été manipulée; ainsi, la performance des participants se distingue selon le contenu des consignes administré sur l'indice de mesure temps et l'indice de performance. Par contre, l'ensemble des participants est statistiquement équivalant dès le départ en condition indirecte.

L'analyse des données de la première session d'entraînement en condition indirecte démontre que la tâche d'adaptation sensori-motrice est apprise, cependant l'interaction suggère que les participants qui effectuent la tâche sous la consigne axée sur la Vitesse, seule ou en combinaison, réussissent mieux que les participants de la condition Précision. L'analyse du niveau de saturation de la performance des participants démontre que tous les participants ont atteint une certaine asymptote au cours de leurs quatre derniers blocs de pratique respectifs. L'analyse des données de la deuxième session d'entraînement démontre que la performance des participants continue de s'améliorer lors de la deuxième session de pratique à la suite d'une période de latence de 24 heures à la tâche de poursuite de cible en condition indirecte. Cependant, les résultats suggèrent que les participants qui bénéficient de la consigne axée sur

la Vitesse, seule ou en combinaison, obtiennent une meilleure performance que les participants qui bénéficient de la consigne axée sur la Précision. Enfin, l'analyse des données démontre une amélioration spontanée de la performance, équivalente pour tous les participants, à la suite d'une période de latence de 24 heures entre la première et la deuxième session de pratique d'une tâche d'adaptation sensori-motrice et ce, sans égard au contenu des consignes administrées lors de l'apprentissage.

De façon générale, ces résultats démontrent que les participants qui agissent rapidement ou en combinaison vitesse/précision, réussissent mieux à la tâche d'adaptation sensori-motrice que les participants qui s'appliquent au respect de la consigne axée sur la précision du mouvement. Ces résultats sont congruents avec les résultats de Cauraugh (1990), de Engelhorn (1997) et de Belkin et Eliot (1997) qui démontrent la supériorité des consignes axées sur la rapidité d'exécution des mouvements que sur les consignes axées sur la précision du mouvement dans des tâches simples (Cauraugh, 1990) et complexes (Belkin et Eliot, 1997; Engelhorn, 1997) d'apprentissage d'habileté motrice. De plus, ces résultats démontrent également que le SATO ne s'applique pas à la tâche d'adaptation sensori-motrice utilisée dans la présente étude et confirment en ce sens les résultats d'Agostino et ses collaborateurs (1996) avec une tâche de dessin miroir qui s'apparente à la tâche de poursuite de cible en condition indirecte. Ainsi, les résultats démontrent que la précision n'est pas toujours sacrifiée lorsque les mouvements sont effectués rapidement tout comme le suggèrent les résultats de Cauraugh (1990), Engelhorn (1997) et de Belkin et Eliot (1997) dans des tâches motrices simples (Cauraugh, 1990) et complexes (Belkin et Eliot, 1997; Engelhorn, 1997). D'ailleurs, une étude récente de Elliott, Binstead et Heath (1999) démontrent que même dans une condition très rapide, les participants utilisent l'information visuelle disponible pour adapter leurs mouvements de façon efficace pour atteindre la cible. De plus, dans une étude récente, Fisher et ses collaborateurs (2002) observent une amélioration de 33,5 % de la vitesse d'exécution et une réduction de 30,1 % du taux d'erreurs à la suite d'un entraînement et d'une nuit de sommeil à une tâche de séquence motrice impliquant les doigts de la main chez l'humain. Des résultats semblables sont obtenus par Walker et ses collaborateurs (2002) dans une étude similaire alors qu'ils observent une amélioration de 20 % de la vitesse sans perte significative au niveau de la précision. Ainsi, la présente étude, de même que plusieurs études récentes (Agostino et al., 1996; Belkin et Eliot, 1997; Cauraugh, 1990; Elliott, et al., 1999; Engelhorn,

1997; Fisher et al., 2002; Walker et al., 2002) appuient la définition de Willingham (1998) qui stipule que les mouvements s'améliorent dans le temps et dans l'espace avec la pratique au cours de l'apprentissage d'habileté motrice. Contrairement à la loi de Fitt's qui propose que la précision des mouvements diminue avec l'augmentation de la vitesse d'exécution (Etnyre, 1998), Willingham (1998) suggère que les deux composantes : Vitesse et Précision s'améliorent avec la pratique au cours de l'apprentissage d'habileté motrice.

Enfin, les résultats obtenus démontrent que le contenu des consignes transmises aux participants lors de l'apprentissage n'influence pas la consolidation d'une adaptation sensori-motrice. Ces résultats vont à l'encontre de l'hypothèse qui prédit que l'administration de consignes basées sur la combinaison de la précision et de la vitesse permettra un raffinement de la représentation interne qui s'exprime par une amélioration spontanée supérieure de la performance à la suite d'une période de latence de 24 heures entre deux sessions d'entraînement à une épreuve d'adaptation sensori-motrice. Ainsi, la représentation interne des mouvements à effectuer pour accomplir une tâche se construit et se raffine au cours de l'apprentissage indépendamment de la richesse du contenu des consignes transmises aux participants. Toutefois, malgré ces résultats, les consignes transmises aux participants des études subséquentes continueront d'axer la performance sur une juste combinaison de la vitesse d'exécution et sur la précision du mouvement. Le but de ce programme d'étude n'est pas d'obtenir une meilleure performance en terme de vitesse ou de précision, mais bien de favoriser l'acquisition d'une routine motrice spécifique à la tâche d'adaptation sensori-motrice administrée.

Les résultats de la présente étude s'ajoutent aux résultats de l'Étude 1 et permettent la reproduction, dans trois nouvelles conditions, du phénomène de consolidation à la suite d'une période de latence de 24 heures entre deux sessions d'entraînement. L'observation d'une amélioration spontanée de la performance à la suite d'une période de latence de 24 heures entre deux sessions d'entraînement dans 6 conditions différentes ajoute beaucoup de poids et de rigueur à un phénomène peu robuste qui semble influencé par plusieurs facteurs. Ensemble, ces deux études suggèrent qu'il existe d'autres artefacts méthodologiques qui puissent expliquer les variations importantes dans les résultats des études s'intéressant à la consolidation de l'apprentissage d'habiletés motrices qui s'opère à la suite d'une période de latence de 4 à 6 heures, avec ou sans tâches interférentes, entre deux sessions d'entraînement (Brashers-Krug et al., 1996; Karni & Sagi, 1993; Shadmehr & Barshers-Krug, 1997; Shadmehr & Holcomb, 1997). L'Étude 3 s'intéresse d'ailleurs à la caractérisation paramétrique de la période de latence et à la comparaison de l'effet des schèmes avec ou sans tâche interférente sur la consolidation de l'adaptation sensori-motrice administrée ici.

CHAPITRE 4

ÉTUDE 3

Comparaison de l'influence des schèmes interférents et paramétriques sur la consolidation d'une adaptation sensori-motrice

À ce jour, peu de données existent concernant la consolidation de la représentation interne acquise au cours de l'apprentissage d'une habileté motrice. Ensemble, les études disponibles actuellement, permettent d'identifier une phase intermédiaire située entre la phase rapide et la phase lente. Le terme consolidation fait consensus pour identifier cette phase qui permet le passage à long terme de la représentation interne de l'habileté motrice acquise qui se mesure par 1) l'amélioration spontanée de la performance, sans pratique additionnelle, à la suite d'une période de latence entre deux sessions d'entraînement (Fisher et al., 2002; Gais et al., 2000; Karni & Sagi, 1993; Karni et al., 1998; Muellbacher et al., 2002; Stickgold et al., 2000; Walker et al., 2002) ou 2) l'incapacité d'une seconde tâche dite interférente, insérée entre la phase d'acquisition et le test de consolidation de l'apprentissage initial, de compromettre la rétention de l'habileté motrice apprise initialement (Brashers-Krug et al., 1996; Krebs et al., 1998; Shadmehr & Brashers-Krug, 1997; Shadmehr & Holcomb, 1997, 1999) ou 3) l'incapacité d'une privation de sommeil, insérée entre la phase d'acquisition et le test de consolidation de l'apprentissage initial, de compromettre la rétention de l'habileté motrice apprise initialement (Donchin et al., 2002; Fisher et al., 2002; Gais et al., 2000; Maquet et al., 2002; Stickgold et al., 2000; Walker et al., 2002) ou encore 4) l'incapacité d'une molécule, administrée entre la phase d'acquisition et le test de consolidation de l'apprentissage initial, de compromettre la rétention de l'habileté motrice apprise initialement (Bütefisch et al., 2000; Donchin et al., 2002).

Certaines de ces études suggèrent que le simple passage du temps (Brashers-Krug et al., 1996; Jackson et al., 1997; Karni & Sagi, 1993; Shadmehr & Holcomb, 1997) est suffisant pour favoriser le phénomène de consolidation, phénomène qui s'amorce rapidement à la suite de quelques blocs d'essais d'une habileté motrice chez l'humain (Bütefisch et al., 2000; Classen et al., 1998; Flament et al., 1996; Imamizu et al., 2000; Karni et al., 1998; Muellbacher et al., 2002) et chez les primates (Dorris et al., 2000; Gandolfo et al., 2000; Kleim, Barbay & Nudo, 1998; Li et al., 2001) et qui se poursuit à la suite de l'entraînement sans pratique additionnelle. De façon générale, les études démontrent qu'une période de latence de 4 à 8 heures est nécessaire pour observer le phénomène de consolidation de l'apprentissage (Brashers-Krug et al., 1996; Jackson et al., 1997; Karni & Sagi, 1993; Shadmehr & Holcomb, 1997). Toutefois, certains indices indiquent que la consolidation de l'apprentissage d'habileté motrice demeure un phénomène peu robuste.

Premièrement, Karni et Sagi (1993) ont observé une amélioration spontanée de la performance chez certains participants à la suite d'une période de latence minimum de 8 heures entre deux sessions d'entraînement à une tâche de discrimination perceptuelle de stimuli texturés. De plus, la consolidation est observée pour tous les participants seulement à la suite d'un délai temporel de 22 à 28 heures entre la première et la deuxième session de pratique. Deuxièmement, dans un schème paramétrique, Jackson et ses collaborateurs (1997) observent une amélioration spontanée de la performance des participants à la suite d'une période de latence de 1, 6, 8, et 10 heures à la tâche de poursuite rotatoire mais pas pour la tâche de dessin miroir. Troisièmement, dans un paradigme comprenant une tâche interférente, semblable, mais conflictuelle à la tâche apprise, insérée entre la phase d'acquisition et le test de rétention, Brashers-Krug et ses collaborateurs (1996) ont obtenu une amélioration significative de la performance à la suite d'une période de latence de 4 heures entre deux sessions d'entraînement. Enfin, dans un paradigme paramétrique sans tâche interférente, insérée entre la phase d'acquisition et le test de rétention, lors d'une étude d'imagerie cérébrale, de Shadmehr et Holcomb (1997) n'ont pu reproduire les résultats de Brashers-Krug et ses collaborateurs (1996) à la suite d'une période de latence de 6 heures.

La présente étude s'intéresse à la caractérisation paramétrique de la période de latence et à la comparaison de l'effet des schèmes avec ou sans tâche interférente sur la consolidation d'une adaptation sensori-motrice. Il est attendu qu'une période de latence de 5 heures insérée entre la phase d'acquisition et le test de rétention est nécessaire pour observer une amélioration spontanée de la performance à une tâche d'adaptation sensori-motrice avec ou sans l'utilisation d'une tâche interférente.

Méthode

Participants

Soixante-dix participants sont recrutés et pairés, dans la mesure du possible, dans sept conditions expérimentales (cf. Tableau 4.1). Le mode de recrutement et la gestion de l'expérimentation sont identiques à ceux de l'Étude 1.

Groupes	Âge	Sexe	Habileté
1 Paramétrique 5 heures (P-5h)	20.1 (0.7)	8 femmes 2 hommes	2.4 (1.3)
2 Paramétrique 8 heures (P-8h)	20.6 (1.2)	8 femmes 2 hommes	2.4 (1.3)
3 Paramétrique 24 heures (P-24h)	20.3 (1.2)	8 femmes 2 hommes	2.4 (1.3)
4 Interférence 5 minutes (I-5m)	20.8 (2.0)	8 femmes 2 hommes	2.0 (1.2)
5 Interférence 1 heure (I-1h)	20.2 (0.9)	8 femmes 2 hommes	2.9 (0.9)
6 Interférence 5 heures (I-5h)	19.8 (1.4)	7 femmes 3 hommes	2.1 (1.0)
7 Interférence 8 heures (I-8 h)	20.2 (1.0)	7 femmes 3 hommes	2.4 (1.7)

Tableau 4.1. Tableau résumé des moyennes et écarts-types obtenus à partir des données démographiques pour l'ensemble des 7 groupes de participants.

Des analyses de variance (ANOVA) ont été effectuées à partir des données démographiques obtenues auprès des sept groupes de participants pour les variables « âge » et « niveau d'expérience », d'habileté ou de connaissance de ce genre de tâche avec un levier du type jeux vidéo. Les deux ANOVA ne s'avèrent pas significatives suggérant ainsi que les participants des trois groupes sont du même âge et du même niveau de familiarisation avec ce type de tâche. De plus, deux analyses non paramétriques (Chi-carré) ont été effectuées à partir des variables « sexe » et « scolarité ». La variable « scolarité » est ici prise comme une variable no paramétrique puisque le nombre d'années de scolarité n'a pas été comptabilisé et qu'un étudiant au baccalauréat peut avoir soit 14, 15 ou 16 ans de scolarité, ainsi les catégories sont « 1 » pour un étudiant au bacc et « 0 » pour un étudiant qui est à la maîtrise ou au niveau collégiale. Les résultats des deux analyses non paramétriques ne s'avèrent pas significatives suggérant ainsi que les groupes sont équivalents en terme de répartition garçon/fille et que ces participants ont sensiblement le même niveau de scolarité.

Matériel

Le matériel utilisé dans la présente étude est identique à celui utilisé dans l'Étude 1.

Procédure

La procédure utilisée dans la présente étude est semblable à celle utilisée pour l'Étude 1. Cependant, ici, les participants bénéficient de 16 blocs de pratique lors de chacune des deux sessions d'entraînement. De plus, les consignes administrées aux participants sont axées sur la combinaison de la Vitesse et de la Précision d'exécution pour les tâches A (Annexe 8).

Les participants sont pairés, dans la mesure du possible, dans sept conditions expérimentales (Tableau 4.2). Les trois premiers groupes de participants s'entraînent à la tâche A et effectue le test de consolidation (tâche A) à la suite d'une période de latence de 5, 8 ou 24 heures sans pratique additionnelle. Les quatre autres groupes de participants s'entraînent à la tâche A, puis à la tâche B (tâche interférente) administré à la suite d'une période de latence de 5 minutes ou 1, 5 ou encore 8 heures. Enfin, ces quatre groupes de participants effectuent tous un test de consolidation (tâche A) à la suite d'une période de latence de 24 heures sans pratique additionnelle.

Groupes	1ère session	1 heure	5 heures	8 heures	24 heures
1 Paramétrique 5 heures (P-5h)	A		A		
2 Paramétrique 8 heures (P-8h)	A			A	
3 Paramétrique 24 heures (P-24h)	A				A
4 Interférence 5 minutes (I-5m)	AB				A
5 Interférence 1 heure (I-1h)	A	B			A
6 Interférence 5 heures (I-5h)	A		B		A
7 Interférence 8 heures (I-8 h)	A			B	A

Tableau 4.2. Protocole d'expérimentation pour les 7 conditions (Groupes 1 à 7) pour la première et la deuxième session d'entraînement à la suite d'une période de latence de 5, 8 ou 24 heures dans un paradigme paramétrique et de 5 minutes, 1, 5 et 8 heures dans un paradigme avec interférence.

La durée des sessions varie d'une heure à une heure trente minutes selon les conditions. À leur arrivée lors de la première session, les participants doivent remplir un formulaire de consentement correspondant à l'affectation aléatoire de la condition (Annexe 2, 9, 10, 11 et 12). Au cours de la tâche interférente (B) semblable, mais conflictuelle, d'autres consignes sont administrées aux participants (Annexe 13) de la condition I-5m (Groupe 4), I-1h (Groupe 5), I-5h (Groupe 6) et I-8h (Groupe 7) qui effectuent encore une fois 16 blocs de 16 essais. Cependant, dans cette tâche, seul l'axe des « y » est inversé. Ainsi, si le participant dirige le levier vers l'avant, le curseur va se diriger vers la partie inférieure de l'écran. Par contre, si le participant dirige le levier vers la gauche, le curseur va se diriger vers la gauche de l'écran.

Résultats

Les résultats sont compilés de la même façon dans cette étude que dans l'Étude 1. Cependant, dans cette étude, certaines analyses sont ajoutées afin de bien cerner les subtilités spécifiques relatives aux schèmes paramétriques et avec interférence. Ainsi, entre autres, la sixième analyse qui porte sur la consolidation, définie jusqu'ici comme une amélioration spontanée de la performance (Karni & Sagi, 1993), portera uniquement sur les trois groupes qui participent au schème paramétrique. Les quatre autres groupes seront analysés selon l'approche relative au schème interférent (cf. Brashers-Krug et al., 1996). Les données descriptives complètes sont présentées sous forme graphique dans les Figures 4.1.1, 4.1.2, 4.2.1, 4.2.2, 4.3.1, 4.3.2, 4.4.1 et 4.4.2..

La première analyse statistique vise à démontrer l'équivalence, en terme de performance au niveau de base lors de la condition directe, des participants des sept conditions expérimentales décrites ci-dessus. Une analyse de variance à mesures répétées (MANOVA) est effectuée à partir des données des 4 indices de mesure. Les résultats de la MANOVA ne révèlent aucun effet de Groupe significatif. Toutefois, l'effet de Bloc est significatif, $F(6, 64) = 2.72$, $p<.05$, suggérant que les participants s'améliorent lors des trois premiers blocs de pratique en condition directe. Les analyses de variance (ANOVA) univariées indiquent une différence significative pour l'effet Bloc au niveau du temps, $F(6, 64) = 7.06$, $p<.05$, et de l'indice de performance, $F(6, 64) = 5.26$, $p<.05$. L'interaction Bloc X Groupe n'est pas significative suggérant ainsi que tous les participants sont équivalents quant à leur habileté motrice de base à cette tâche. Poursuivant dans la même direction, la deuxième analyse vise à démontrer l'équivalence des groupes formés aléatoirement au niveau de base lors du premier bloc de la condition indirecte. Une ANOVA a été effectuée à partir des résultats obtenus aux 4 indices de mesure. Les résultats de cette ANOVA n'indiquent aucune différence au niveau de la performance des participants lors du niveau de base de la condition indirecte. Les résultats de ces deux premières analyses suggèrent que les trois groupes sont statistiquement équivalents au début de l'apprentissage en condition directe et indirecte et qu'ils démontrent le même niveau d'amélioration peu importe la condition expérimentale.

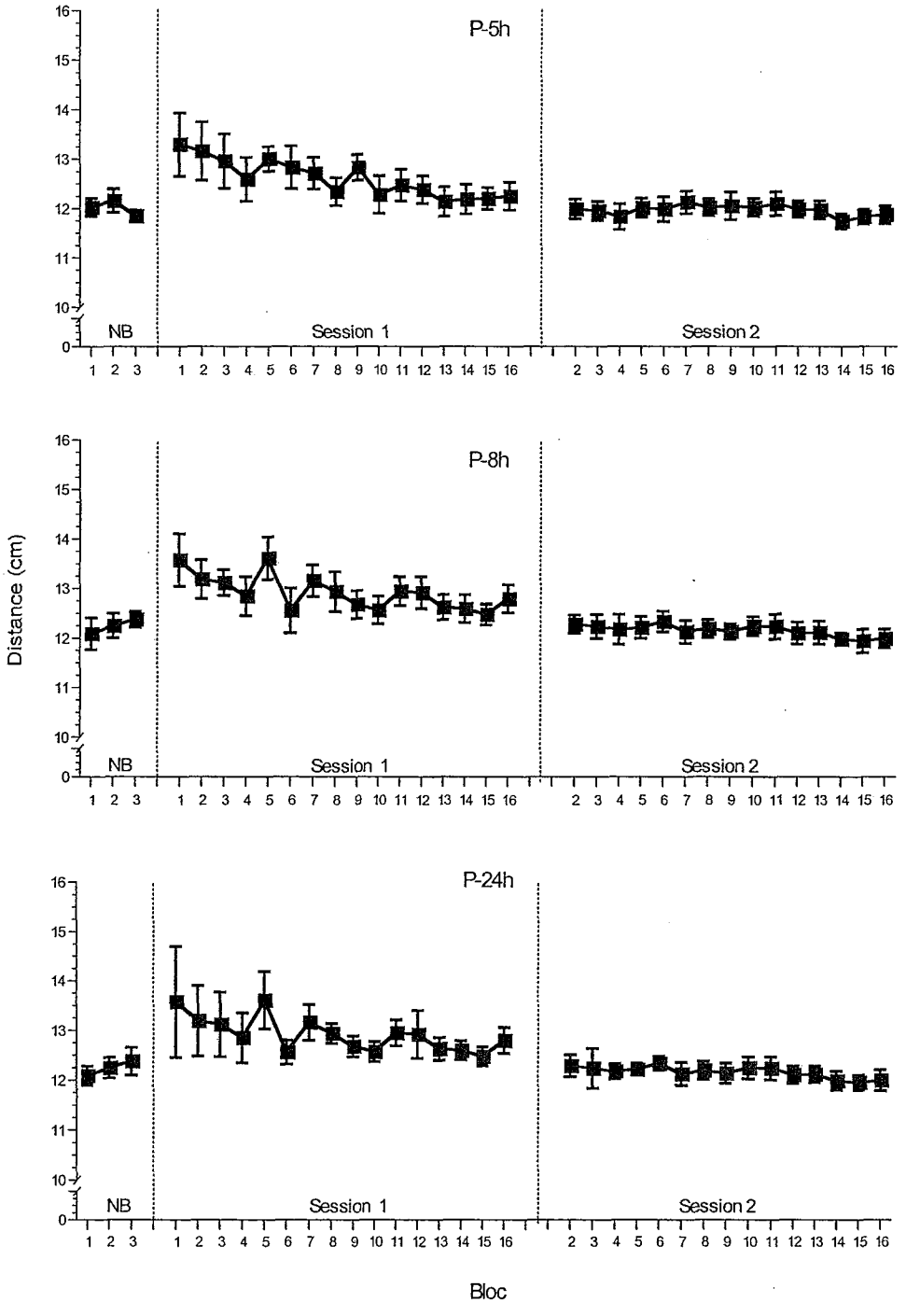


Figure 4.1.1. Distance moyenne (cm) parcourue en fonction du schème paramétrique pour le niveau de base (NB) en condition directe et les Sessions d'apprentissage 1 et 2 en condition indirecte.

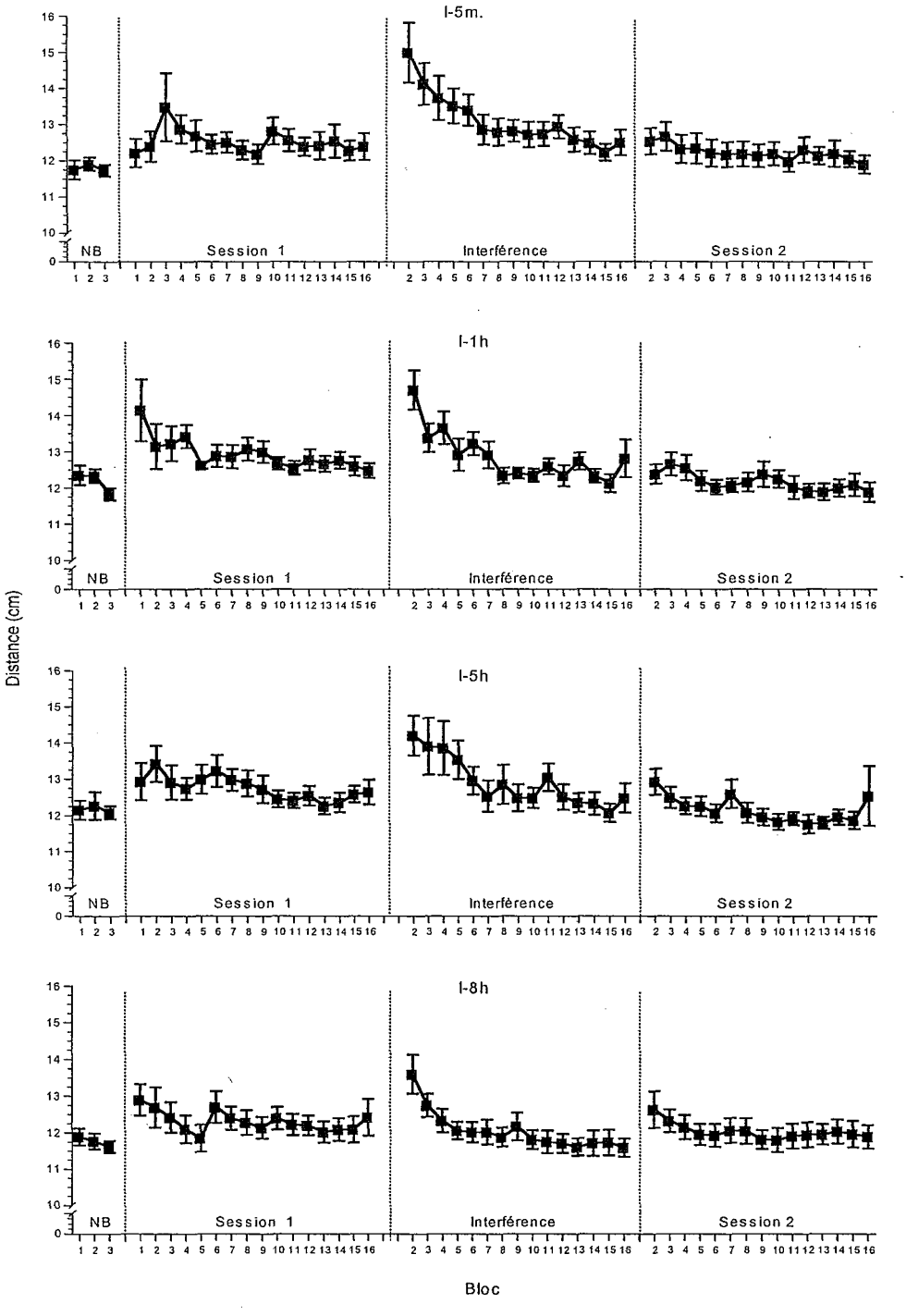


Figure 4.1.2. Distance moyenne parcourue (cm) en fonction du schème avec interférence pour le niveau de base (NB) en condition directe et les Sessions d'apprentissage 1 et 2 en condition indirecte.

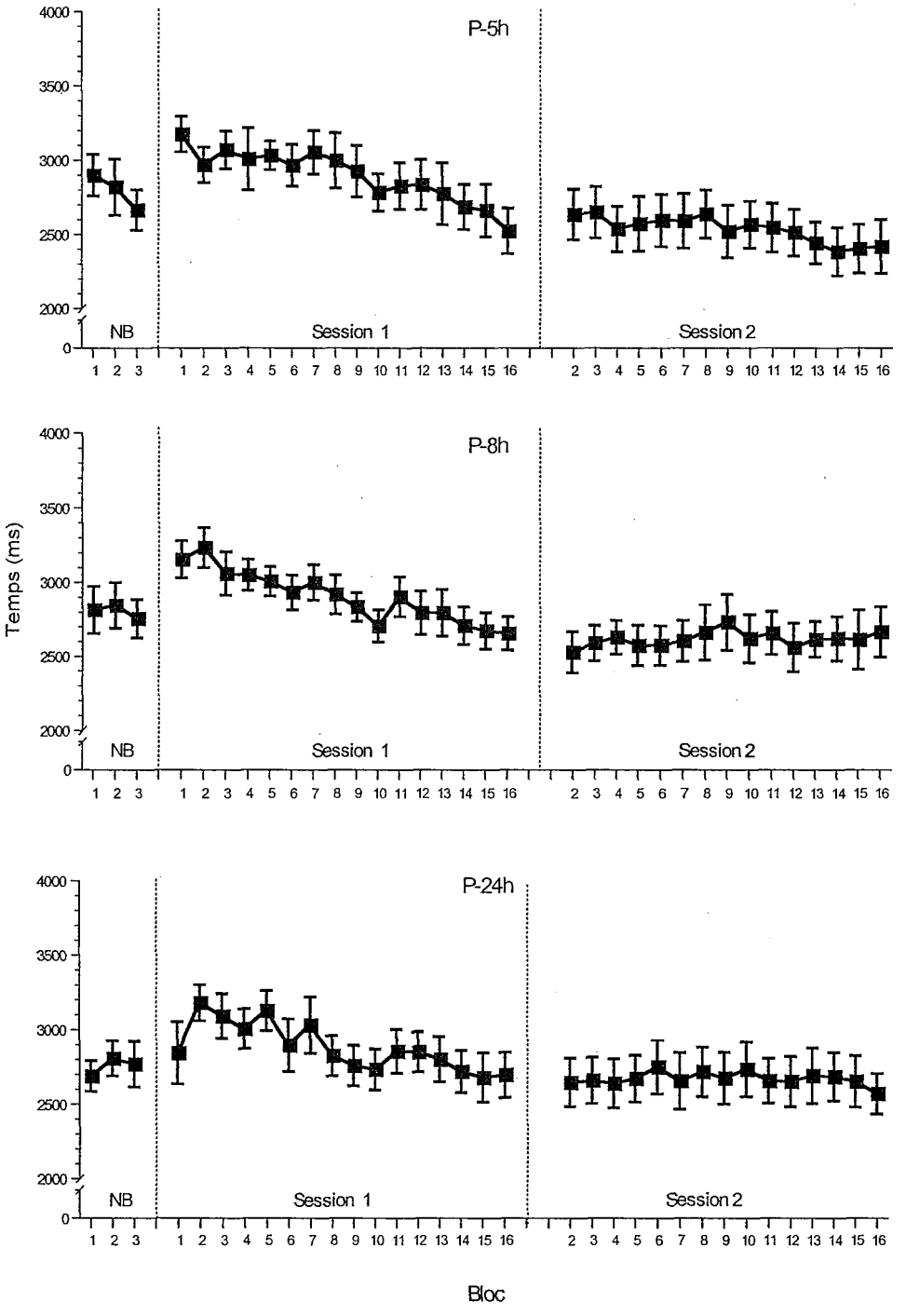


Figure 4.2.1. Temps moyen (ms) utilisé pour effectuer la tâche en fonction du schème paramétrique pour le niveau de base (NB) en condition directe et les Sessions d'apprentissage 1 et 2 en condition indirecte.

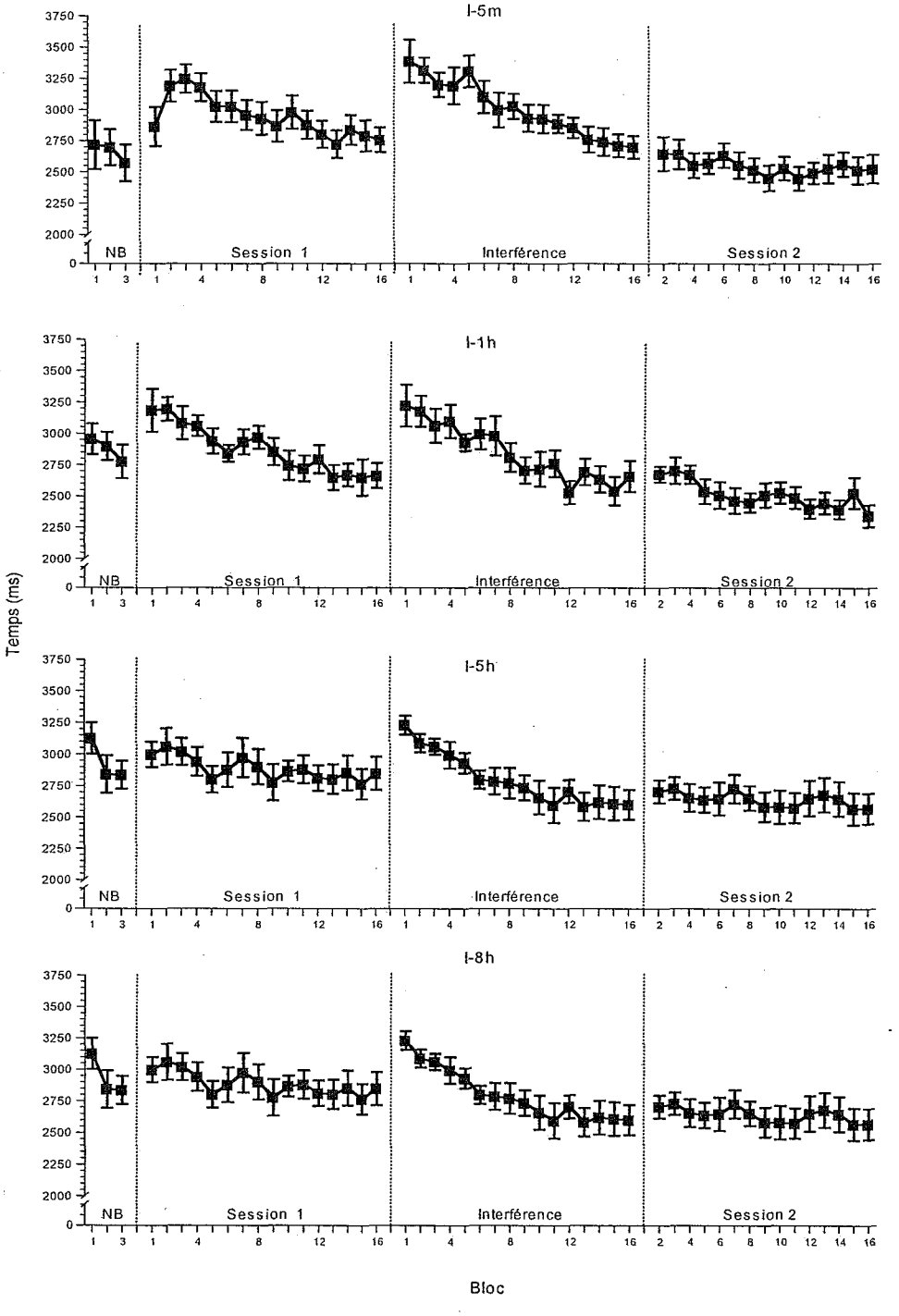


Figure 4.2.2. Temps moyen (ms) utilisé pour effectuer la tâche en fonction du schème avec interférence pour le niveau de base (NB) en condition directe et les Sessions d'apprentissage 1 et 2 en condition indirecte.

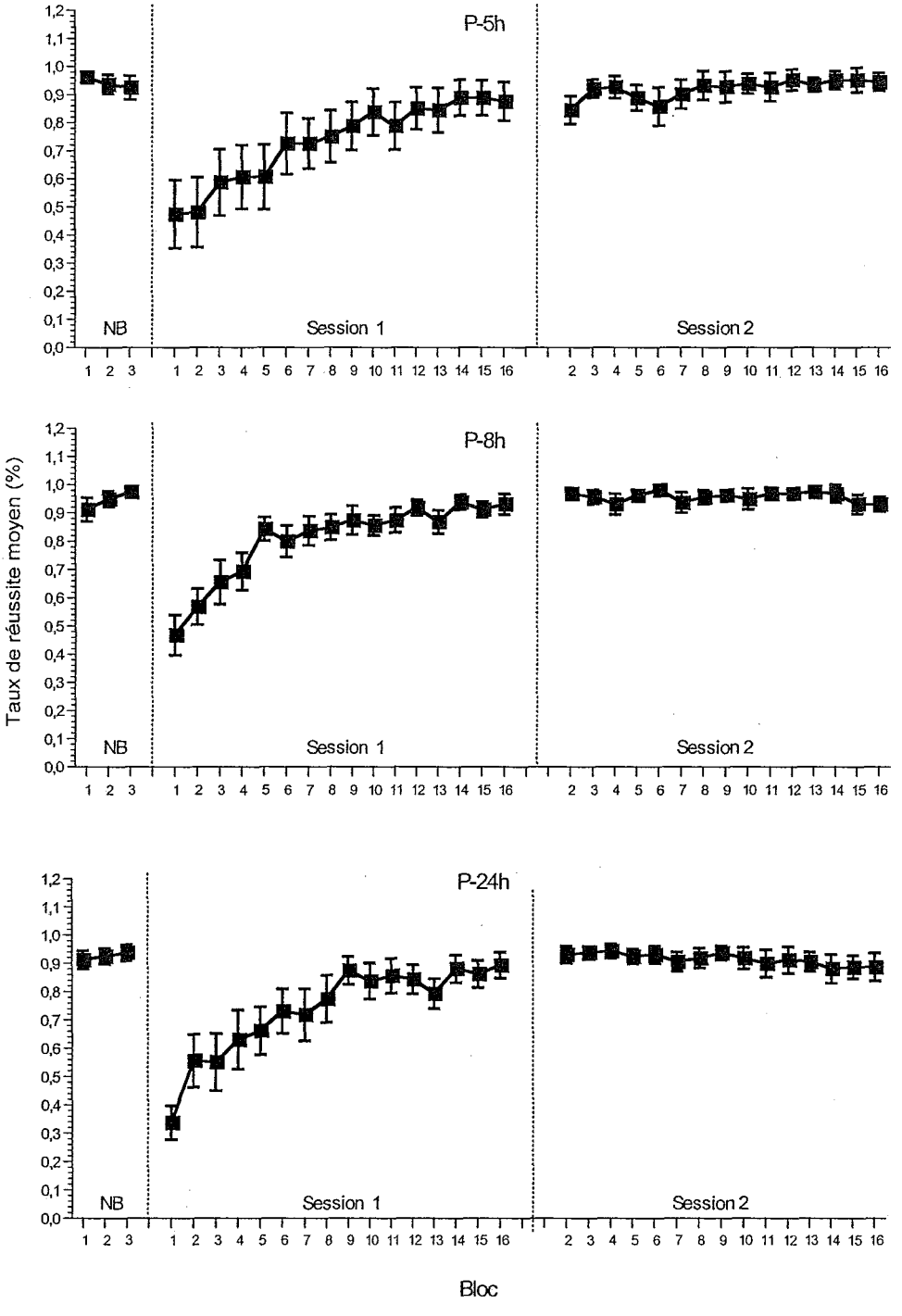


Figure 4.3.1. Taux de réussites moyen (%) en fonction du schème paramétrique pour le niveau de base (NB) en condition directe et les Sessions d'apprentissage 1 et 2 en condition indirecte.

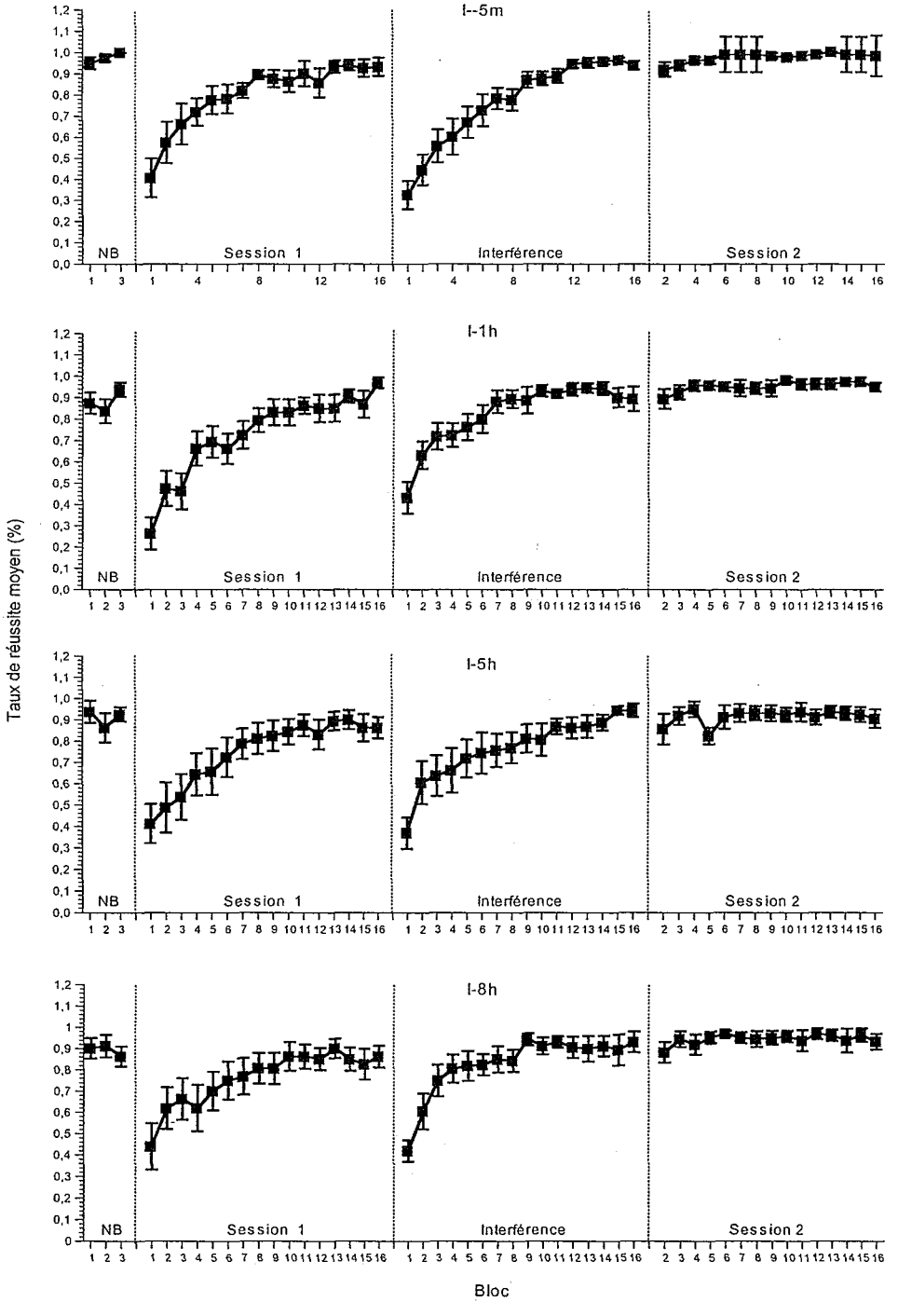


Figure 4.3.2. Taux de réussites moyen (%) en fonction du schème avec interférence pour le niveau de base (NB) en condition directe et les Sessions d'apprentissage 1 et 2 en condition indirecte.

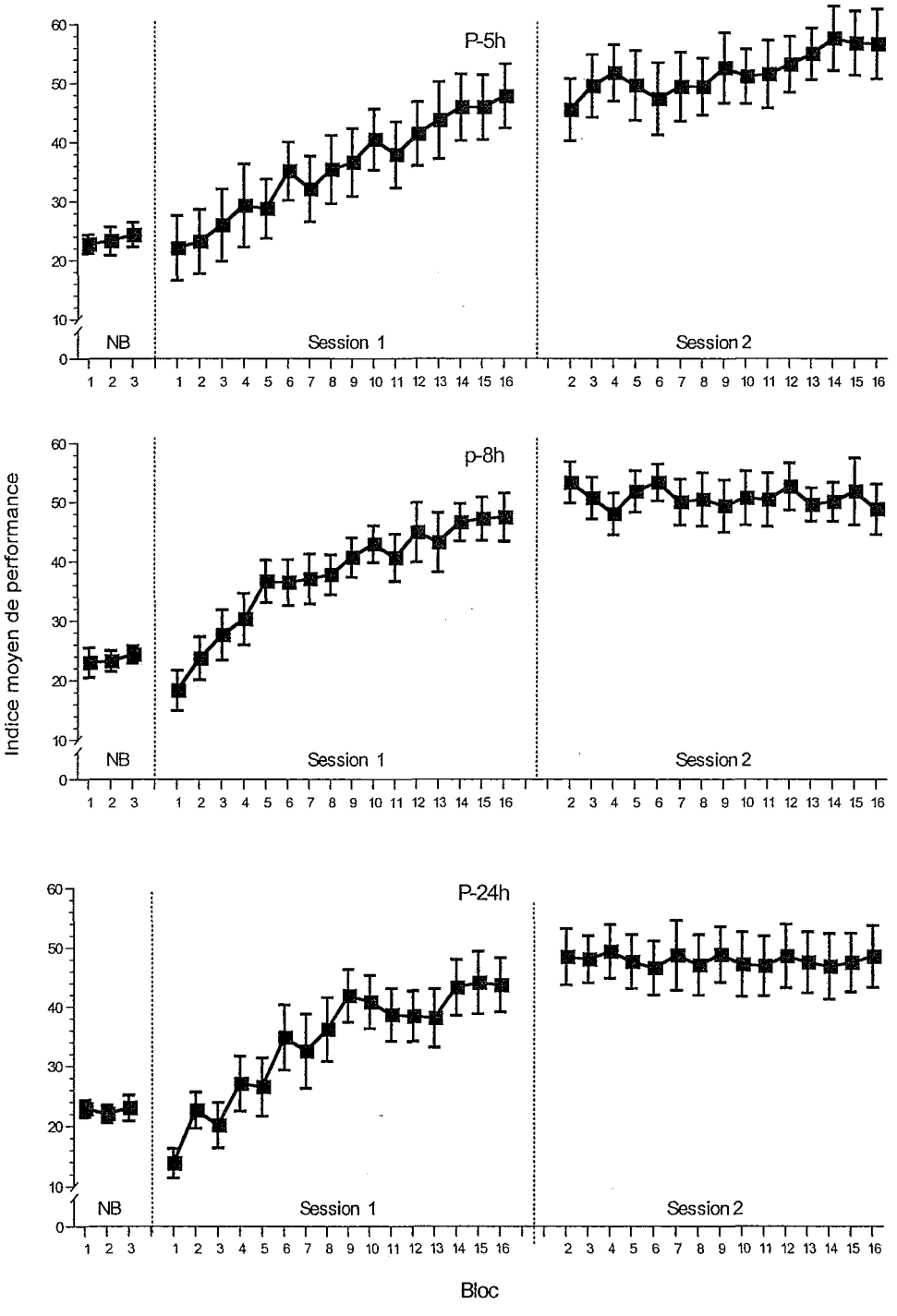


Figure 4.4.1. Indice moyen de performance [taux de réussites/(distance X temps)] en fonction du schème paramétrique pour le niveau de base (NB) en condition directe et les Sessions d'apprentissage 1 et 2 en condition indirecte.

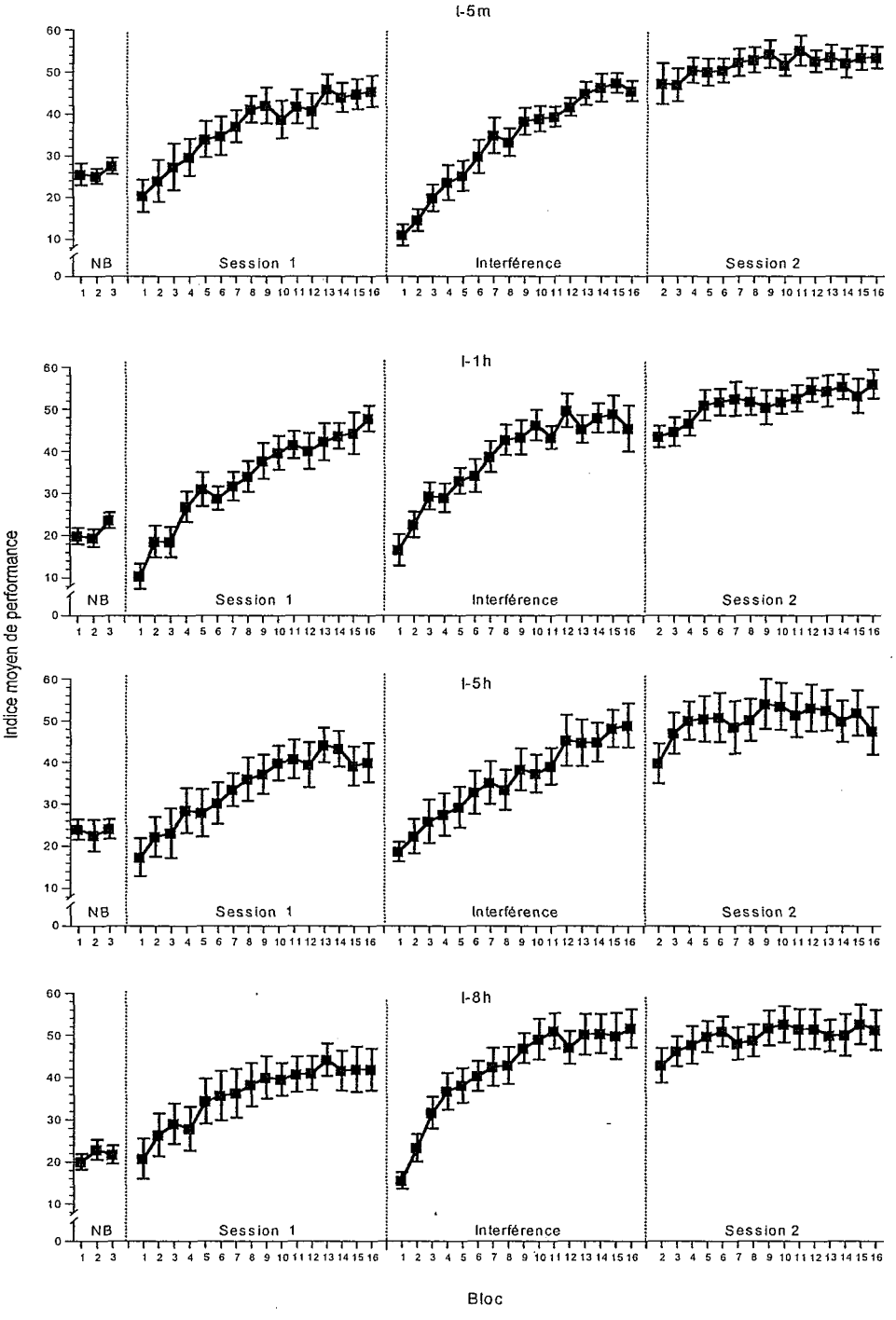


Figure 4.4.2. Indice moyen de performance [taux de réussites/(distance X temps)] en fonction du schème avec interférence pour le niveau de base (NB) en condition directe et les Sessions d'apprentissage 1 et 2 en condition indirecte.

La troisième analyse a pour but de démontrer que les participants ont appris la tâche d'adaptation sensori-motrice au cours des essais qui leur ont été accordés lors de la session d'acquisition. Une analyse de variance à mesures répétées (MANOVA) est effectuée à partir de la comparaison statistique des moyennes des deux premiers et des deux derniers blocs en condition indirecte de la première session pour les 4 indices de mesure séparément. Les résultats de la MANOVA n'identifient pas d'effet de Groupe significatif. Cependant, l'effet de Bloc est significatif, $F(6, 64) = 84.86$, $p<.05$, indiquant que l'adaptation sensori-motrice a bien été apprise au cours de la première session. Les analyses de variances (ANOVA) univariées indiquent une différence significative pour l'effet Bloc au niveau du temps, $F(6, 64) = 43.13$, $p<.05$, de la distance, $F(6, 64) = 10.43$, $p<.05$, du taux de réussites, $F(6, 64) = 307.06$, $p<.05$, et de l'indice de performance, $F(6, 64) = 200.96$, $p<.05$. L'interaction Bloc X Groupe n'est pas significative. Ces résultats démontrent que les participants ont appris la tâche d'adaptation sensori-motrice et ce, peu importe la condition.

La quatrième analyse s'intéresse au niveau de saturation des participants, exprimé par l'atteinte d'un niveau de performance asymptotique, à la fin de la première session d'apprentissage. Une analyse de variance à mesures répétées (MANOVA) est effectuée à partir des quatre derniers blocs en condition indirecte de la première session, et ce, pour les quatre indices de mesures. Ici, méthodologiquement, il a été choisi de travailler avec 4 blocs afin d'obtenir une certaine stabilité dans les résultats. Les résultats de cette MANOVA n'indiquent aucun effet significatif suggérant que la performance de tous les participants atteint une certaine saturation équivalente lors des derniers blocs d'essais de pratique de la première session d'entraînement.

La cinquième analyse vise à déterminer si une amélioration de la performance est observée lors de la deuxième session d'apprentissage. Une analyse de variance à mesures répétées (MANOVA) est effectuée à partir de la comparaison statistique de la moyenne des deux premiers blocs et de la moyenne des deux derniers blocs de la deuxième session d'entraînement en condition indirecte pour les 4 indices de mesures. Les résultats de la MANOVA n'identifient pas d'effet de Groupe significatif. Cependant, l'effet de Bloc est significatif, $F(6, 64) = 8.50$, $p<.05$, suggérant que la performance des participants s'améliore lors de la deuxième session d'entraînement. Les analyses de variances (ANOVA) univariées[5] indiquent une différence significative pour l'effet Bloc au niveau du temps, $F(6, 64) = 8.73$, $p<.05$, de la distance $F(6, 64) = 18.51$, $p<.05$, du taux de réussites, $F(6, 64) = 22.88$, $p<.05$, et de l'indice de performance, $F(6, 64) = 5.16$, $p<.05$. L'interaction Bloc X Groupe n'est pas significative suggérant ainsi que tous les participants démontrent la même amélioration lors de la deuxième session. Ensemble, ces résultats signifient que la performance des participants s'améliore au cours de la phase lente de l'apprentissage, et ce, même 24 heures plus tard.

La sixième analyse a pour but d'évaluer l'amélioration spontanée de la performance entre la première et la deuxième session de pratique à la tâche d'adaptation sensori-motrice (voir Figure 2.5). Une analyse de variance à mesures répétées (MANOVA) est effectuée à partir de la comparaison statistique de la moyenne des quatre derniers blocs en condition indirecte de la première session et celle du deuxième bloc en condition indirecte de la deuxième session pour les quatre indices de mesure. Encore une fois, méthodologiquement il a été choisi de poursuivre avec 4 blocs afin de miser sur la stabilité de la performance des participants à la fin de la première session d'entraînement. De plus, ce choix méthodologique tend à pallier pour la faiblesse méthodologique de Brashers-Krug et ses collaborateurs (Brashers-Krug et al., 1996) où l'on mesure la consolidation en comparant statistiquement les courbes entières de la première et de la deuxième session d'entraînement. D'autres parts, le premier bloc est enlevé tel que suggéré par Brashers-Krug et ses collaborateurs (Brashers-Krug et al., 1996) puisque qu'il consiste en une refamiliarisation avec la tâche. Les résultats de la MANOVA n'identifient pas d'effet de Groupe significatif. Cependant, l'effet de Bloc est significatif, $F(6, 64) = 3.20$, $p<.05$, ce qui suggère que les participants s'améliorent de façon spontanée, sans pratique additionnelle, au cours de la période de latence entre la première et la

[5] Les probabilités des ANOVA univariées sont tous corrigées avec le test de Greenhouse-Geisser

deuxième session d'entraînement. Les analyses de variances (ANOVA) univariées[6] indiquent une différence significative pour l'effet Bloc au niveau de la distance, $F(6, 64) = 7.32$, $p<.05$, et de l'indice de performance, $F(6, 64) = 9.88$, $p<.05$. L'interaction Bloc X Groupe n'est pas significative. Afin de déterminer lesquelles des trois conditions démontrent une amélioration spontanée de la performance, des tests t pairés ont été effectués à partir des mêmes données pour chacun des trois groupes. Les analyses sont basées sur l'indice de performance puisqu'il s'est avéré un bon estimé dans une tâche de poursuite de cibles (Flament et al., 1996; Simard et al. 1999a, 1999b). Les résultats démontrent une amélioration spontanée à l'indice de performance, à la suite d'une période de latence entre deux sessions d'entraînement à une adaptation sensori-motrice, pour les participants de la condition Paramétrique 24 heures (P-24h), $t(9) = -2.50$, $p<.05$ et Paramétrique 8 heures (P-8h), $t(9) = -4.08$, $p<.05$ mais pas à 5 heures.

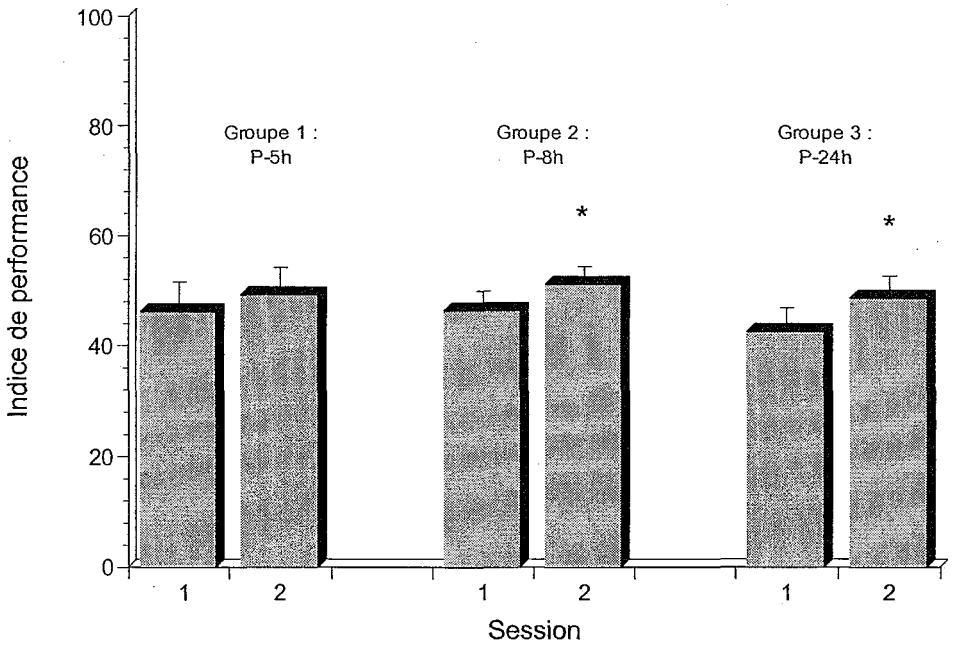


Figure 4.5. Amélioration spontanée de la performance à la suite d'une période de latence entre deux sessions d'entraînement à une tâche d'adaptation sensori-motrice d'un schème paramétrique telle que représentée par la fonction de l'indice moyen de performance.

[6] Les probabilités des ANOVA univariées sont tous corrigées avec le test de Greenhouse-Geisser

La septième analyse vise à démontrer l'équivalence des groupes formés aléatoirement au niveau de base lors du premier bloc de la condition interférente pour les quatre conditions interférentes (I-5m, I-1h, I-5h et I-8h). Une MANOVA a été effectuée à partir des résultats obtenus aux 4 indices de mesure. Les résultats de la MANOVA n'indiquent aucune différence significative entre ces quatre conditions ce qui indique que les participants sont tous équivalents au début de la tâche interférente quant à leur niveau d'habileté.

La huitième analyse vise à déterminer si les participants s'améliorent au cours de l'entraînement à la tâche interférente pour les quatre conditions avec interférentes (I-5m, I-1h, I-5h et I-8h). Une analyse de variance à mesures répétées (MANOVA) est effectuée à partir de la comparaison des deux premiers et des deux derniers blocs de la tâche interférente pour les 4 indices de mesures. Les résultats de la MANOVA n'identifient pas d'effet de Groupe significatif. Cependant, l'effet de Bloc est significatif, $F(3, 36) = 84.94$, $p<.05$, suggérant que l'adaptation sensori-motrice interférente a bien été apprise au cours de la session d'entraînement. Les analyses de variances (ANOVA) univariées[7] indiquent une différence significative pour l'effet Bloc au niveau du temps, $F(3, 36) = 73.68$, $p<.05$, de la distance, $F(3, 36) = 65.94$, $p<.05$, du taux de réussites, $F(3, 36) = 288.44$, $p<.05$, et de l'indice de performance, $F(3, 36) = 200.18$, $p<.05$. Toutefois, l'interaction Bloc X Groupe n'est pas significative. Ces résultats démontrent que les participants du schème interférent ont appris la tâche d'adaptation sensori-motrice interférente et ce, peu importe le temps de latence entre la première session d'entraînement et celle de la tâche interférente.

La neuvième analyse s'intéresse au transfert négatif de la tâche interférente sur l'apprentissage de la tâche initiale tel que conceptualisé par le schème expérimental interférent (Brashers-Krug et al., 1996). Cette analyse a pour but d'identifier, parmi les quatre groupes de ce schème expérimental (I-5m, I-1h I-5h et I-8h), une période de latence pour laquelle la tâche interférente, insérée entre la phase d'acquisition et le test de rétention, ne nuit pas à l'apprentissage de la tâche initiale motrice (cf. Figure 4.6). Pour ce faire, une analyse de variance (ANOVA) est effectuée à partir de la comparaison statistique de la moyenne des quatre derniers blocs en condition indirecte de la première session d'entraînement et celle des quatre premiers blocs de la tâche interférente pour les 4 indices de mesures. Les résultats de

[7] Les probabilités des ANOVA univariées sont tous corrigées avec le test de Greenhouse-Geisser

cette ANOVA indiquent une différence significative entre les conditions expérimentales du schème avec interférence pour le Taux de Réussites, $F(3, 36) = 4.28$, $p<.05$, et de l'Indice de Performance, $F(3, 36) = 4.38$, $p<.05$. Les tests post-hoc de Tukey HSD indiquent que les participants qui s'entraînent à la tâche interférente à la suite d'une période de latence de 5 minutes réussissent moins bien la seconde tâche que les participants qui bénéficient d'une période de latence de 8 heures. Ces résultats indiquent que le niveau d'interférence de la seconde tâche diminue significativement à la suite d'une période de latence de 8 heures après la première session d'entraînement à la tâche initiale.

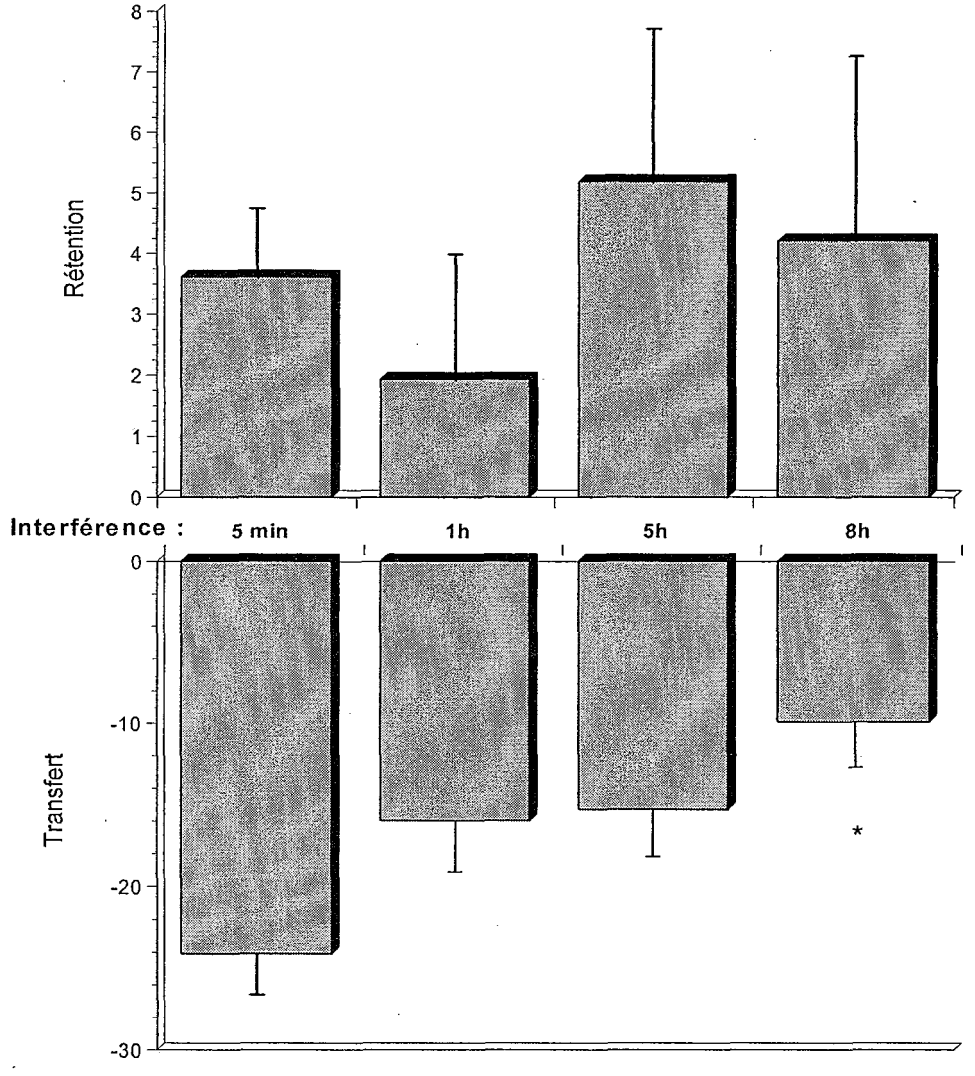


Figure 4.6. Rétention et Transfert négatif de l'apprentissage de la tâche initiale à la suite de l'administration d'une tâche interférente au cours de différentes périodes de latence entre deux sessions d'entraînement à une tâche d'adaptation sensori-motrice d'un schème avec interférence telle que représentée par la fonction de l'indice moyen de performance.

Enfin, la dernière analyse s'intéresse à la rétention de l'apprentissage de la tâche initiale au cours du test de consolidation telle que conceptualisée par le schème expérimental avec interférence (Brashers-Krug et al., 1996). Cette analyse a pour but d'identifier, parmi les quatre groupes de ce schème expérimental (I-5m, I-1h, I-5h et I-8h), une période de latence pour laquelle la tâche interférente, insérée entre la phase d'acquisition et le test de rétention, ne nuit pas à la consolidation de l'apprentissage de la tâche initiale (cf. Figure 4.6). Pour ce faire, une analyse de variance (ANOVA) est effectuée à partir de la comparaison statistique de la moyenne des quatre derniers blocs en condition indirecte de la première session d'entraînement et celle des quatre premiers blocs de la deuxième session d'entraînement à la tâche initiale pour les 4 indices de mesure. Les résultats de cette ANOVA n'indiquent aucune différence significative entre les conditions expérimentales du schème interférent ce qui suggère qu'aucun groupe de participants intégré au protocole avec interférence ne se démarque significativement lors du test de consolidation à la suite d'une période de latence de 24 heures.

Discussion

Le but de cette étude est de comparer l'effet des schèmes paramétriques et avec interférence sur la consolidation d'une adaptation sensori-motrice. Il est attendu qu'une période de latence de 5 heures insérée entre la phase d'acquisition et le test de rétention est nécessaire pour observer une amélioration spontanée de la performance à une tâche d'adaptation sensori-motrice avec ou sans l'utilisation d'une tâche interférente.

L'analyse des données effectuée à partir de la performance des participants au niveau de base en condition directe et indirecte démontre qu'il n'y a pas de différence entre les participants quant à leur niveau d'habileté au début de l'apprentissage de la tâche de poursuite de cible. L'analyse des données de la première session d'entraînement en condition indirecte démontre que la tâche d'adaptation sensori-motrice est apprise par les participants. Par ailleurs, l'analyse du niveau de saturation de la performance des participants démontre que tous les participants ont atteint un plateau au cours des quatre derniers blocs d'essais de pratique de la première session. L'analyse des données de la deuxième session d'entraînement démontre également que la performance des participants continue de s'améliorer lors de la deuxième session de pratique à la suite d'une période de latence dans un schème avec ou sans tâche interférente. Enfin, l'analyse des données démontre une amélioration spontanée de la

performance à la suite d'une période de latence de 24 heures entre la première et la deuxième session de pratique d'une tâche d'adaptation sensori-motrice pour les participants des groupes Paramétrique 8 et 24 heures. Ces résultats suggèrent que le phénomène de consolidation prend place au cours d'une période de latence de 5 à 8 heures dans un paradigme paramétrique pour cette tâche d'adaptation sensori-motrice.

Ces résultats ne sont pas tout à fait conforment à l'hypothèse de départ qui stipule qu'une période de latence de 5 heures insérée entre la phase d'acquisition et le test de rétention est nécessaire et suffisante pour observer une amélioration spontanée de la performance à une tâche d'adaptation sensori-motrice. Par contre, l'amélioration spontanée de la performance à la suite d'une période de latence de 8 et 24 heures entre deux sessions d'entraînement est congruente avec les résultats de Simard, Barré, Tremblay et Doyon (1999) et de Barré, Simard, Tremblay et Doyon (1999) en ce qui concerne les études 1 et 2 de cette thèse.

L'analyse des données de la tâche interférente démontre qu'il n'y a pas de différence, entre les participants des conditions du schème expérimental avec interférence (I-5m, I-1h, I-5h et I-8h), quant à leur niveau d'habileté au début de l'apprentissage d'une tâche semblable, mais conflictuelle. Les données obtenues au sein du schème interférent indiquent également que la tâche interférente est apprise au cours de la session intermédiaire d'entraînement. Conformément aux analyses effectuées par Brashers-Krug et ses collaborateurs (1996) l'analyse du transfert négatif, c'est-à-dire, l'incapacité d'une tâche interférente de nuire à l'apprentissage initial, suggère que la seconde tâche a significativement moins d'impact sur la performance des participants du groupe Interférent de 8 heures que sur le groupe Interférent de 5 minutes. Ces résultats indiquent que l'interférence proactive de la seconde tâche diffère significativement à la suite d'une période de latence de 8 heures entre l'apprentissage des deux tâches. Par contre, l'analyse de rétention, c'est-à-dire, l'état de l'apprentissage initial au cours de la deuxième session d'entraînement, ne suggère pas de différence significative entre les conditions du schème interférent quant au niveau de performance atteint à la suite de l'apprentissage de la seconde tâche dite interférente et d'une période de latence de 24 heures entre les deux sessions d'entraînement. Ces résultats indiquent que l'interférence rétroactive de la seconde tâche motrice ne diffère pas significativement au cours de la période de latence de 8 heures entre l'apprentissage des deux tâches.

Encore une fois, ces résultats ne sont pas tout à fait conforment à l'hypothèse de départ qui stipule qu'une période de latence de 5 heures insérée entre la phase d'acquisition et le test de rétention est nécessaire pour observer une amélioration spontanée de la performance à une tâche d'adaptation sensori-motrice. De plus, les résultats obtenus ne sont pas tout à fait conforment à ceux de Brashers-Krug et ses collaborateurs (1996) qui démontraient une corrélation importante entre le transfert négatif et la rétention dans un paradigme avec interférence. Malgré une interférence rétroactive semblable dans l'ensemble des conditions, les données suggèrent que les participants maintiennent un certain niveau de performance lors du test de rétention. Ainsi, les résultats de la présente étude sont tout de même congruents avec ceux de Shadmehr & Holcomb (1997) qui décrivent la consolidation par une certaine stabilisation de la performance qui s'exprime par le maintien des acquis à un niveau supérieur à celui obtenu lors des premiers blocs de pratique de la session initiale d'apprentissage.

En sommes, la similarité des conclusions qui découlent de l'analyse des données des schèmes paramétriques et avec interférence réconcilie ces deux approches quant à la méthodologie et à la conception même du phénomène de consolidation. Ainsi, malgré leurs différences intrinsèques, ces deux approches se révèlent comme étant deux façons de mesurer un seul et unique processus neuro-anatomique qui opère immédiatement lors d'une familiarisation avec la tâche et qui se poursuit suite à l'entraînement. De plus, les données de la présente étude sont également cohérentes avec les résultats de certaines études qui suggèrent que le simple passage du temps (Brashers-Krug et al., 1996; Jackson et al., 1997; Karni & Sagi, 1993; Shadmehr & Holcomb, 1997) est suffisant pour favoriser le phénomène de consolidation. Enfin, conformément aux données issues de ces études (Brashers-Krug et al., 1996; Jackson et al., 1997; Karni & Sagi, 1993; Shadmehr & Holcomb, 1997), les données obtenues ici suggèrent que le phénomène de consolidation prend tout son sens à la suite d'une période de latence de 5 à 8 heures. Malheureusement, ces données ne permettent pas d'identifier de façon plus précise la fenêtre temporelle des mécanismes de consolidation telle qu'exprimée par la période de latence nécessaire entre deux sessions d'entraînement à une tâche d'adaptation sensori-motrice. Ce qui devrait faire l'objet éventuel d'une étude systématique, pour l'instant, le prochain chapitre s'intéresse à la caractérisation du rôle du striatum et du cervelet dans la consolidation d'une adaptation sensori-motrice.

CHAPITRE 5

ÉTUDE 4

Caractérisation du rôle du striatum et du cervelet dans la consolidation d'une adaptation sensori-motrice

De nombreuses études effectuées chez les animaux et chez l'humain ont permis de comprendre la nature des processus cognitifs et d'analyser le substrat anatomique impliqué dans les phases rapides et lentes de l'acquisition d'une nouvelle habileté motrice ou de la représentation interne d'une nouvelle habileté motrice (Bloedel, Barcha, Kelly & Wu, 1990; Classen, Liepert, Wise, Hallett & Cohen, 1998; Dorris, Paré & Munoz, 2000; Doyon et al., 1996, 1997, 1998, 2002; Flament et al., 1996; Fernandez-Ruiz et al., 1998; Gabrieli et coll., 1997; Grafton et al., 1992, 1994; Imamizu et al., 1995, 2000; Karni et al., 1995, 1998; Krebs et al., 1998; Muellbacher et al., 2001, 2002; Penhune & Doyon, 2002; Thach et al., 1992; Seitz et al., 1990; Shadmehr & Holcomb, 1997, 1999; Vergara et al., 1999; Wolpert et al., 1995; Willingham, 1998; Willingham et al., 1996). Plusieurs structures cérébrales telles que le striatum, le cervelet et les régions motrices des lobes frontaux sont considérées comme étant essentielles durant la phase d'acquisition et lors de la rétention des différentes habiletés motrices (Doyon, 1997; Doyon & Ungerleider, 2002, 2003; Doyon et al., 2003; Karni 1996). Entre autres, certaines études anatomiques ont mis à jour deux systèmes distincts qui facilitent l'acquisition d'une nouvelle habileté motrice, la boucle cortico-striato-thalamo-corticale et la boucle cortico-cerebello-thalamo-corticale (Middlton & Strick, 1997; Picard & Strick, 1996). L'existence de ces deux boucles est appuyée par plusieurs données issues d'études de populations cliniques souffrant de lésions cérébrales spécifiques distinctes au niveau des régions striatales (maladie de Parkinson & Huntington) et cérébelleuses (ataxie, atrophie (Agostino et al., 1996; Doyon et al., 1997, 1998; Gabrieli et al., 1997) des études neurophysiologiques chez les primates (Gandolfo et al., 2000; Li, Padoa-Schioppa & Bizzi, 2001; Nudo et al.,1996) et dernièrement de nombreuses études par imagerie cérébrale chez l'humain (voir Doyon, 1997; Doyon & Ungerleider, 2002, 2003; Doyon et al., 2003; Karni, 1996).

Des données récentes suggèrent que ces deux boucles interagissent au cours des différentes phases de l'apprentissage. Ainsi, certaines études démontrent, à l'aide de l'analyse de l'activité cérébrale à l'aide de la TEP, que la phase intermédiaire de consolidation corrèle avec le passage de l'activité cérébrale au niveau des régions striatales impliquées dans l'apprentissage, aux régions cérébelleuses impliquées dans l'adaptation des mouvements par rétroaction sensorielle et dans l'automatisation d'une adaptation sensori-motrice dans un paradigme sans tâche interférente (Krebs et al., 1998; Shadmehr & Holcomb, 1997).

Très récemment, comme suite à une analyse minutieuse de ces nombreuses études, Doyon et Ungerleider (2002) ont proposé un nouveau modèle d'acquisition et de rétention de l'apprentissage d'habileté motrice qui tient compte des phases de l'apprentissage ainsi que de la nature des tâches utilisées et des processus sollicités. Ainsi, lors de l'acquisition d'une habileté, pendant la phase rapide, l'apprentissage d'habiletés motrices séquentielles et l'adaptation sensori-motrice reposent tous deux sur le striatum, le cervelet, les régions motrices corticales de même que sur les régions préfrontales et pariétales (Doyon & Ungerleider, 2002; Doyon et al., 2003). Par contre, au fur et à mesure que l'apprentissage s'effectue et qu'un degré d'expertise est développé, les habiletés motrices séquentielles reposent davantage sur le striatum et les régions motrices corticales alors que le cervelet ne serait plus essentiel. À l'opposé, l'apprentissage d'habiletés par adaptation sensori-motrice reposerait sur le cervelet et les régions motrices corticales alors que le striatum deviendrait moins essentiel (Doyon & Ungerleider, 2002).

Bien qu'innovatrices, ces découvertes ne permettent pas de mesurer l'implication nécessaire et suffisante des boucles cortico-striato-thalamo-corticale et cortico-cerebello-thalamo-corticale dans l'apprentissage d'habiletés motrices et principalement ici dans l'adaptation sensori-motrice. Il est donc primordial de compléter les données actuelles à l'aide d'études réalisées auprès de populations cliniques porteuses de lésions cérébrales circonscrites différentes avant de pouvoir statuer de façon précise sur l'implication des structures étudiées dans les phases de l'apprentissage ou dans un processus cognitif dynamique qui prend place à la suite d'une période de latence insérée entre deux sessions d'entraînement à une habileté motrice.

L'humain se démarque de façon impressionnante entre autres, par l'acquisition d'un vaste répertoire d'habiletés motrices fondamentales (Grafton et al., 1994; Wolpert, Miall & Kawato, 1998), dans la vie de tous les jours (Doyon, Penhune & Ungerleider, 2003; Doyon & Ungerleider, 2002; Willingham, 1998). Malgré l'ensemble de la littérature qui démontre élégamment que la mémoire procédurale se conserve bien au cours du vieillissement normal et même pour une grande partie au cours du vieillissement pathologique (Laforce & Doyon, 2001, 2002), plusieurs études récentes suggèrent que l'acquisition d'une habileté motrice, entre autres par adaptation sensori-motrice, est compromise avec l'avancement en âge des participants. Par exemple, les collaborateurs de Bickford (Bickford, 1995; Bickford, Shukitt-Hale & Joseph, 1999) se sont intéressés aux mécanismes associés aux difficultés d'apprentissage d'habiletés motrices reliées au vieillissement normal chez le rat. Ils soulignent entre autres, que la norépinéphrine joue un rôle important dans la plasticité cérébelleuse qui opère grâce aux récepteurs béta-adrénergiques et qu'il y a une corrélation entre la perte des récepteurs béta-adrénergiques modulés par l'action de la norépinéphrine au niveau du cervelet et les difficultés d'apprentissage de l'habileté motrice (rod walking task).

Chez l'humain, Etnier et Landers (1998) proposent entre autres, que les jeunes participants (20 à 30 ans) réussissent mieux et démontrent un apprentissage supérieur aux participants âgés à une tâche de dessin miroir. Dans le même ordre d'idées, Fernandez-Ruiz, Hall, Vergara & Diaz (2000), rapportent que les participants âgés obtiennent une plus grande variance dans l'efficacité au lancer de fléchettes. De plus, ils s'adaptent plus lentement à la même tâche lors du port de lunette munie de prismes. Enfin, lors du retrait des lunettes, ils démontrent un plus grand effet de retour à la tâche (after-effect) pour un niveau comparable d'adaptation.

Au niveau clinique, certaines études se sont attardées à l'acquisition d'une nouvelle habileté motrice, plus spécifiquement par adaptation sensori-motrice, à la suite d'une dysfonction striatale (maladie de Parkinson ou Huntington) ou encore à la suite d'une lésion circonscrite au niveau du cervelet. Tach, Goodkin et Keating (1992) indiquent que deux participants cliniques, porteurs d'une atrophie au niveau inférieure du noyau olive, ne peuvent s'adapter, malgré une performance normale à la condition de base, lors d'une tâche de lancer de fléchettes dans une condition expérimentale où la vision est perturbée par des lunettes munies de prismes. Gabrieli, Stebbins, Singh, Willingham & Goetz (1997) ont démontré que des participants atteints d'une dysfonction striatale (maladie de Huntington) réussissent adéquatement la tâche de dessin miroir alors qu'ils ne montrent pas d'apprentissage à la tâche de poursuite rotatoire. En utilisant le même paradigme d'adaptation sensori-moteur que Shadmehr et ses collaborateurs (Brashers-Krug et al., 1996; Krebs et al., 1998; Shadmehr & Brashers-Krug, 1997; Shadmehr & Holcomb, 1997, 1999), Krebs, Hogan, Hening, Adamovich & Poizner (2001) expliquent que le taux de réussite des participants atteints d'une dysfonction striatale (maladie de Parkinson) décroît par rapport à celui des participants contrôles. De plus, les résultats mettent en lumière une différence significative lors du passage d'un champ de force à un autre suggérant ainsi que le striatum est l'une des structures cérébrales impliquées dans l'adaptation d'un patron moteur. Enfin, dans une série d'expériences, Laforce et Doyon (2001, 2002), démontrent que contrairement aux participants porteurs de lésions cérébrales circonscrites au cervelet, les participants atteints d'une dysfonction striatale bilatérale réussissent adéquatement la tâche de dessin miroir alors qu'ils éprouvent des difficultés à une tâche de séquence motrice (Laforce & Doyon, 2001). De plus, conformément aux résultats de Krebs et ses collaborateurs (2001), les résultats de Laforce et Doyon (2002) démontrent que l'atteinte bilatérale des structures striatales (maladie de Parkinson) affecte l'adaptation à un nouveau patron moteur.

Ces données psychophysiques et neuropsychologiques sont appuyées par de récentes études par imagerie cérébrale. Par exemple, Sawaki, Yaseen, Kopylev & Cohen (2003) suggèrent que la plasticité cérébrale du cortex moteur primaire diminue avec l'âge. Dans deux revues de littérature portant sur l'imagerie cérébrale et le vieillissement, d'autres chercheurs décrivent une perte substantielle de la fonction dopaminergique chez les personnes atteintes de la maladie de Huntington de même que lors du vieillissement normal (Backman & Farde, 2001) alors que Kaasinen & Rinne (2002) proposent que des changements au niveau du système dopaminergique modulent certains déficits cognitifs qui apparaissent chez les personnes atteintes de la maladie de Parkinson, de même que lors du vieillissement normal. De plus, dans une série d'études prospectives Raz et ses collaborateurs (Raz, Torres, Spencer, White & Acker, 1992; Raz, Dupuis, Biggs, McGavran & Acker, 1998; Raz, Gunning-Dixon, Head, Williamson & Acker, 2001) démontrent l'existence d'une atrophie au cours du vieillissement normal qui intéresse les régions cérébelleuses et les régions ventrales pontines. Les études de Raz et de son groupe suggèrent également que le cervelet et le pons sont plus volumineux chez l'homme que chez la femme; cette différence étant plus appréciable au niveau des hémisphères cérébelleux et de la région antérieure du vermis.

De façon générale, les études relevées dans le Chapitre 1 (Brashers-Krug et al., 1996; Jackson et al., 1997; Shadmehr & Holcomb, 1997), de même que l'Étude 3 de la présente thèse, suggèrent qu'une période de latence de 4 à 8 heures est nécessaire pour que la représentation interne de l'apprentissage d'habileté motrice passe d'un état fragile à un état plus stable et résistant chez de jeunes participants sains. Par contre, à notre connaissance, aucune étude clinique ne s'est intéressée à la consolidation de l'apprentissage d'une habileté motrice, par adaptation sensori-motrice par exemple, chez des individus atteints d'une dysfonction striatale (maladie de Parkinson), porteurs de lésions cérébrales impliquant le cervelet (ataxie ou atrophie cérébelleuse) ou tout simplement au niveau du vieillissement normal.

La présente étude a pour but de déterminer le caractère essentiel et suffisant du rôle du striatum et du cervelet dans la consolidation d'une adaptation sensori-motrice. Contrairement aux patients atteints de la maladie de Parkinson, il est attendu que les patients avec lésions cérébrales circonscrites au cervelet ne démontreront pas une amélioration spontanée à la suite d'une période de latence de 24 heures entre la première et la deuxième session d'apprentissage d'une habileté. De plus, un niveau de consolidation supérieur est attendu en ce qui concerne les jeunes participants contrôles comparativement aux participants contrôles plus âgés.

Méthode

Participants

Cette étude est réalisée à partir de deux échantillons de participants provenant de populations cliniques. Le premier échantillon clinique est constitué de participants au Stade 2 ou 3 de l'évolution de la maladie de Parkinson laquelle affecte le système dopaminergique nigro-strié. Ces participants sont recrutés par l'entremise de la Dre Émmanuelle Pourcher, neurologue à la Polyclinique Sainte-Anne, clinique associée au Centre Hospitalier Affilié (CHA) à l'Université Laval, pavillon Centre Hospitalier de l'Enfant Jésus. Le deuxième échantillon clinique est constitué de patients porteurs de lésions cérébrales circonscrites au cervelet (atrophie cérébelleuse pure documentée). Ces participants sont recrutés par l'entremise du Dr Jean-Pierre Bouchard, neurologue au pavillon de l'Enfant-Jésus du CHA. La performance des participants de ces échantillons cliniques est comparée à la performance de deux groupes contrôles. Ces participants sont jumelés sur la base des variables âge et sexe aux participants des deux populations cliniques. Les participants des deux groupes contrôles sont issus de la population saine générale. Ils sont recrutés par le biais de publicité dans les médias, auprès de l'entourage des patients recrutés ainsi que dans l'entourage immédiat universitaire et social. Les quarante participants (voir Tableau 5.1) sont soumis à un court protocole neuropsychologique afin d'éviter d'inclure des individus atteints de démence, de dépression ou de toutes autres conditions psychiatriques ou neurologiques qui pourraient nuire à l'acquisition d'une adaptation sensori-motrice.

La batterie neuropsychologique est composée d'un test de préférence manuelle, de l'examen mental (MMS) de Folstein (Folstein & Mc Hugo, 1975), des tests Empan de chiffres et Empan spatiale de l'Echelle clinique de Mémoire de Weschler (WMS-R) vendus chez Psychological Corporation, du test de motricité fine de Purdue vendu chez l'Institut de Recherches Psychologiques, du test d'organisation visuo-spatiale de Hooper vendu chez Western Psychological Services et de l'inventaire de dépression de Beck (IDB) vendu chez Psychological Corporation.

Variables		Cont. âgés	Parkinsoniens	Jeunes cont.	Cérébelleux
Âge		63 (8.7)	62.8 (5.9)	38.6 (7.4)	38 (6.1)
Sexe		4 femmes	4 femmes	6 femmes	6 femmes
		6 hommes	6 hommes	4 hommes	4 hommes
Scolarité		14.2 (3.9)	11.6 (3.9)	16.4 (3.3)	11.6 (3.2)
Dominance latérale		19.2 (3.8)	18.6 (1.3)	26.8 (18.7)	25.8 (21.2)
				2 gauchers	1 gaucher
Folstein (Mini-Mental, 2 MS)		28.6 (1.3)	28.3 (1.8)	29.8 (0.4)	29.4 (1.1)
Empan	Auditif	14 (4.9)	14.9 (3.5)	14.5 (4.2)	13.1 (2.1)
	Visuelle	12.7 (2.4)	11.9 (3.1)	17.3 (2.7)	13.2 (3.5)
Motricité	Préférée	26.1 (4.3)	18.5 (5.9)	28 (5.2)	14.9 (3.6)
	Non-Préférée	25.3 (3.8)	18.7 (5.8)	27.8 (4.7)	12.1 (2.9)
	Deux mains	21.6 (3.1)	14.2 (4.9)	22.4 (2.9)	11.0 (3.0)
Hooper		25.0 (3.9)	21.6 (7.1)	26.8 (1.9)	25.6 (2.5)
IDB		5 (3.4)	11.7 (6.9)	6.8 (6.4)	7.6 (7.2)

Tableau 5.1. Tableau résumé des moyennes et écarts-types obtenus à partir des données démographiques et neuropsychologiques pour l'ensemble des 4 groupes de participants.

Des analyses de variance (ANOVA) ont également été effectuées à partir des données démographiques et neuropsychologiques obtenues auprès des quatre groupes de participants. La première ANOVA compare les participants contrôles âgés et les participants atteints d'une dysfonction striatale. Une différence significative est observée pour les trois indices de motricité fine : « Préférée », $F(2, 18) = 10.80$, $p<.05$, « Non-Préférée », $F(2, 18) = 9.11$, $p<.05$ et « Deux mains », $F(2, 18) = 16.43$, $p<.05$ ainsi que pour le questionnaire d'auto-évaluation de la dépression de Beck (IDB), $F(2, 18) = 7.65$, $p<.05$. Ainsi, les participants atteints d'une dysfonction striatale réussissent moins bien au niveau des trois indices de motricité fine et rapportent plus de symptômes de dépression que les participants contrôles âgés. Le problème de motricité fine était prévisible et même souhaité pour démontrer la différence entre les deux groupes. Toutefois, il est important de préciser que, malgré une différence significative entre les deux groupes sur l'IDB, les participants atteints de dysfonction striatale ne sont pas dépressifs pour autant. En effet, un résultat moyen de 11,7 situe encore le niveau de dépression comme étant minime. De plus, ce questionnaire a été choisi pour caractériser l'échantillon sur différents symptômes psychiatriques, parce qu'il est rapide et simple à utiliser et pour éliminer les participants nettement dépressifs. Néanmoins, ce questionnaire est reconnu pour renfermer des items que plusieurs personnes atteintes de dysfonction striatale ou non peuvent endosser sans pour autant être dépressif. Le résultat de 5 à 7 pour les participants contrôles en est la preuve directe. La deuxième ANOVA compare les participants contrôles jeunes et les participants porteurs d'une lésion circonscrite au cervelet. Une différence significative est observée pour les trois indices de motricité fine : « Préférée », $F(2, 18) = 42.56$, $p<.05$, « Non-Préférée », $F(2, 18) = 81.41$, $p<.05$ et « Deux mains », $F(2, 18) = 72.02$, $p<.05$ ainsi que pour l'empan visuel, $F(2, 18) = 8.81$, $p<.05$ et le niveau de scolarité, $F(2, 18) = 10.87$, $p<.05$. Ainsi, les participants porteurs d'une lésion circonscrite au cervelet sont moins scolarisés, réussissent moins bien au niveau des trois indices de motricité fine et ont un empan visuel moins grand que les jeunes participants contrôles. Une analyse non paramétrique (Chi-carré) a été effectuée à partir de la variable « sexe », cette analyse ne s'avère pas significative suggérant ainsi que le nombre de participants masculins et féminins est équivalent à travers le processus de répartition non aléatoire des groupes.

Matériel

Le matériel utilisé dans la présente étude est identique à celui utilisé pour les études précédentes. Toutefois, l'expérimentation est effectuée au domicile des participants afin d'accommoder la participation des populations cliniques. Ainsi, l'ordinateur habituel est remplacé par un portable Compaq Armada 1700 muni d'un processeur pentium II et d'un port jeu sous forme de carte PCMCIA vendu sous le nom de Basics (model 404-0014-999) par la compagnie New Media Corporation.

Procédure

La procédure utilisée dans la présente étude est semblable à celle utilisée pour l'Étude 1. Cependant, pour la présente étude, tous les participants bénéficient de 16 blocs de pratique lors de chacune des deux sessions d'entraînement. De plus, pour maximiser les chances d'observer une courbe d'apprentissage au niveau de la performance des participants issus de populations cliniques, le temps limite pour atteindre la cible est augmenté à dix secondes au lieu de 5. Donc, les deux populations cliniques bénéficient de 10 secondes pour atteindre la cible alors que les deux groupes contrôles n'ont que 5 secondes comme dans les études précédentes. Les critères de performance sont également abaissés. Les participants doivent maintenant produire une performance équivalente à 50-60 % de taux de réussites lors de la pratique en condition directe avant de débuter les essais expérimentaux, et ce, comparativement au 90 % des études antérieures. Enfin, les consignes, pour la tâche A, administrées aux participants sont axées sur la combinaison de la Vitesse et de la Précision d'exécution (Annexe 8).

Résultats

Les résultats sont compilés de la même façon dans cette étude que dans l'Étude 1. Par contre, les analyses concernent plus spécifiquement l'indice de performance général puisqu'il s'est avéré un bon estimé de l'apprentissage dans une tâche de poursuite de cibles ainsi que dans les études précédentes qui composent cette thèse (Flament et al., 1996; Simard et al. 1999a, 1999b). Par ailleurs, une analyse supplémentaire est ajoutée pour comparer les résultats des jeunes participants contrôles à ceux des participants plus âgés. Les données descriptives sont présentées sous forme graphique dans la Figure 5.1.

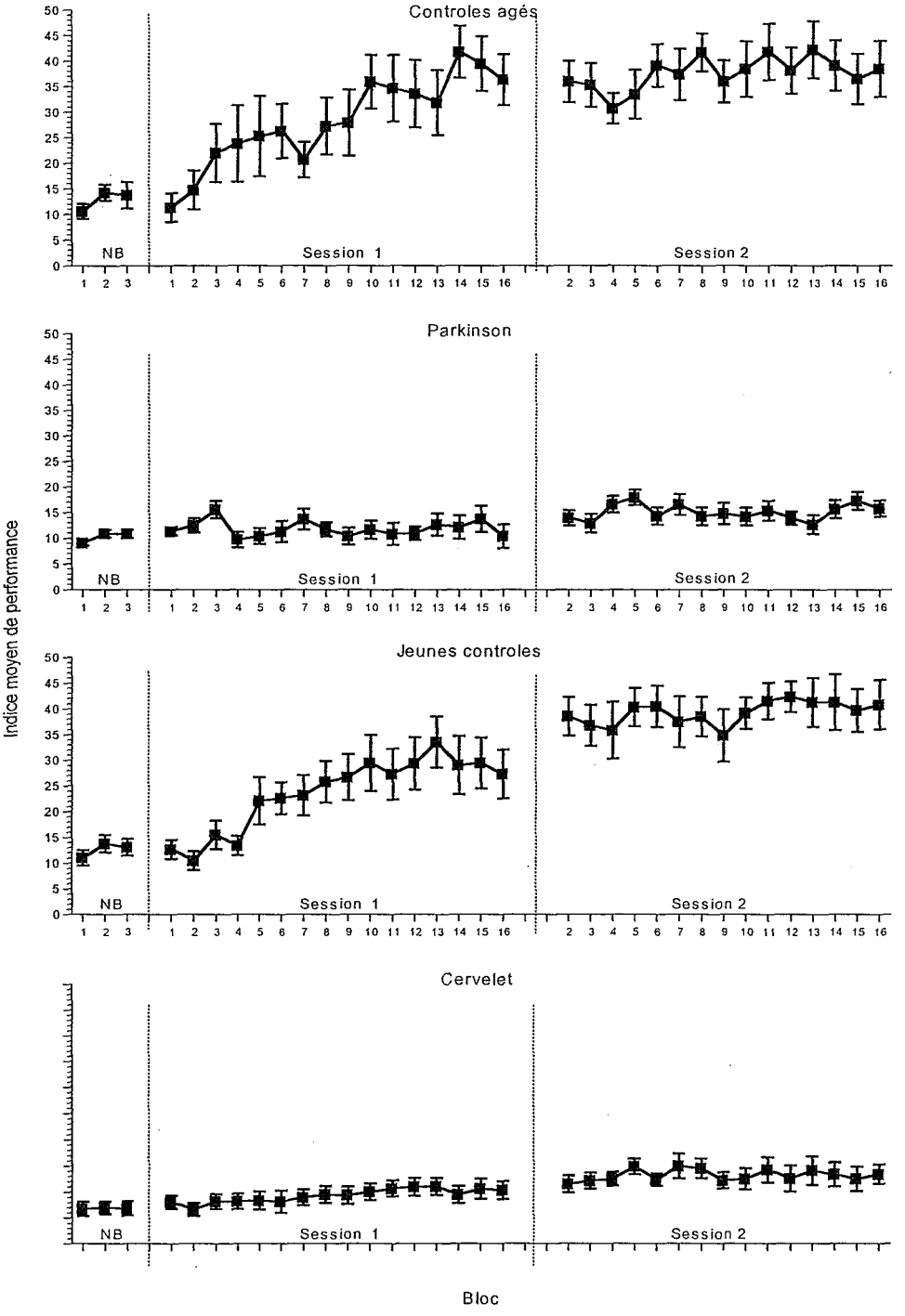


Figure 5.1. Indice moyen de performance [taux de réussites/(distance X temps)] en fonction des atteintes neurologiques pour le niveau de base (NB) en condition directe et les Sessions d'apprentissage 1 et 2 en condition indirecte.

La première analyse statistique effectuée vise à démontrer l'équivalence des quatre groupes de participants formés par le recrutement, au niveau de base lors de la condition directe. Les résultats de la MANOVA indiquent un d'effet de Groupe significatif, $F(3, 36) = 8.79$, $p<.05$, suggérant ainsi que certains participants sont meilleurs que d'autres lors des trois premiers blocs de pratique en condition directe. Les tests post-hoc de Tukey HSD indiquent que les participants porteurs de lésions circonscrites au cervelet réussissent moins bien que les jeunes participants contrôles. De plus, les participants atteints d'une dysfonction cérébrale au système dopaminergique réussissent moins bien que les participants contrôles âgés. L'effet de Bloc et l'interaction entre les effets Groupe et Bloc ne sont pas significatifs suggérant qu'il n'y a pas d'amélioration lors de ces trois blocs d'entraînement en condition directe. De la même façon, la deuxième analyse vise à démontrer l'équivalence des groupes au niveau de base lors du tout premier bloc de la condition indirecte à la première session d'entraînement. Une ANOVA est effectuée. Les résultats de cette ANOVA n'indiquent pas de différence significative au niveau de la performance des participants lors du niveau de base de la condition indirecte. Ainsi, les résultats de la première analyse suggèrent que les participants sains des deux groupes contrôles réussissent mieux lors de l'apprentissage en condition directe que les participants cliniques. Par contre, en condition indirecte, les quatre groupes sont équivalents statistiquement au début de l'apprentissage en condition indirecte.

La troisième analyse a pour but de démontrer que les participants ont appris la tâche d'adaptation sensori-motrice au cours des essais qui leur ont été accordés lors de la session d'acquisition (cf. Figure 5.2). Une analyse de variance à mesures répétées (MANOVA) est effectuée à partir de la comparaison statistique des moyennes des deux premiers et des deux derniers blocs, en condition indirecte, de la première session. Les résultats de la MANOVA démontrent un effet de Groupe significatif, $F(3, 36) = 10.88$, $p<.05$, suggérant ainsi que certains participants réussissent mieux que d'autres lors de l'entraînement de la première session en condition indirecte. Encore une fois, les tests post-hoc de Tukey HSD indiquent que les participants porteurs de lésions circonscrites au cervelet réussissent moins bien que les jeunes participants contrôles. De plus, les participants atteints d'une dysfonction cérébrale au système dopaminergique réussissent moins bien que les participants contrôles âgés. L'effet de Bloc est également significatif, $F(3, 36) = 41.30$, $p<.05$, suggérant ainsi que les participants s'améliorent lors de l'acquisition à la première session en condition indirecte. Afin de bien

cerner la dynamique de la phase d'apprentissage, des tests t ont été ajoutés pour chacun des groupes pour l'Indice de performance. Ainsi, contrairement aux participants atteints d'une dysfonction striatale, le groupe de participants contrôles âgés, $t(9) = -5.43$, $p<.05$, le groupe de jeunes participants contrôles, $t(9) = -3.56$, $p<.05$, et le groupe de participants porteurs d'une lésion circonscrite au cervelet, $t(9) = -2.90$, $p<.05$, démontrent tous une amélioration significative lors de l'apprentissage de la première session en condition indirecte. L'interaction des Bloc X Groupe est également significative, $F(3, 36) = 9.53$, $p<.05$ suggérant ainsi que la progression de certains participants est supérieure aux autres. Ici, les données descriptives suggèrent que les participants des deux groupes contrôles s'améliorent davantage que les participants cliniques lors de l'apprentissage de la première session en condition indirecte. De plus, transposé en pourcentage d'amélioration, cette ANOVA significative, $F(3, 36) = 5.09$, $p<.05$, démontrent lors des tests post-hoc, Tukey HSD, qu'il y a une différence entre les participants atteints d'une dysfonction striatale et les participants contrôles âgés qui leur sont appariés. Ensemble, ces données suggèrent que la progression est similaire pour tous les groupes à l'acception des participants atteints d'une dysfonction striatale.

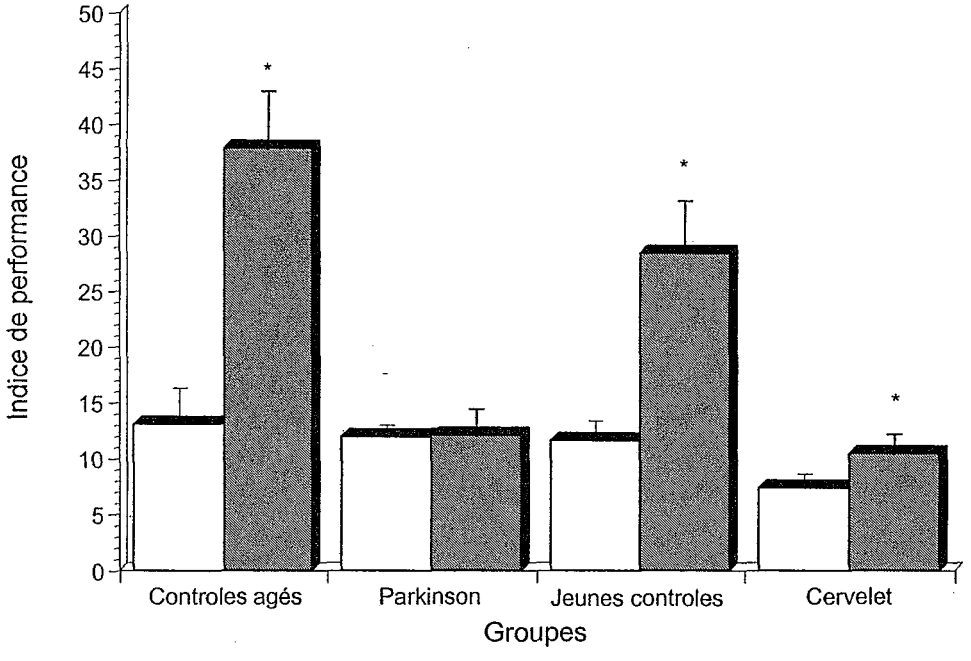


Figure 5.2. Amélioration des 4 groupes de participants à partir des deux premiers blocs du début (blanc) jusqu'aux deux derniers blocs (gris) de la première session d'entraînement à une tâche d'adaptation sensori-motrice telle que représenté par la fonction de l'indice moyen de performance.

La quatrième analyse s'intéresse au niveau de saturation de la performance des participants à la fin de la première session d'apprentissage. Une analyse de variance à mesures répétées (MANOVA) est effectuée à partir des quatre derniers blocs en condition indirecte de la première session. Les résultats de cette MANOVA indiquent un effet de Groupe significatif, $F (3, 36) = 12.51$, $p<.05$, suggérant ainsi que certains participants réussissent mieux que d'autres lors des derniers blocs d'entraînement de la première session en condition indirecte. Encore une fois, les analyses post-hoc, Tukey HSD, indiquent que les participants porteurs de lésions circonscrites au cervelet réussissent moins bien que les jeunes participants contrôles. De plus, les participants atteints d'une dysfonction cérébrale au système dopaminergique réussissent moins bien que les participants contrôles âgés. L'effet Bloc n'est pas significatif suggérant que les groupes ne démontrent plus de progression au cours des quatre derniers blocs de la session acquisition en condition indirecte. Par contre, l'interaction entre les effets Bloc et Groupe est significative $F, (3, 36) = 3.78$, $p<.05$. Sachant que la distribution des données a une forme quadratique significative, que les groupes contrôles sont meilleurs que les groupes cliniques et qu'il n'y a pas de différence entre les deux groupes contrôles, ni entre les deux groupes cliniques, l'origine de cette interaction s'explique mieux. Une analyse supplémentaire qui ne tient compte que des trois derniers blocs révèlent le même patron quant à l'effet Groupe, sans l'effet Bloc ni l'interaction Groupe X Bloc renforçant ainsi l'hypothèse de l'atteinte d'un niveau asymptotique au cours des derniers blocs d'entraînement de la première session pour l'ensemble des groupes y compris les participants contrôles.

La cinquième analyse vise à déterminer si une amélioration de la performance est observée lors de la deuxième session d'apprentissage. Une analyse de variance à mesures répétées (MANOVA) est effectuée à partir de la comparaison statistique de la moyenne des deux premiers blocs et de la moyenne des deux derniers blocs de la deuxième session d'entraînement en condition indirecte. Les résultats de la MANOVA identifient un effet de Groupe significatif, $F (3, 36) = 20.97$, $p<.05$. Encore une fois, les analyses post-hoc, Tukey HSD, indiquent que les participants porteurs de lésions circonscrites au cervelet réussissent moins bien que les jeunes participants contrôles. De plus, les participants atteints d'une dysfonction cérébrale au système dopaminergique réussissent moins bien que les participants contrôles âgés. L'effet Bloc et l'interaction Bloc X Groupe ne sont pas significatifs. Des contrastes ont été ajoutés pour chacun des groupes. Ainsi, contrairement aux autres

participants, les participants cliniques atteints d'une dysfonction striatale, t (9) = -2.65, $p<.05$, démontrent une amélioration significative lors de l'entraînement de la deuxième session en condition indirecte.

La sixième analyse s'intéresse à l'amélioration spontanée de la performance entre la première et la deuxième session de pratique à la tâche d'adaptation sensori-motrice (cf. Figure 5.3). Une analyse de variance à mesures répétées (MANOVA) est effectuée à partir de la comparaison statistique de la moyenne des quatre derniers blocs en condition indirecte de la première session et celle du deuxième bloc en condition indirecte de la deuxième session. Les résultats de la MANOVA identifient un effet de Groupe significatif, F (3, 36) = 18.80, $p<.05$, ce qui suggère que certains participants réussissent mieux que d'autres au cours du passage de la première à la deuxième session d'entraînement. Encore une fois, les analyses post-hoc, Tukey HSD, indiquent que les participants porteurs de lésions circonscrites au cervelet réussissent moins bien que les jeunes participants contrôles. De plus, les participants atteints d'une dysfonction cérébrale au système dopaminergique réussissent moins bien que les participants contrôles âgés. L'effet de Bloc n'est pas significatif ($p = 0.56$), ce qui suggère que les participants ne se sont pas améliorés spontanément à la suite d'une période de latence entre deux sessions d'entraînement à cette tâche d'adaptation sensori-motrice. Par contre, l'interaction Bloc X Groupe est significative, F (3, 36) = 2.87, $p<.05$, ce qui suggère que certains participants se sont améliorés davantage que d'autres lors du test de rétention 24 heures plus tard. Des contrastes ont été ajoutés pour chacun des groupes. Les résultats démontrent une amélioration spontanée pour les participants du jeune groupe contrôle, t (9) = -2.34, $p<.05$, à la suite d'une période de latence entre deux sessions d'entraînement à une adaptation sensori-motrice.

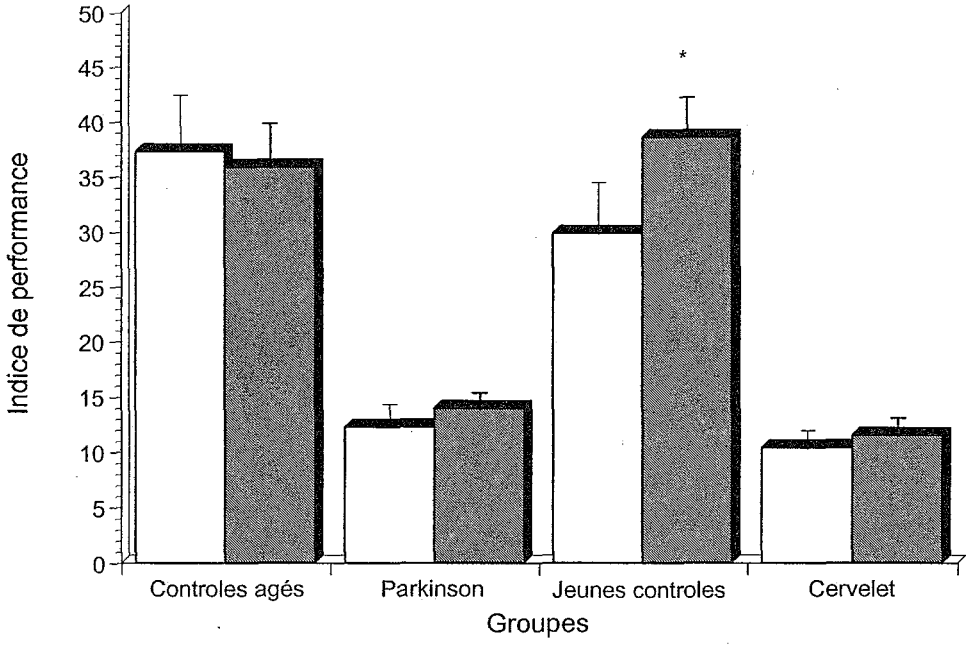


Figure 5.3. Amélioration spontanée à la suite d'une période de latence entre la première (blanc) et la deuxième (gris) session d'entraînement à une tâche d'adaptation sensori-motrice telle que représentée par la fonction de l'indice moyen de performance.

Groupes	Acquisition	Consolidation
1 Contrôles âgés	Oui	Non
2 Parkinson	Non	Non
3 Jeunes Contrôles	Oui	Oui
4 Cervelet	Oui	Non

Tableau 5.2. Tableau résumé des effets principaux obtenus pour les 4 groupes de participants pour les phases d'acquisition et de consolidation pour l'indice de performance générale.

En regard des hypothèses et considérant les effets principaux obtenus au cours de ces analyses (voir Tableau 5.2), il convient d'ajouter certaines analyses pour comparer les deux groupes contrôle afin d'explorer les causes qui expliquent l'absence de consolidation chez les participants contrôles plus âgés. Une analyse de variance à mesures répétées (MANOVA) est effectuée à partir de la comparaison statistique de la moyenne des deux premiers blocs et des deux derniers blocs en condition indirecte de la première session d'entraînement. Les résultats obtenus ne démontrent aucun effet de Groupe suggérant qu'il n'y a pas de différence entre la performance des deux groupes contrôles. Par contre, l'effet de Bloc est significatif, $F(3, 36) = 40.12$, $p<.05$, suggérant que les deux groupes s'améliorent au cours de la phase d'acquisition d'une adaptation sensori-motrice. L'interaction Bloc X Groupe n'est pas significative, ce qui suggère que la progression de ces deux populations cliniques est équivalente quant à l'acquisition qui s'effectue au cours de la première session d'entraînement. Toutefois, le même type d'analyse effectué pour le test de rétention, c'est-à-dire, entre les quatre derniers blocs de la première session et le deuxième bloc de la deuxième session d'entraînement ne révèle pas d'effet de Groupe significatif ni d'effet de Bloc significatif par ailleurs. Ces résultats suggèrent donc que les deux groupes sont équivalents en ce qui concerne leur niveau de réussite à la suite d'une période de latence de 24 heures entre la première et la deuxième session d'entraînement. De plus, ces résultats suggèrent également que les participants ne s'améliorent pas spontanément au cours de cette phase de latence. Par contre, l'interaction Bloc X Groupe est significative, suggérant, conformément aux données de la Figure 5.2, que les jeunes participants contrôles s'améliorent spontanément lors de cette phase de latence alors que les contrôles plus âgés semblent se détériorer au cours de la même période.

Discussion

Cette étude a pour but de déterminer les structures essentielles et suffisantes pour permettre la consolidation de l'apprentissage d'une nouvelle habileté motrice à partir de deux échantillons de populations cliniques différents. Le premier échantillon clinique est constitué de participants au Stade 2 ou 3 de l'évolution de la maladie de Parkinson laquelle affecte le système dopaminergique nigro-strié. Le deuxième échantillon clinique est constitué de patients porteurs de lésions cérébrales circonscrites au cervelet. La performance des participants de ces échantillons cliniques est comparée à la performance de deux groupes contrôles issus de la population générale saine. Ces participants sont jumelés sur la base de variables socio-démographiques Âge et Sexe aux participants des deux populations cliniques. Contrairement aux participants atteints de la maladie de Parkinson, il est attendu que les patients avec lésions cérébrales circonscrites au cervelet ne démontreront pas une amélioration spontanée à la suite d'une période de latence de 24 heures entre la première et la deuxième session d'apprentissage d'une habileté. De plus, un niveau de consolidation supérieur est attendu en ce qui concerne les jeunes participants contrôles comparativement aux participants contrôles plus âgés.

Tout d'abord, les analyses effectuées à partir des données démographiques et neuropsychologiques révèlent certaines différences significatives. D'une part, la comparaison des participants atteints d'une dysfonction striatale et des participants contrôles âgés révèle une différence significative attendue en terme de motricité fine. De plus, les participants atteints de la maladie de Parkinson rapportent plus de symptômes de dépression que les participants contrôles âgés. Nombre de ces symptômes ne sont pas nécessairement spécifique à la dépression et ne révèlent possiblement qu'une partie des symptômes ou problèmes rencontrés quotidiennement par les personnes atteintes de la maladie de Parkinson.

La deuxième comparaison effectuée ici entre les jeunes participants contrôles et les participants porteurs d'une lésion circonscrite aux âgés révèlent également une différence significative attendue en terme de motricité fine. Par contre, les résultats suggèrent ainsi que les participants du groupe clinique ont un empan visuel moins grand que les jeunes participants contrôles ce qui n'affecte en rien les résultats obtenus à la tâche d'adaptation sensori-motrice administrée ici. Par ailleurs, cette deuxième comparaison révèle une différence significative au niveau de la scolarité chez les deux populations en question. Cette différence s'avère cohérente avec la réalité quotidienne puisque les jeunes qui sont atteints très tôt dans leur vie sont moins prédisposés à poursuivre des études que les gens qui sont atteints plus tard (Parkinson) ou les personnes qui ne souffrent pas de maladie particulière invalidante. Néanmoins, une attention particulière aurait dû être portée à cette variable qui n'affecte probablement pas l'apprentissage d'habileté motrice par ailleurs.

Pour ce qui est des résultats obtenus à partir du design expérimental, les données du niveau de base en condition directe démontrent que les participants porteurs de lésions circonscrites au cervelet réussissent moins bien que les jeunes participants contrôles qui leur sont appariés. De plus, les participants atteints d'une dysfonction cérébrale au système dopaminergique réussissent moins bien que les participants contrôles âgés qui leur sont appariés. Toutefois, aucun des groupes ne démontre une amélioration lors de ces trois blocs d'entraînements supplémentaires en condition directe après l'atteinte du critère de performance nécessaire à la poursuite de l'expérimentation. De surcroît, la progression des groupes est équivalente. Cette supériorité des groupes de participants contrôles sur les groupes de participants cliniques disparaît lors du premier bloc d'entraînement en condition indirecte (voir la deuxième analyse), ce qui signifie que tous les participants partent au même niveau face à une nouvelle adaptation sensori-motrice.

Les données de la première session d'entraînement démontrent encore une fois que les participants contrôles obtiennent une meilleure performance que les participants cliniques. De plus, les données indiquent une progression de la performance au cours de l'entraînement en phase d'acquisition. Les tests t effectués sur chacun des groupes démontrent que tous les groupes progressent significativement à l'exception des participants atteints de la maladie de Parkinson. Transposés en pourcentage d'amélioration, les résultats obtenus soutiennent qu'il y a une différence quant à la progression au cours de la première session uniquement entre les contrôles âgés et les participants cliniques atteints d'une dysfonction striatale. Ensemble, ces résultats suggèrent que les participants atteints de la maladie de Parkinson n'améliorent pas leur performance au cours de la première session d'entraînement. Quoique la performance des deux groupes de participants cliniques soit semblable, les données suggèrent, entre autres lorsque transformés en pourcentages d'amélioration, que les résultats des participants porteurs de lésions circonscrites au cervelet sont également semblables aux résultats des deux groupes contrôles quant à la progression au cours de l'entraînement.

L'analyse du niveau de saturation de la performance des participants qui s'exprime par l'atteinte d'un niveau de performance asymptotique lors des derniers blocs d'entraînement de la première session démontre également que les participants contrôles, jeunes et vieux, obtiennent une meilleure performance que les participants cliniques. Par ailleurs, les données suggèrent également que la progression de la performance se stabilise pour atteindre un seuil asymptotique au cours des quatre derniers blocs de la première session d'entraînement.

Les données de la deuxième session d'entraînement démontrent que les participants contrôles obtiennent une meilleure performance que les participants cliniques qui leur sont appariés. Par contre, contrairement aux participants atteints de la maladie de Parkinson, les participants contrôles jeunes et âgés ainsi que les participants porteurs de lésions circonscrites au cervelet ne semblent plus progresser lors de la deuxième session d'entraînement. Ces données suggèrent que les participants atteints d'une dysfonction striatale ont besoin de davantage d'entraînement afin de montrer une progression de la performance à cette tâche d'adaptation sensori-motrice.

En ce qui concerne la consolidation de l'apprentissage d'habiletés sensori-motrices, soit l'amélioration spontanée de la performance entre la première et la deuxième session d'entraînement sans pratique additionnelle, les données démontrent encore une fois que les participants contrôles obtiennent une meilleure performance que les participants cliniques. Toutefois, contrairement aux participants atteints de la maladie de Parkinson, ceux porteurs de lésions circonscrites au cervelet et les participants contrôles âgés, les jeunes participants contrôles progressent significativement lors de la période de latence entre la première et la deuxième session d'entraînement. Ainsi, seuls les jeunes participants contrôles bénéficient du phénomène de consolidation qui s'amorce immédiatement au cours de l'entraînement et qui se poursuit lors du passage, sans pratique additionnelle, entre la première et la deuxième session d'entraînement.

Enfin, les analyses ajoutées permettent de se rendre compte que les deux groupes contrôles sont équivalents quant à leur performance lors de la phase d'acquisition et que leur progression est semblable au cours de l'entraînement. Par contre, les données du test de rétention obtenues à la suite d'une période de latence de 24 heures entre les deux sessions d'entraînement, suggérant, conformément aux données du graphique 5.5, que contrairement aux participants contrôles âgés, les jeunes participants contrôles s'améliorent spontanément lors de cette phase de latence.

Ensemble, ces résultats confirment en partie seulement l'hypothèse de départ qui stipule que contrairement aux participants atteints de la maladie de Parkinson, il est attendu que les patients avec lésions cérébrales circonscrites au cervelet ne démontreront pas une amélioration spontanée à la suite d'une période de latence de 24 heures entre la première et la deuxième session d'apprentissage d'une habileté. En effet, non seulement les participants porteurs de lésions circonscrites au cervelet n'ont pas consolidé l'apprentissage par adaptation sensori-motrice, mais les participants atteints d'une dysfonction striatale non plus contrairement à ce qui était prédit au départ. De plus, de façon surprenante, les participants contrôles âgés n'ont pas démontré de consolidation telle que mesurée au cours des différentes études de cette thèse.

D'une part, les données de la présente étude démontrent que les deux groupes de participants contrôles ont acquis les connaissances nécessaires pour s'adapter à la tâche au cours de la première session. Ces données sont cohérentes avec la littérature qui suggère que l'apprentissage de l'habileté motrice est robuste chez la population générale dite saine. D'autre part, au niveau de la consolidation de l'apprentissage d'une adaptation sensori-motrice, les données de la présente étude sont cohérentes avec l'ensemble des études précédentes présentées dans cette thèse. Ainsi, une amélioration spontanée de la performance est observée à la suite d'une période de latence de 24 heures, entre la première et la deuxième session d'entraînement chez les jeunes contrôles seulement.

Par contre, les données chez les personnes âgées saines sont inusitées puisqu'elles indiquent que, malgré une phase d'acquisition semblable, le processus de consolidation est compromis avec l'avancement en âge des participants inscrits dans un processus de vieillissement normal. Ces données sont toutefois cohérentes avec une partie récente de la littérature qui suggère une détérioration progressive de l'efficacité des noyaux gris centraux et du cervelet au cours du vieillissement normal. Entre autres, Backman & Farde (2001) et Kaasinen & Rinne (2002) démontrent que le système dopaminergique nigro-strié se détériore graduellement au cours du vieillissement au point de compromettre le rendement cognitif des personnes âgées dans certaines tâches motrices. De plus, Sawaki, Yaseen, Kopylev & Cohen (2003) suggèrent que la plasticité cérébrale du cortex moteur primaire diminue avec l'âge. D'autres comme Raz et ses collaborateurs (1998, 2001) démontrent l'existence d'une atrophie des régions cérébelleuses et les régions ventrales du pons au cours du vieillissement normal. Ainsi, tout en ayant une performance semblable aux jeunes en ce qui a trait à l'apprentissage, les personnes âgées saines ne bénéficient pas du processus de consolidation de l'apprentissage d'une nouvelle adaptation sensori-motrice.

Par contre, au niveau des groupes de participants cliniques, les données de la présente étude sont cohérentes avec la littérature qui suggère que l'apprentissage d'habileté, entre autres par adaptation sensori-motrice, est compromis par une lésion au niveau du cervelet ou encore par une dysfonction striatale. Ainsi, malgré une performance équivalente au niveau de base, les participants atteints d'une dysfonction striatale ne s'adaptent pas à la tâche et ne démontrent pas, par le fait même, d'amélioration au cours de la première session d'entraînement. Par contre, même avec un petit groupe de participants et très peu de puissance statistique, les participants porteurs d'une lésion circonscrite au cervelet démontrent un certain apprentissage à la tâche puisqu'entre autres leur performance ne diffère pas des deux groupes contrôles en ce qui a trait au pourcentage d'amélioration au cours de la première session d'entraînement.

Au niveau psychophysique, ces données sont cohérentes avec celles de Doyon et ses collaborateurs (1998) qui démontrent que ces deux populations cliniques obtiennent une performance qui n'est pas significativement différente des participants contrôles au début de l'apprentissage. Par contre, plus le niveau d'expertise des participants contrôles est élevé, plus la différence entre leur performance et celle des populations cliniques est importante. Ainsi, la différence entre les participants sains et les participants cliniques, apparaît dans les stades avancés de l'apprentissage. Au niveau neuro-anatomique, les données de la présente étude sont également cohérentes avec les données de Shadmehr et Holcomb (1997), de Krebs et ses collaborateurs (1998) qui suggèrent une interaction des boucles cortico-striato-thalamo-corticale et cortico-cerebello-thalamo-corticale au cours des différentes phases de l'apprentissage. Entre autres, plusieurs études démontrent que la phase intermédiaire de consolidation corrèle avec le passage de l'activité cérébrale des régions striatales aux régions cérébelleuses au cours de la consolidation de l'apprentissage d'une adaptation sensorimotrice. Ainsi, la consolidation de l'apprentissage d'une adaptation sensorimotrice est compromise par une atteinte des régions striatales (phase rapide) ou encore une atteinte des régions cérébelleuses (phase intermédiaire et subséquente). De plus, ces résultats sont également cohérents avec le modèle d'acquisition de l'apprentissage de Doyon et Ungerleider (2002, 2003). Conformément à ce modèle, il est attendu que pour obtenir une consolidation de l'apprentissage d'habiletés motrices, les participants doivent démontrer qu'ils ont appris la tâche et posséder des fonctions cérébelleuses intactes.

Quoiqu'innovatrice et avant-gardiste, la présente étude soulève davantage de questions que de réponses. Entre autres, en ce qui a trait au substrat neuroanatomique de la consolidation d'une adaptation sensori-motrice. On sait que pour qu'il y ait consolidation, il doit y avoir eu préalablement un apprentissage ou du moins une familiarisation suffisante des enjeux de la tâche afin d'en observer l'évolution au cours de la période de latence ou du sommeil. Or, il est difficile de statuer sur le processus de consolidation quand les données de la phase d'acquisition ne sont pas significatives comme dans le cas des participants atteints de la maladie de Parkinson. Toutefois, il est tout de même permis de conclure que les études cliniques démontrent que les phénomènes ne sont jamais coupés au couteau comme peuvent le suggérer les études d'imagerie cérébrale et que la collection de données de divers champs d'études est indispensables à la compréhension de phénomène réel et à l'avancement des connaissances. Les prochaines études, outre l'étude du substrat neuro-anatomique par imagerie cérébrale et les études des mécanismes pharmacologiques qui sous-tend le processus de consolidation d'une adaptation sensori-motrice devraient viser à caractériser davantage l'apprentissage de ce type d'habiletés à partir de populations cliniques touchées entre autres par la maladie de Parkinson, la maladie de Huntington, les différentes atrophies cérébelleuses, les lésions au niveau du cortex moteur primaire ainsi qu'au niveau des régions pariétales postérieures afin de mieux cerner les structures nécessaires et suffisantes impliquées dans la consolidation d'une adaptation sensori-motrice.

CHAPITRE 6

DISCUSSION GÉNÉRALE

Caractérisation des paramètres méthodologiques et analyse du substrat neuro-anatomique impliqués dans la consolidation d'une adaptation sensori-motrice

La littérature scientifique actuelle suggère que la consolidation de l'apprentissage d'une nouvelle habileté motrice est un phénomène peu robuste. Parfois, il se manifeste chez certains participants, mais pas chez l'ensemble des participants à l'étude. Le phénomène apparaît dans la littérature comme une amélioration spontanée de la performance, sans pratique additionnelle, à la suite d'une période de latence insérée entre la première et la deuxième session d'entraînement à une nouvelle habileté motrice. À d'autres occasions, il apparaît comme l'incapacité d'une tâche semblable, mais conflictuelle, insérée entre la phase d'acquisition et le test de rétention, de compromettre le passage d'un état fragile à un état stable et résistant à l'interférence de la représentation interne. Aussi, il peut apparaître comme le non-retour de la performance des participants au niveau de base, obtenue au tout début de l'entraînement, à la suite d'une période de latence entre deux sessions d'entraînement. Parfois, il s'observe à la suite du simple passage du temps alors qu'à d'autres occasions il nécessite une période de sommeil. Enfin, certains tentent de cerner les structures neuro-anatomiques sous-jacentes sans toutefois être en mesure de reproduire les données psychophysiques.

La présente thèse s'intéresse prioritairement à deux questions. Premièrement, quelles sont les caractéristiques méthodologiques essentielles à mettre en place afin de maximiser les chances des participants d'un processus de réadaptation, par exemple, de bénéficier de la consolidation d'une habileté motrice? Deuxièmement, quelles sont les structures neuro-anatomiques essentielles et suffisantes impliquées dans la consolidation d'une adaptation sensori-motrice?

Afin de répondre à ces questions, quatre études ont été mises sur pied. Les trois premières études sont effectuées à partir d'échantillons de la population de participants dits sains. La quatrième étude est effectuée à partir d'échantillons de deux populations cliniques différentes. D'une part, des participants atteints, d'une dysfonction du système dopaminergique nigrostrié qui affecte les noyaux gris centraux, soit entre autres, dans la présente étude la maladie de Parkinson au stade 2 ou 3. D'autre part, des participants porteurs d'une lésion circonscrite au cervelet, soit ici, une atrophie cérébelleuse pure.

L'ensemble des études est effectué à l'aide d'une tâche d'adaptation sensori-motrice qui est en fait une variante de la tâche de poursuite des huit cibles déjà bien connue dans la littérature. Au cours de cette tâche, les participants doivent apprendre à atteindre une cible, à l'aide d'un levier de jeu (Joystick), en suivant une trajectoire en forme d'ellipse. L'adaptation sensori-motrice origine de l'inversion des coordonnées spatiales qui régissent le déplacement du curseur à partir des mouvements du levier de contrôle. Ainsi, on reproduit, à l'aide de l'ordinateur un effet miroir qui exige des participants l'apprentissage de la même tâche tout en tenant compte d'un tout nouveau schème de référence spatiale.

La première étude (Chapitre 2) a pour objectif spécifique de caractériser l'influence du nombre de blocs d'essais de pratique administré lors de la phase d'acquisition de l'apprentissage sur la consolidation d'une adaptation sensori-motrice. Il est attendu que l'atteinte d'un niveau asymptotique de performance (16 blocs), exprimée par l'absence de différence significative entre les quatre derniers blocs d'entraînement de la première session, est nécessaire afin d'observer une amélioration spontanée de la performance à la suite d'une période de latence de 24 heures entre deux sessions de pratique d'une adaptation sensori-motrice. Ainsi, certains participants bénéficient de quelques blocs d'entraînement (4 ou 8 blocs) alors que d'autres, basés sur des études préliminaires effectuées dans notre laboratoire, effectuent un entraînement suffisant pour obtenir une certaine stabilité dans l'amélioration de la performance. Les résultats obtenus démontrent que la représentation interne de la nouvelle habileté motrice se développe rapidement au tout début de l'apprentissage et que dès lors s'amorce un processus de consolidation afin de mettre cette nouvelle routine motrice à l'abri de l'interférence. Ainsi, les résultats vont à l'encontre de l'hypothèse de départ puisque le phénomène de consolidation s'observe chez les trois groupes de participants peu importe, le

nombre de blocs de pratique dont ils bénéficient au cours de la première session d'entraînement. Cela suggère qu'un nombre limité d'essais est suffisant pour enclencher une routine motrice qui sera éventuellement consolidée. Ces données corroborent des données déjà existantes dans la littérature récente qui appuient l'hypothèse d'une réorganisation rapide du cortex moteur primaire à la suite d'un bref entraînement. La contribution de cette étude est unique puisque contrairement aux études existantes, elle est basée sur une tâche d'adaptation sensori-motrice. De plus, elle compare directement l'effet du nombre de blocs de pratique à la tâche. Enfin, elle remet en question la conception rigide qui présuppose que l'atteinte d'une certaine stabilité au niveau de la performance est essentielle afin de bénéficier du support des processus mnésiques.

La deuxième étude s'intéresse à l'influence des consignes administrées aux participants lors de l'apprentissage de la tâche sur le phénomène de consolidation. Ici, certains participants effectuent la tâche alors que les consignes sont axées sur a) la vitesse d'exécution, b) la précision du mouvement ou c) la combinaison de la vitesse d'exécution et de la précision du mouvement. Dans cette étude, il est prédit que des consignes axées sur la combinaison de la vitesse d'exécution et de la précision du mouvement vont permettre d'enrichir davantage la trace mnésique de façon à bénéficier davantage du processus de consolidation d'une adaptation sensori-motrice. Les résultats de cette étude démontrent que les participants qui bénéficient de la consigne axée sur la vitesse d'exécution réussissent mieux à la tâche. Par contre, il n'y a aucune différence en ce qui a trait au processus de consolidation peu importe, le type de consigne administré aux participants. Les résultats de cette étude infirment encore une fois l'hypothèse de départ tout en mettant en relief, conformément à la littérature, que le compromis entre la vitesse d'exécution et la précision du mouvement ne s'applique pas à l'apprentissage d'une adaptation sensori-motrice puisque la vitesse d'exécution et la précision du mouvement s'améliorent tous deux au cours de la première session d'entraînement.

Alors que certaines études suggèrent qu'une période de sommeil est essentielle afin de mettre en branle le processus de consolidation de l'apprentissage d'une habileté motrice, d'autres stipulent que le simple passage du temps est suffisant. Pendant que certains recherchent une amélioration spontanée de la performance à la suite d'une période de latence entre deux sessions d'entraînement, d'autres cherchent à conserver un certain niveau de performance à la suite de l'administration d'une tâche interférente entre la phase d'acquisition et le test de rétention. La troisième étude a pour but de comparer les paradigmes avec et sans tâches interférentes dans un schème paramétrique de la consolidation de l'apprentissage. Ici, pour certains participants, les deux entraînements sont séparés par une période de latence de 5, 8 ou 24 heures alors que d'autres effectuent une tâche interférente immédiatement, 1, 5 ou 8 heures après la fin de la première session d'entraînement et refont la tâche initiale 24 heures plus tard. Les résultats de cette étude démontrent que le processus de consolidation opère significativement à la suite d'une période de latence de 5 à 8 heures dans un paradigme avec ou sans tâche interférente. Ces résultats sont relativement cohérents avec l'hypothèse de départ qui stipule qu'une période de latence de 5 heures est nécessaire pour observer le phénomène de consolidation dans un paradigme avec ou sans tâche interférente. La similarité des résultats suggère que les paradigmes paramétriques et interférents sont deux procédures distinctes qui mesurent en fait le même phénomène. De plus, ces résultats confirment que le simple passage du temps, et non le sommeil, est suffisant pour enclencher le processus de consolidation d'une adaptation sensori-motrice. Enfin, la similarité des périodes de latence entre cette étude et les données récentes disponibles dans la littérature scientifique donne beaucoup de robustesse à phénomène qui était, jusqu'à présent, très précaire. L'originalité de cette étude réside dans la comparaison directe, pour la première fois, des schèmes paramétriques et avec interférence.

Enfin, la dernière et quatrième étude a pour but de comparer la contribution de deux structures neuro-anatomiques distinctes, soit le striatum et le cervelet, au processus de consolidation d'une adaptation sensori-motrice. L'une des deux populations cliniques à l'étude est atteinte de la maladie de Parkinson au stade 2 ou 3, maladie qui affecte le système dopaminergique nigro-strié. La deuxième population à l'étude est atteinte d'une atrophie cérébelleuse pure qui affecte spécifiquement le cervelet. La performance des participants cliniques est comparée directement avec la performance de participants contrôles qui leur sont appariés. Ici, le temps pour atteindre la cible est augmenté pour les participants cliniques. De plus, la deuxième session d'entraînement a lieu à la suite d'une période de latence de 24 heures. Contrairement aux participants atteints de la maladie de Parkinson, il est attendu que les participants porteurs d'une lésion circonscrite au cervelet ne démontreront pas d'amélioration spontanée à la tâche. Les résultats obtenus démontrent que tous les participants, à l'exception des participants atteints de la maladie de Parkinson se sont adaptés à la tâche et démontrent un apprentissage au cours de la première session d'entraînement. Par contre, seuls les jeunes participants contrôles démontrent une amélioration spontanée de la performance à la suite d'une période de latence de 24 heures entre deux sessions d'entraînement. Ces résultats vont à l'encontre de l'hypothèse de départ. D'une part, les participants atteints de la maladie de Parkinson n'ont, contre toute attente, pas appris la tâche et ne peuvent donc bénéficier de la phase de consolidation. D'autre part, il semble que le vieillissement normal implique une détérioration progressive des systèmes neuro-anatomiques sous-jacents au processus de consolidation de l'apprentissage d'une adaptation sensori-motrice, malgré une capacité d'apprentissage comparable aux jeunes participants contrôles. Ces résultats, quoique sous-entendus dans la littérature qui s'intéresse à l'apprentissage d'habileté motrice au cours du vieillissement normal, est tout à fait unique à notre connaissance et implique un tout nouveau champ d'études.

Parmi les quelques réponses obtenues au cours de ce programme de recherche, notons entre autres que le processus de consolidation s'amorce rapidement au cours de la première session d'entraînement à moins qu'il n'y ait pas eu d'amélioration au cours de l'entraînement si bref soit-il; que le phénomène de consolidation d'une adaptation sensori-motrice n'est pas tributaire du sommeil, mais plutôt d'une cascade de mécanismes neuronaux qui opère avec le simple passage du temps; que ce processus prend tout son sens lors du passage de l'état fragile à un état stable et résistant à l'interférence 5 à 8 heures après l'entraînement initial, que malgré des procédures distinctes, les schèmes paramétriques et interférents mesurent à la base le même phénomène neuroanatomique et enfin, que le cervelet serait impliqué dans la consolidation de l'apprentissage d'une adaptation sensori-motrice.

Dans une analyse plus large, il convient de transposer ces résultats sur le modèle neuroanatomique de l'apprentissage d'habiletés de Doyon et Ungerleider (2002). Rappelons d'abord que ce modèle stipule que l'apprentissage initial s'effectue à partir de la contribution combinée du striatum et du cervelet cependant, au cours de l'apprentissage un transfert d'activités s'effectue vers les régions cérébelleuses. Les résultats obtenus au cours de ce programme de recherche, principalement lors de l'acquisition de données neuropsychologiques auprès de populations cliniques, sont entièrement cohérents avec le modèle de Doyon et Ungerleider (2002). Ainsi, malgré une progression semblable aux participants contrôles et aux participants porteurs d'une lésion cérébrale circonscrite au cervelet, les participants cliniques atteints d'une dysfonction striatale démontrent des difficultés d'apprentissage à cette tâche d'adaptation sensori-motrice. Par contre, le passage d'un état fragile à un état stable et résistant à l'interférence est compromis entre autres pour les participants porteurs d'une lésion cérébrale circonscrite au cervelet.

Si on juge la qualité d'un programme de recherche par le nombre de questions qu'il soulève, celui-ci se qualifie. D'une part, mis sur pied afin de débroussailler les variables qui interfèrent avec le phénomène de consolidation d'une adaptation sensori-motrice, entre autres, ce projet a permis de reproduire à au moins sept reprises un phénomène apparaissant comme précaire dans la littérature scientifique récente. Par contre, tout en ayant comblé les attentes sous-jacentes à la mise sur pied de ce programme de recherche, de nombreuses questions demeurent sans réponse, par exemple, est-ce que le nombre de blocs administrés peut avoir un effet sur la consolidation si la période de latence est réduite de 24 à 8 heures? Ou si les participants originent de populations cliniques ou vieillissantes?

Ensemble, les résultats obtenus au cours des dernières années ouvrent les horizons vers de nouveaux champs de recherche, génèrent de nouvelles questions de recherche dans un domaine déjà en ébullition et ouvrent la voie à de nombreuses études, entre autres, au niveau pharmacologique de par les mécanismes sous-jacents au processus de consolidation ou encore au niveau de l'imagerie cérébrale. De plus, ce programme de recherche autant de par les questions répondues que de par les questions soulevées apporte matière à réflexion en regard des programmes actuels de réadaptation. Si effectivement, malgré des capacités d'apprentissage d'habiletés motrices adéquates, l'intégrité cérébelleuse est indispensable à la consolidation d'une adaptation sensori-motrice, des protocoles doivent être mis sur pied pour identifier préalablement les attentes réelles envers chacun des individus en réadaptation en fonction de leurs atteintes respectives. Ainsi, dans le cas d'une atteinte cérébelleuse, on s'attendra à un fonctionnement plus global de déplacements par habiletés motrices séquentielles comme la marche par exemple alors que l'énergie sera moins probante en ce qui concerne tout le raffinement des mouvements dans des contextes d'adaptation d'habiletés motrices. En d'autres mots, on s'attardera davantage à des routines motrices qu'à une généralisation de certains patrons de comportements afin de faciliter une adaptation à une gamme complète de situation ou d'événements quotidiens. Cette vision purement neuroanatomique de la réadaptation à des limites scientifiques actuellement puisqu'on manque encore de données suffisantes pour tirer des conclussions économiquement et surtout humainement justifiable.

RÉFÉRENCES

Abel, T. & Lattal, K.M. (2001). Molecular mechanisms of memory acquisition, consolidation and retrieval. Current opinion in neurobiology, 11, 180-187.

Agostino, R., Sanes, J.N., & Hallett, M. (1996). Motor skill learning in Parkinson's disease. Journal of neuroscience, 139, 218-226.

Backman, L. & Farde, L. (2001). Dopamine and cognitive functioning; brain imaging findings in Huntington's disease and normal aging. Scandinavian journal of psychology, 42, 287-296.

Barré, M., Tremblay, S., Simard, A. & Doyon, J. (1999). Influence du contenu des consignes transmises aux sujets sur la consolidation de l'apprentissage d'une adaptation sensorimotrice. Abrégé publié dans le Programme et résumés des communications du XXII^{ième} Congrès de la Société Québécoise pour la Recherche en Psychologie (SQRP), Québec, Canada.

Belcadi-Abbassi, W., & Destrade, C. (1993). Post-test apamin injection suppresses a Kamin-like effect following a learning session in mice. Neuroreport, 6, 1293-1296.

Belkin, D.S., & Eliot, J.F. (1997). Motor skill acquisition and the speed-accuracy trade-off in a field based task. Journal of sport behavior, 20, 16-28.

Bickford, P. (1995). Aging and motor learning : a possible role for norepinephrine in cerebellar plasticity. Review in the neurosciences, 6, 35-46.

Bickford, P.C., Shukitt-Hale, B. & Joseph, J. (1999). Effects of aging on cerebellar noradrenergic function and motor learning : nutritional interventions. Mechanisms of ageaing and developpement, 111, 141-154.

Bloedel, J.R., Bracha, V., Kelly, T.M., & Wu, J.Z. (1991). Substrates for motor learning : Does the cerebellum do it all ? Annals of the New York Academy of Sciences, 627, 305-318.

Bontempi, B., Laurent-Demir, C., Destrade, C., & Jaffard, R. (1999). Time-dependant reorganisation of brain circuitry underlying long term memory storage. Nature, 400, 671-675.

Brashers-krug, T., Shadmehr, R., & Bizzi, E. (1996). Consolidation in human motor memory. Nature, 382, 252-255.

Cauraugh, J.H. (1990). Speed-accuracy tradeoff during response preparation. Research quarterly for exercice and sport, 61, 331-337.

Classen, J., Liepert, J., Wise, S.P., Hallett, M., & Cohen, L.G. (1998). Rapid plasticity of human cortical movement representation induced by practice. Journal of neurophysiology, 79,1117-1123.

Cohen, N.J., & Squire, L.R. (1980). Preserved learning and retention of pattern-analysing skill in amnesia : Dissociation of knowing how and knowing that. Science, 210, 207-210.

Decety, J., Grèzes, J., Costes, N., Perani, D., Jeannerod, M., Procyk, E., Grassi, F., & Fazio, F. (1997). Brain activity during actions : Influences of action content and subject's strategy. Brain, 120, 1763-1777.

Destrade, C., Messier, C., Bontempi, B., Sif, J., & Jaffard, R. (1992). Investigations into time-dependent metabolic changes during memory processing in the mouse brain using (^{14}C) deoxyglucose and (^{14}C)-glucose. Dans F. Gonzalez-Lima et al. (éds), Advances in metabolic mapping techniques for brain imaging of behavioral and learning functions (pp 389-407). Netherlands : Kluwer Academic Publishers.

Dorris, M.C., Paré, M., & Munoz, D.P. (2000). Immediate neural plasticity shapes motor performance. Journal of neuroscience, 20, RC52.

Doyon, J. (1997). Skill learning. Dans J.D. Schmahmann (ed.), International review of neurobiology: vol. 41. The cerebellum and cognition (pp 273-294). New York : Academic Press.

Doyon, J., Owen, A.M., Petrides, M., Sziklas, V., & Evans, A.C. (1996). Functional anatomy of visuomotor skill learning in human subjects examined with positron emission tomography. European journal of neuroscience, 8, 637-648.

Doyon, J., Gaudreau, D., Laforce, R.J., Castonguay, M., Bedard, P.J., Bedard, F., & Bouchard, J.P. (1997). Role of the striatum, cerebellum, and frontal lobes in the learning of a visuomotor sequence. Brain and cognition, 34, 218-245.

Doyon, J., Laforce, R.J., Bouchard, J.P., Gaudreau, D., Roy, J., Poirier, M., Bédard, P.J., Bédard, F., & Bouchard, J.-P., (1998). Role of the striatum, cerebellum and frontal lobes in the automatization of a repeated visuomotor sequence of movements. Neuropsychologia, 36, 625-641.

Doyon, J., Song, A., Karni, A., Lalonde, F., Adams, M.M. & Ungerleider, L .G . (2002). Experience-dependent changes in cerebellar contibutions to motor sequence learning. Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America, 99, 1017-1022.

Doyon, J. & Ungerleider, L.G. (2002). Functional anatomy of motor skill learning. Dans L.R. Squire & D. Schacter, (eds.), Neuropsychology of memory (pp 225-238). New York : The Guilford Publications.

Doyon, J., Penhune, V. & Ungerleider, L. G. (2003). Distinct contribution of the cortico-striatal and cortico-cerebellar systems tom motor skill learning. Neuropsychologia, 41, 252-262.

Doyon, J. & Ungerleider, L.G. (2003). Adult motor cortex plasticity during skill learning. Dans L. Pesoa & P. De Weerd (eds.), Filling-in : From perceptual completion to skill learning (pp. 252-280). Oxford University Press.

Dudai, Y. (1996). Consolidation : Fragility on the road to the engram. Neuron, 17, 367-370.

Elliott, D., Binstead, G., & Heath, M. (1999). The control of goal-directed limb movements : Correcting errors in the trajectory. Human Movement Science, 18, 121-136.

Engelhorn, R. (1997). Speed and accuracy in the learning of a complex motor skill. Perceptual and motor skills, 85, 1001-1017.

Etnier, J.L. & Landers, D.M. (1998). Motor performance and motor learning as a function of age and fitness. Research quarterly for exercice and sport, 69, 136-146.

Etnyre, B.R. (1998). Accuracy characteristics of throwing as a result of maximum force effort. Perceptual and motor skills, 86, 1211-1217.

Fernandez-Ruiz, J., Hall, C., Mischner, J., Vergara, P., Diaz, R., Ochoa, A., et Alonso, M.E. (1998). Prism adaptation and retention using ballistic in Huntington's disease. Society for neuroscience abstracts, 24, 1023.

Fernandez-Ruiz, J. Hall, C. Vergagra, P. & Diaz, R. (2000). Prism adaptation in normal aging : slower adaptation rate and larger aftereffect. Brain research cognitive brain research, 9, 223-226.

Fisher, S., Hallschmid, M., Elsner, A.L., & Born, J. (2002) Sleeps forms memory for finer skill. Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America, 99, 11987-11991.

Flamment, D., Ellerman, J.M., Kim, S.G., Ugurbil, K., & Ebner, T.J., (1996). Functionnal magnetic resonance imaging of cerebellar activation during the learning of a visuomotor dissociation task. Human brain mapping, 4, 210-226.

Folstein, M.F. & McHugo, S.E. (1975). Mini-Mental State : A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. Journal of psychiatric research, 12, 189-198.

Gabrielli, J.D., Stebbins, G.T., Singh, J., Willingham, D.B., & Goetz, C.G. (1997). Intact mirror-tracing and impaired rotary-pursuit skill learning in patient with Huntington's disease: Evidence for dissociable memory systems in skill learning. Neuropsychology, 11, 272-281.

Gais, S., Plihal, W., Wagner U. & Born, J. (2000). Early sleep triggers memory for early visual discrimination skills. Nature neuroscience, 3, 1335-1339.

Gandolfo, F., Li, C.-S. R., Benda, B.J., Schioppa, C.P. & Bizzi, E. (2000). Cortical correlates of learning in monkeys adapting to a new dynamical environment. Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America, 97, 2259-2263.

Goode, S.L., Meewsen, H.J., & Magill, R.A. (1998). Benefits of providing cognitive performance strategies to novice performers learning a complex motor skill. Perceptual and motor skills, 86, 976-978.

Grafton, S.T., Mazziotta, J.C., Presty, S., Friston, K.J., Frackowiak, R.S., & Phelps, M.E. (1992). Functional anatomy of human procedural learning determined with regional cerebral blood flow and PET. Journal of neuroscience, 12, 2542-2548.

Grafton, S.T., Woods, R.P., & Tyszka, M. (1994). Functional imaging of procedural motor learning : Relating cerebral blood flow with individual subject performance. Human brain mapping, 1, 221-234.

Halsband, U., & Freund, H.J. (1993). Motor learning. . Current opinion in neurobiology, 3, 940-949.

Hasselmo, M.E., & McClelland, J.L. (1999). Neural models of memory. Current opinion in neurobiology, 9, 184-188.

Imamizu, H., Uno, Y. & Kawato, M. (1995). Internal representations of the motor apparatus : implications from generalization in visuomotor learning. Journal of experimental psychology : Human perception and performance, 21, 1174-1198.

Imamizu, H., Miyauchi, S., Tamada, T., Sasaki, Y., Takinos, R., Pütz, B., Yoshioka, T. & Kawato, M. (2000). Human cerebellar activity reflecting an acquired internal model of a new tool. Nature, 403, 192-195.

Jackson, P. L., Forget, J., Soucy, M.-C., Leblanc, M., Cantin, J.-F., & Doyon, J. (1997). Consolidation of visuomotor skills in humans: A psychophysical study. Society for neuroscience abstracts, 23, 1052.

Jaffard, R., Bontempi, B., Laurent-Demir, C., & Destrade, C. (1998). Consolidation mnésique et système hippocampique. Comptes rendus de l'académie des sciences, Sciences de la vie, 321, 163-166.

Kaasinen, V. & Rinne, J.O. (2002). Functional imaging studies of dopamine system and cognition in normal aging and Parkinson's disease. Neuroscience and biobehavioral reviews, 26, 785-793.

Karni, A. (1996). The acquisition of perceptual and motor skills : A memory system in the adult human cortex. Brain research cognitive brain research, 5, 39-48.

Karni, A., & Sagi, D. (1993). The time course of learning a visual skill. Nature, 365, 250-252.

Karni, A., Meyer, G., Jezzard, P., Adams, M.M., Turner, R., & Ungerleider, L.G. (1995). Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during motor skill learning. Nature, 377, 155-158.

Karni, A., Meyer, G., Rey-Hipolito, C., Jezzard, P., Adams, M.M., Turner, R., & Ungerleider, L.G. (1998). The acquisition of skilled motor performance: fast and slow experience- driven changes in primary motor cortex. Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America, 95, 861-868.

Kawato, M. (1999). Internal models for motor control and trajectory planning. Current opinion in neurobiology, 9, 718-727.

Kleim, J.A., Barbay, S. & Nudo, R.J. (1998). Functional reorganisation of the rat motor cortex following motor skill learning. . Society for neuroscience abstracts, 24, 1427.

Knowlton, B.J., & Fanselow, M.S. (1998). The hippocampus, consolidation and on-line memory. Current opinion in neurobiology, 8, 293-296.

Kolb, B., & Whishaw, I.Q. (1996). Fundamentals of human neuropsychology (4^{e} éd.). New York : W.H. Freeman and Company.

Korman, M., Raz, N., Flash T. & Karni, A. (2003). Multiple shifts in the representation of a motor sequence during the acquisition of skilled performance. Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America, 100, 12492-12497.

Krakauer, J.W ., Ghilardi, M.-F. & Ghez, C . (1999). Independent learning of internal models for kinematic and dynamic control of reaching. Nature neuroscience, 2, 1026-1031.

Krebs, H.I., Brashers-Krug, T., Rauch, S.L., Savage, C.R., Hogan, N., Rubin, R.H., Fischman, A.J., et Alpert, N.M. (1998). Robot-aided functional imaging : Application to a motor learning theory. Human brain mapping, 6, 59-72.

Krebs, H.I., Hogan, N., Hening, W., Adamovich, S.V. & Poizner, H. (2001). Procedural motor learning in Parkinson's disease. Experimental brain research, 141, 425-437.

Laforce, R. Jr & Doyon, J. (2001). Distinct contribution of the striatum and cerebellum to motor learning. Brain and cognition, 45, 189-211.

Laforce, R. Jr & Doyon, J. (2002). Differential role for the striatum and cerebellum in response to novel movements using a motor learning paradigm. Neuropsychologia, 40, 512-517.

Langlois, J.M. (1999). Atlas d'anatomo-physiologie du système nerveux (7e éd.). Québec, Ca : Université Laval

Li, C-S R., Padoa-Schioppa, C. 7 Bizzi, E. (2001). Neuronal correlates of motor performance and motor learning in the primary motor cortex of monkeys adapting to an external force field. Neuron, 30, 593-607.

Mauk, M.D. (1997). Roles of cerebellar cortex and nuclei in motor learning : Contradictions or clues ? Neuron, 18, 343-346.

McGaugh, J.L. (2000). Memory-a century of consolidation. Science, 287, 248-251.

Mednick, S.C., Nakayama, K., Cantero, J.L., Atienza, M., Levin, A.A., Pathak, N. & Stickgold, R. (2002). The restorative effect of naps on perceptual deterioration. Nature neuroscience, 5, 677-681.

Middleton, F.A. & Strick, P.L. (1997). Cerebellar output channels. International review of neurobiology, 41, 61-82.

Moscovitch, M., & Nadel, L. (1998). Consolidation and the hippocampal complex revisited :In defense of the multiple-trace model. Current opinion in neurobiology, 8, 297-300.

Muellbacher, W., Ziemann, U., Boroojerdi, B., Cohen, L. & Hallett, M. (2001). Role of the human cortex in rapid motor learning. Experimental brain research, 136, 431-438.

Muellbacher, W., Ziemann, U., Wissel, J., Dang, N., Kofler, M., Facchini, S., Boroojerdi, B., Poewe, W. & Hallett, M. (2002). Early consolidation in human primary motor cortex. Nature, 415, 640-643.

Nadel, L., & Moscovitch, M. (1997). Memory consolidation, retrograde amnesia and the hippocampal complex. Current opinion in neurobiology, 7, 217-227.

Nezafat, R., Shadmehr, R., & Holcomb, H.H. (1999). Neural correlates of motor memory retention over a 4 week period as quantified by PET. Society for neuroscience abstracts, 25, 2178.

Nissen, M. J. (1992). Procedural and declarative learning: Distinctions and interactions. Dans L. R. Squire & N. Butters (eds.), Neuropsychology of memory (pp 203-210). New York : The Guilford Press.

Nudo, R.J., & Milliken, G.W. (1996). Reorganisation of movement representations in primary motor cortex following focal ischemic infarcts in adult quirrel monkeys. Journal of neuropsychology, 75, 2144, 2149.

Ouellet, M.C. & Doyon, J. (1999). Cognitive skill learning measured using a repeating version of the Tower of London task. Society for neuroscience abstracts, Vol. 25, part 2 :1900.

Penhune, V. & Doyon, J. (2002). Dynamic cortical and subcortical networks in learning and delayed recall of timed motor sequences. Journal of neuroscience, 22, 1397-1406.

Picard, N., & Strick, P.L. (1996). Motor areas of the medial wall : a review of their location and functional activation. Cerebral cortex, 6, 342-353.

Raz, N., Dupuis, J.H., Briggs, S.D., McGavran, & Acker, J.D. (1998). Differential effects of age and sex on the cerebellar hemisphere and the vermis : a prospective MR study. American journal of neuroradiology, 19, 65-71.

Raz, N., Gunning-Dixon, F., Head, D., Williamson, A., & Acker, J.D. (2001). Age and sex differences in the cerebellum and the ventral pons : a prospective MR study of healthy adults. American journal of neuroradiology, 22, 1161-1167.

Sawaki, L., Yaseen, Z., Kopylev, L. & Cohen, L.G. (2003). Age-dependent changes in the ability to encode a novel elementary motor memory. Annals of neurology, 53, 521-524.

Schwartz, S., Maquet, P., & Frith, C. (2002). Neural correlates of perceptual learning : A functional MRI study of visual texture discrimination. Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America, 99, 17137-17142.

Scoville, W. B. & Milner, B. (1957). Loss of recent memory after bilateral hippocampal lesions. Journal of neurology, neurosurgery and psychiatry, 20, 11-21.

Seitz, R.J., Roland, P.E., Bohm, C. Greitz, T., & Stone-Elander, S. (1990). Motor learning in man : A positron emission tomography study. Neuroreport, 1, 57-66.

Shadmehr, R., & Brashers-Krug, T. (1997). Functional stages in the formation of human long-term motor memory. Journal of neuroscience, 17, 409-419.

Shadmehr, R., & Holcomb, H.H. (1997). Neural correlates of motor memory consolidation. Science, 277, 821-825.

Shadmehr, R., & Holcomb, H.H. (1999). Inhibitory control of competing motor memories : A pet study. Experimental brain research, 126, 235-251.

Shadmehr, R., & Mussa-Iavaldi, F.A. (1994). Adaptive representation of dynamics during learning of a motor task. Journal of neuroscience, 14, 3208-3224.

Simard, A., Barré, M., Tremblay, S., & Doyon, J. (1999a). The extent of practice within the fast acquisition stage influences the consistency but not the overall level of consolidation of motor skill learning. Society for neuroscience abstract, 25, 1899.

Simard, A., Tremblay, S., Barré, M., & Doyon, J. (1999b). Influence du nombre d'essais de pratique administrés lors de la session initiale d'apprentissage sur la consolidation de l'apprentissage d'une adaptation sensorimotrice. Abrégé publié dans le Programme et résumés des communications du XXII^{ième} Congrès de la Société Québécoise pour la Recherche en Psychologie (SQRP), Québec, Canada.

Smith, C. (2001). Sleep states and memory processes in humans : procedural versus declarative memory systems. Sleep medecine review, 5, 419-506.

Squire, L.R. (1992). Declarative and nondeclarative memory: Multiple brain systems supporting learning and memory. Journal of cognitive neuroscience, 4, 232-243.

Squire, L.R. (1998). Memory systems. Comptes rendus de l'académie des sciences, 321, 153-156.

Squire, L.R., et Alvarez, P. (1995). Retrograde amnesia and memory consolidation : a neurobiological perspective. Current opinion in neurobiology, 5, 169-177.

Squire, L.R., & Knowlton, B.J. (1995). Memory, hippocampus and brain systems. Dans M.S. Gazzaniga (Ed.), Cognitive neurosciences (pp. 825-837). London : MIT Press.

Squire, L.R., & Zola, S.M. (1996a). Structure and function of declarative and nondeclarative memory systems. Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America, 93, 13515-13522.

Squire, L.R., & Zola, S.M. (1996b). Memory, memory impairment and the medial temporal lobe. Cold Spring Harbor symposia on quantitaive biology, 61, 185-195.

Stickgold, R., LaTanya, J. & Hobson, J.A. (2000). Visual discrimination learning requires sleep after training. Nature neuroscience, 12, 1237-1238.

Thach, W.T., Goodkin, H.P., & Keating, J.G. (1992). The cerebellum and the adaptive coordination of movement. Annual review of neuroscience, 15, 403-442.

Tulving, E., & Markowitsch, H.J. (1997). Memory beyond the hippocampus. Current opinion in neurobiology, 7, 209-216.

Vergara, P., Diaz, R., Hall, C., Mischner, J., Nunez, L., Plascencia, N., & Fernandez-Ruiz, J. (1999). Prism adaptation and retention using ballistic movements in Parkinson's disease. Society for neuroscience abstract, 25, 895.

Walker, M.P., Brakefield, T., Morgan, A., Hobson, J.A. & Stickgold, R. (2002). Practice with sleep makes perfect : Sleep-dependent motor skill learning. Neuron, 35, 205-211.

Willingham, D.B. (1998). A neuropsychological theory of motor skill learning. Psychological review, 105, 558-584.

Willingham, D.B., Korshetz, W.J., & Peterson, E.W. (1996). Motor skills have neural bases : Spared and impaired skill acquisition in Huntington's disease. Neuropsychology, 10, 315-321.

Wolpert, D.M., Ghahramani, Z. & Jordan, M.I. (1995). An internal model for sensorimotor integration. Science, 269, 1880-1882.

Wolpert, D.M., Goodbody, S. & Husain, M. (1998). Maintaining internal representations : the role of the human superior parietal lobe. Nature neuroscience, 1, 529-533.

Wolpert, D.M., Miall, R.C. & Kawato, M. (1998). Internal models in the cerebellum. Trends in cognitive sciences, 2, 338-347.

Wulf, G., Hoess, M., & Prinz, W. (1998). Instructions for motor learning : Differential effects of internal versus external focus of attention. Journal of Motor Behavior, 30, 169-179.

Wulf, G., Lauterbach, B., & Toole, T. (1999). The learning advantages of an external focus of attention in golf. Research quarterly for exercice and sport, 70, 120-126.

ANNEXES

ANNEXE 1

FICHE D'IDENTIFICATION

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX

Étude : _____ Groupe : _____ Sujet : _____

Sexe : _____ Âge : _____ Éducation : _____

ANTÉCÉDENTS NEUROLOGIQUES, PSYCHIATRIQUES
Répondre par OUI (O) ou NON (N)

Épilepsie : _____ Alcoolisme : _____

ACV : _____ Toxicomanie : _____

TCC : _____ Dépression : _____

Démence : _____ Autres : _____

EXPÉRIENCE AVEC L'UTILISATION D'UN JOYSTICK

1 (jamais utilisé) **2** **3** **4** (expérience moyenne) **5** **6** **7** (expert)

Déroulement	Date	Heure
1e session		
2e session		

ANNEXE 2

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT (1)

Numéro d'approbation 213-2000
Comité Éthique de la Recherche
Université Laval

CARACTERISATION DE L'INFLUENCE DU NOMBRE DE BLOCS D'ESSAIS ADMINISTRÉ LORS DE LA PREMIERE SESSION D'ENTRAINEMENT SUR LA CONSOLIDATION D'UNE HABILETE MOTRICE

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

1. La présente étude a pour but de caractériser l'influence du nombre de blocs d'essais administré lors de la première session d'entraînement sur la consolidation d'une habileté motrice. L'apprentissage est mesuré à l'aide d'une tâche de poursuite de cibles.

2. J'ai été clairement informé (e) des conditions générales prévalant dans cette recherche. Je dois remplir un questionnaire d'identification et répondre à des questions sur mes antécédents neurologiques et psychiatriques. Ensuite, je serai convoqué (e) à deux sessions d'évaluation. La durée de chacune des sessions est d'environ une heure et l'intervalle maximum entre les deux sessions est de 22 à 26 heures. Plus précisément, la tâche expérimentale consiste à atteindre une cible, présentée à l'écran, en déplaçant le curseur à l'aide d'un levier. La relation entre le mouvement du curseur et celui du levier sera inversée afin de reproduire l'effet miroir.

3. Le seul inconvénient possible peut consister en une légère fatigue mentale et/ou physique. Pour atténuer cet inconvénient, des périodes de repos ont été prévues.

4. Puisque cette étude ne constitue pas un traitement, ma participation à cette recherche ne m'apportera aucun avantage personnel. Toutefois, elle favorisera la compréhension de l'influence du nombre de blocs d'essais administrés lors de la première session d'entraînement sur la consolidation d'une habileté motrice.

Initiales _____

5. Seuls le Dr Doyon et son équipe auront accès aux données recueillies. L'anonymat de ma participation et la confidentialité de mes résultats seront préservés de cette façon :

   5.1 Mon nom sera remplacé par un code. Ce code apparaîtra dans les fichiers informatiques et sur une fiche d'identification.

   5.2. Le présent formulaire de consentement et la fiche d'identification seront conservés sous clé, dans des fiches différentes, de façon à ce qu'aucune association ne soit possible.

   Une personne-ressource sera disponible à la fin de la deuxième session d'expérimentation afin de m'expliquer le but de cette recherche plus en détail et pour répondre à toutes mes questions. De plus, un membre de l'équipe du Dr Doyon est disponible pour me communiquer les résultats de l'étude à la fin du projet.

6. Un montant de dix dollars me sera remis, à la fin de l'expérimentation, comme dédommagement pour mes frais de déplacement et de repas à la suite de ma participation.

7. Je peux me retirer de cette recherche en tout temps, et ce, sans aucun préjudice. Je n'ai qu'à avertir les responsables de la recherche de ma décision. Dans l'éventualité où je deviendrais malade ou subirais un dommage en participant à ce projet de recherche, les traitements médicaux nécessaires me seront disponibles. En signant ce formulaire, je ne renonce aucunement à mes droits et je ne libère pas le chercheur ou les institutions impliquées de leurs responsabilités légales ou professionnelles.

8. Le Dr Julien Doyon, Ph.D., professeur titulaire au département de psychologie de l'Université de Montréal, est responsable de cette recherche. Il peut être rejoint aux coordonnées suivantes :

   Département de psychologie, bureau F 416-4, Pavillon Marie-Victorin,
   Université de Montréal, Téléphone : 514-343-6502

Initiales _____

Son équipe à Québec peut être rejointe aux coordonnées suivantes :

Alain Simard, École de psychologie, Laboratoire de neuropsychologie, bureau 0084 ou 0086, Pavillon Félix-Antoine Savard, Université Laval, Téléphone : 656-2131 poste 6605.

Si j'ai des questions concernant les droits des participants au cours de projets de recherche, je peux rejoindre l'Obusman de l'Université Laval aux coordonnées suivantes 656-3081.

Je soussigné (e) _____consens librement à participer à ce projet de recherche. J'ai eu l'occasion de poser des questions et j'ai obtenu des réponses satisfaisantes. Je comprends en quoi consiste ma participation. Je connais les risques potentiels, les inconvénients et les bénéfices possibles. Une copie de ce formulaire de consentement me sera remise.

_____
Participant

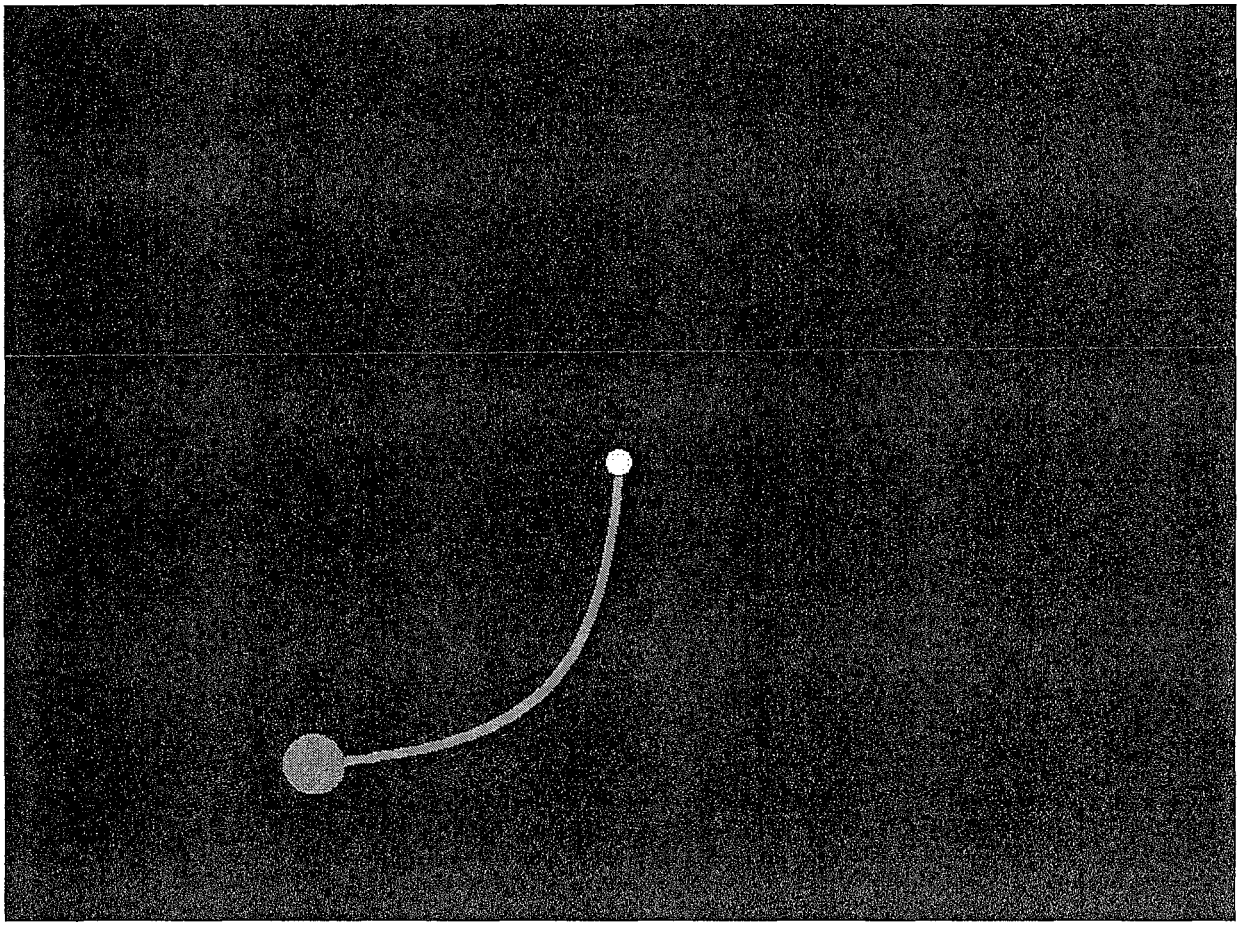
_____
Alain Simard, M.Ps.
Candidat au grade de Philosophiae Doctor (Ph.D.)
École de psychologie
Université Laval

_____
Julien Doyon, Ph.D.
Chercheur
Département de psychologie
Université de Montréal

Lue et signée le _____.

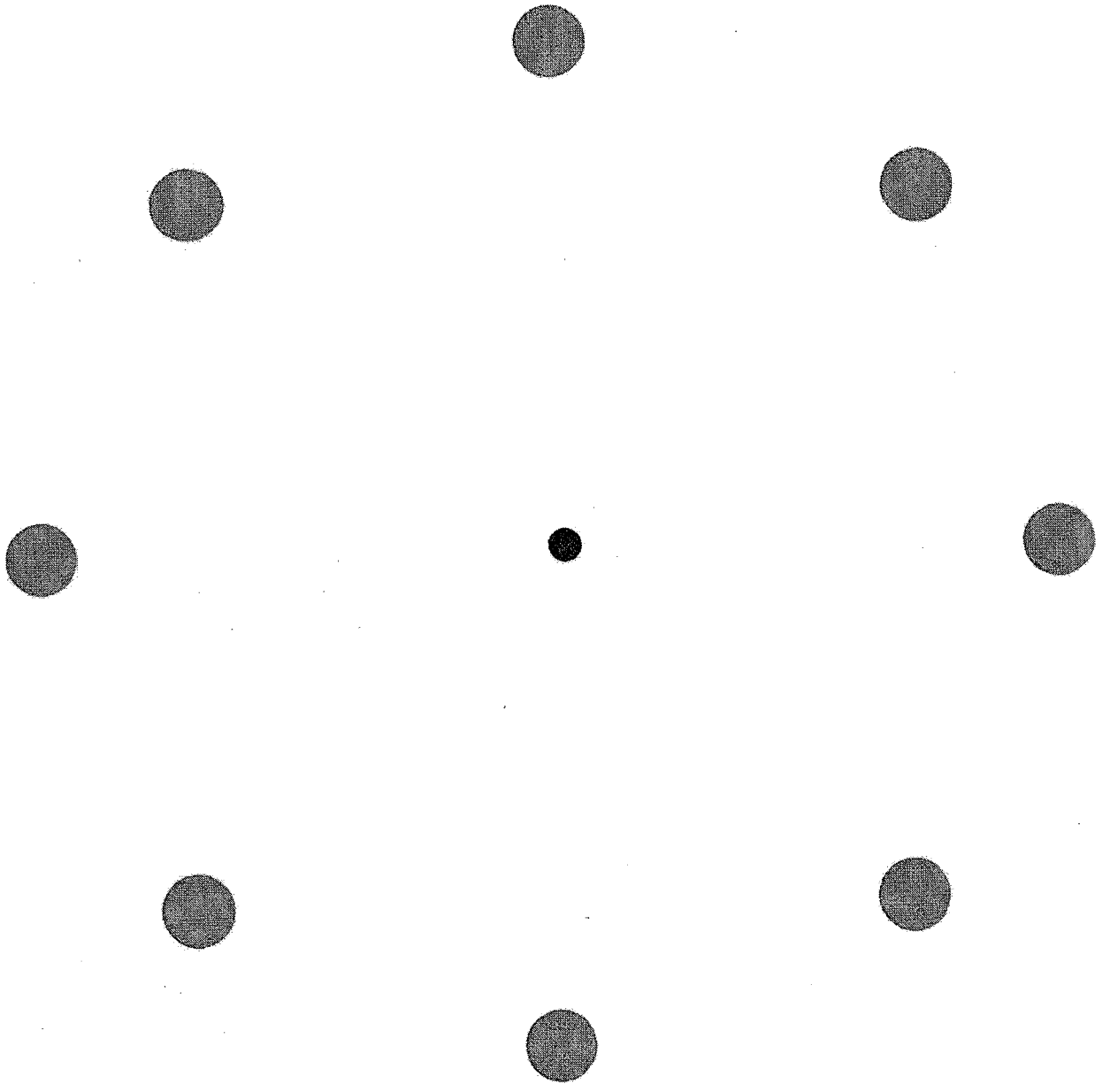
ANNEXE 3

STIMULUS TYPE



ANNEXE 4

POSITION DES CIBLES



ANNEXE 5

CONSIGNES

CONSIGNES

Lorsque l'expérimentation va débuter, un stimulus représenté par 4 composantes apparaîtra à l'écran. Le point de départ, représenté par un petit cercle blanc, situé en plein centre de l'écran. Le curseur, en forme de croix, superposé automatiquement au point de départ à chaque essai. Une trajectoire, représentée par une droite non-linéaire grise en forme d'ellipse. Une cible, représentée par un grand cercle rouge, situé à l'extrémité de l'écran. Il y a huit cibles possibles distribuées à distance équivalente sur un rayon de 10 cm autour du point de départ et elles sont présentées aléatoirement. La tâche consiste à utiliser le levier pour déplacer le curseur du point de départ jusqu'à la cible en suivant la trajectoire proposée. Lorsque la cible est atteinte, elle change de couleur et un nouveau stimulus est présenté. Si la cible n'est pas atteinte à l'intérieur des délais prescrits, l'essai à comptabiliser comme un échec et un nouveau stimulus apparaît. La performance à cette tâche est évaluée par plusieurs indices de mesure différents qui tiennent compte de trois facteurs. Le temps nécessaire pour atteindre la cible, la distance parcourue pour atteindre la cible et le nombre de cibles atteintes.

Pour débuter, 5 blocs de huit essais de pratique sont alloués pour observer le niveau de performance. Lorsque le niveau de performance attendu sera atteint, les blocs expérimentaux vont débuter. Les blocs de pratique sont en condition directe, c'est-à-dire que la relation entre les mouvements du levier et du curseur est cohérente. Ainsi, un mouvement du levier vers le haut produit également un mouvement du curseur vers le haut et un mouvement du levier vers la droite produit un mouvement du curseur vers la droite. Par contre, les blocs expérimentaux sont en condition indirecte, c'est-à-dire que la relation entre les mouvements du levier et du curseur est incohérente ou inverse. Ainsi, un mouvement du levier vers le haut produit un mouvement du curseur vers le bas et un mouvement du levier vers la droite produit un mouvement du curseur vers la gauche. Ta tâche, au cours du passage de la condition directe à la condition indirecte, demeure la même. Entre chaque essai, un écran noir apparaît où il est indiqué « préparez-vous » et, entre chaque bloc d'essais, un écran apparaît où il est indiqué « Appuyez sur la barre d'espace pour commencer ». Il n'y a pas de période de repos de prévue, toutefois si le besoin de prendre quelques secondes de repos survient, il suffit d'attendre avant d'appuyer sur la barre d'espace entre deux blocs d'essais.

ANNEXE 6

CONSIGNES AXÉES SUR LA VITESSE D'EXÉCUTION

CONSIGNES AXÉES SUR LA VITESSE D'EXÉCUTION

Lorsque l'expérimentation va débuter, un stimulus représenté par 4 composantes apparaîtra à l'écran. Le point de départ, représenté par un petit cercle blanc, situé en plein centre de l'écran. Le curseur, en forme de croix, superposé automatiquement au point de départ à chaque essai. Une trajectoire, représentée par une droite non-linéaire grise en forme d'ellipse. Une cible, représentée par un grand cercle rouge, situé à l'extrémité de l'écran. Il y a huit cibles possibles distribuées à distance équivalente sur un rayon de 10 cm autour du point de départ et elles sont présentées aléatoirement. La tâche consiste à utiliser le levier pour déplacer le curseur du point de départ jusqu'à la cible en suivant la trajectoire proposée. Lorsque la cible est atteinte, elle change de couleur et un nouveau stimulus est présenté. Si la cible n'est pas atteinte à l'intérieur des délais prescrits, l'essai à comptabiliser comme un échec et un nouveau stimulus apparaît. **La performance est évaluée en fonction du temps nécessaire pour atteindre la cible. Il est donc important d'atteindre la cible le plus rapidement possible.**

Pour débuter, 5 blocs de huit essais de pratique sont alloués pour observer le niveau de performance. Lorsque le niveau de performance attendu sera atteint, les blocs expérimentaux vont débuter. Les blocs de pratique sont en condition directe, c'est-à-dire que la relation entre les mouvements du levier et du curseur est cohérente. Ainsi, un mouvement du levier vers le haut produit également un mouvement du curseur vers le haut et un mouvement du levier vers la droite produit un mouvement du curseur vers la droite. Par contre, les blocs expérimentaux sont en condition indirecte, c'est-à-dire que la relation entre les mouvements du levier et du curseur est incohérente ou inverse. Ainsi, un mouvement du levier vers le haut produit un mouvement du curseur vers le bas et un mouvement du levier vers la droite produit un mouvement du curseur vers la gauche. Ta tâche, au cours du passage de la condition directe à la condition indirecte, demeure la même. Entre chaque essai, un écran noir apparaît où il est indiqué « préparez-vous » et, entre chaque bloc d'essais, un écran apparaît où il est indiqué « Appuyez sur la barre d'espace pour commencer ». Il n'y a pas de période de repos de prévue, toutefois si le besoin de prendre quelques secondes de repos survient, il suffit d'attendre avant d'appuyer sur la barre d'espace entre deux blocs d'essais.

ANNEXE 7

CONSIGNES AXÉES SUR LA PRÉCISION DU MOUVEMENT

CONSIGNES AXÉES SUR LA PRÉCISION DU MOUVEMENT

Lorsque l'expérimentation va débuter, un stimulus représenté par 4 composantes apparaîtra à l'écran. Le point de départ, représenté par un petit cercle blanc, situé en plein centre de l'écran. Le curseur, en forme de croix, superposé automatiquement au point de départ à chaque essai. Une trajectoire, représentée par une droite non-linéaire grise en forme d'ellipse. Une cible, représentée par un grand cercle rouge, situé à l'extrémité de l'écran. Il y a huit cibles possibles distribuées à distance équivalente sur un rayon de 10 cm autour du point de départ et elles sont présentées aléatoirement. La tâche consiste à utiliser le levier pour déplacer le curseur du point de départ jusqu'à la cible en suivant la trajectoire proposée. Lorsque la cible est atteinte, elle change de couleur et un nouveau stimulus est présenté. Si la cible n'est pas atteinte à l'intérieur des délais prescrits, l'essai à comptabiliser comme un échec et un nouveau stimulus apparaît. **La performance est évaluée en fonction de la précision avec laquelle la trajectoire est suivie. Il est donc important de bien suivre la trajectoire proposée.**

Pour débuter, 5 blocs de huit essais de pratique sont alloués pour observer le niveau de performance. Lorsque le niveau de performance attendu sera atteint, les blocs expérimentaux vont débuter. Les blocs de pratique sont en condition directe, c'est-à-dire que la relation entre les mouvements du levier et du curseur est cohérente. Ainsi, un mouvement du levier vers le haut produit également un mouvement du curseur vers le haut et un mouvement du levier vers la droite produit un mouvement du curseur vers la droite. Par contre, les blocs expérimentaux sont en condition indirecte, c'est-à-dire que la relation entre les mouvements du levier et du curseur est incohérente ou inverse. Ainsi, un mouvement du levier vers le haut produit un mouvement du curseur vers le bas et un mouvement du levier vers la droite produit un mouvement du curseur vers la gauche. Ta tâche, au cours du passage de la condition directe à la condition indirecte, demeure la même. Entre chaque essai, un écran noir apparaît où il est indiqué « préparez-vous » et, entre chaque bloc d'essais, un écran apparaît où il est indiqué « Appuyez sur la barre d'espace pour commencer ». Il n'y a pas de période de repos de prévue, toutefois si le besoin de prendre quelques secondes de repos survient, il suffit d'attendre avant d'appuyer sur la barre d'espace entre deux blocs d'essais.

ANNEXE 8

CONSIGNES AXÉES SUR LA COMBINAISON DE LA VITESSE D'EXÉCUTION ET DE LA PRÉCISION DU MOUVEMENT

CONSIGNES AXÉES SUR LA COMBINAISON DE LA VITESSE D'EXÉCUTION ET DE LA PRÉCISION DU MOUVEMENT

Lorsque l'expérimentation va débuter, un stimulus représenté par 4 composantes apparaîtra à l'écran. Le point de départ, représenté par un petit cercle blanc, situé en plein centre de l'écran. Le curseur, en forme de croix, superposé automatiquement au point de départ à chaque essai. Une trajectoire, représentée par une droite non-linéaire grise en forme d'ellipse. Une cible, représentée par un grand cercle rouge, situé à l'extrémité de l'écran. Il y a huit cibles possibles distribuées à distance équivalente sur un rayon de 10 cm autour du point de départ et elles sont présentées aléatoirement. La tâche consiste à utiliser le levier pour déplacer le curseur du point de départ jusqu'à la cible en suivant la trajectoire proposée. Lorsque la cible est atteinte, elle change de couleur et un nouveau stimulus est présenté. Si la cible n'est pas atteinte à l'intérieur des délais prescrits, l'essai à comptabiliser comme un échec et un nouveau stimulus apparaît. **La performance est évaluée en fonction du temps nécessaire pour atteindre la cible et de la précision avec laquelle la trajectoire est suivie. Il est donc important d'atteindre la cible le plus rapidement possible et de bien suivre la trajectoire proposée.**

Pour débuter, 5 blocs de huit essais de pratique sont alloués pour observer le niveau de performance. Lorsque le niveau de performance attendu sera atteint, les blocs expérimentaux vont débuter. Les blocs de pratique sont en condition directe, c'est-à-dire que la relation entre les mouvements du levier et du curseur est cohérente. Ainsi, un mouvement du levier vers le haut produit également un mouvement du curseur vers le haut et un mouvement du levier vers la droite produit un mouvement du curseur vers la droite. Par contre, les blocs expérimentaux sont en condition indirecte, c'est-à-dire que la relation entre les mouvements du levier et du curseur est incohérente ou inverse. Ainsi, un mouvement du levier vers le haut produit un mouvement du curseur vers le bas et un mouvement du levier vers la droite produit un mouvement du curseur vers la gauche. Ta tâche, au cours du passage de la condition directe à la condition indirecte, demeure la même. Entre chaque essai, un écran noir apparaît où il est indiqué « préparez-vous » et, entre chaque bloc d'essais, un écran apparaît où il est indiqué « Appuyez sur la barre d'espace pour commencer ». Il n'y a pas de période de repos de prévue, toutefois si le besoin de prendre quelques secondes de repos survient, il suffit d'attendre avant d'appuyer sur la barre d'espace entre deux blocs d'essais.

ANNEXE 9

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT (2)

Numéro d'approbation 213-2000
Comité Éthique de la Recherche
Université Laval

CARACTERISATION DE LA PÉRIODE DE LATENCE ENTRE DEUX SESSIONS D'ENTRAÎNEMENT ET COMPARAISON DE SCHÈMES AVEC OU SANS TÂCHE INTERFÉRENTE SUR LA CONSOLIDATION D'UNE HABILETÉ MOTRICE

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

1. La présente étude vise la caractérisation de la période de latence et la comparaison des schèmes avec ou sans tâche interférente sur la consolidation d'une habileté motrice. L'apprentissage est mesuré à l'aide d'une tâche de poursuite de cibles.

2. J'ai été clairement informé (e) des conditions générales prévalant dans cette recherche. Je dois remplir un questionnaire d'identification et répondre à des questions sur mes antécédents neurologiques et psychiatriques. Ensuite, je serai convoqué (e) à deux sessions d'évaluation. La durée de chacune des sessions est d'environ une heure et l'intervalle maximum entre les deux sessions est de 5 heures. Plus précisément, la tâche expérimentale consiste à atteindre une cible, présentée à l'écran, en déplaçant le curseur à l'aide d'un levier. La relation entre le mouvement du curseur et celui du levier sera inversée afin de reproduire l'effet miroir.

3. Le seul inconvénient possible peut consister en une légère fatigue mentale et/ou physique. Pour atténuer cet inconvénient, des périodes de repos ont été prévues.

4. Puisque cette étude ne constitue pas un traitement, ma participation à cette recherche ne m'apportera aucun avantage personnel. Toutefois, elle favorisera la caractérisation de la période de latence et la comparaison des schèmes avec ou sans tâche interférente sur la consolidation d'une habileté motrice.

Initiales _____

5. Seuls le Dr Doyon et son équipe auront accès aux données recueillies. L'anonymat de ma participation et la confidentialité de mes résultats seront préservés de cette façon :

   5.1 Mon nom sera remplacé par un code. Ce code apparaîtra dans les fichiers informatiques et sur une fiche d'identification.

   5.2. Le présent formulaire de consentement et la fiche d'identification seront conservés sous clé, dans des fiches différentes, de façon à ce qu'aucune association ne soit possible.

   Une personne-ressource sera disponible à la fin de la deuxième session d'expérimentation afin de m'expliquer le but de cette recherche plus en détail et pour répondre à toutes mes questions. De plus, un membre de l'équipe du Dr Doyon est disponible pour me communiquer les résultats de l'étude à la fin du projet.

6. Un montant de dix dollars me sera remis, à la fin de l'expérimentation, comme dédommagement pour mes frais de déplacement et de repas à la suite de ma participation.

7. Je peux me retirer de cette recherche en tout temps, et ce, sans aucun préjudice. Je n'ai qu'à avertir les responsables de la recherche de ma décision. Dans l'éventualité où je deviendrais malade ou subirais un dommage en participant à ce projet de recherche, les traitements médicaux nécessaires me seront disponibles. En signant ce formulaire, je ne renonce aucunement à mes droits et je ne libère pas le chercheur ou les institutions impliquées de leurs responsabilités légales ou professionnelles.

8. Le Dr Julien Doyon, Ph.D., professeur titulaire au département de psychologie de l'Université de Montréal, est responsable de cette recherche. Il peut être rejoint aux coordonnées suivantes :

   Département de psychologie, bureau F 416-4, Pavillon Marie-Victorin,
   Université de Montréal, Téléphone : 514-343-6502

Initiales _____

Son équipe à Québec peut être rejointe aux coordonnées suivantes :

> Alain Simard, École de psychologie, Laboratoire de neuropsychologie, bureau 0084 ou 0086, Pavillon Félix-Antoine Savard, Université Laval, Téléphone : 656-2131 poste 6605.

Si j'ai des questions concernant les droits des participants au cours de projets de recherche, je peux rejoindre l'Obusman de l'Université Laval aux coordonnées suivantes 656-3081.

Je soussigné (e) _____consens librement à participer à ce projet de recherche. J'ai eu l'occasion de poser des questions et j'ai obtenu des réponses satisfaisantes. Je comprends en quoi consiste ma participation. Je connais les risques potentiels, les inconvénients et les bénéfices possibles. Une copie de ce formulaire de consentement me sera remise.

_____
Participant

_____
Alain Simard, M.Ps.
Candidat au grade de Philosophiae Doctor (Ph.D.)
École de psychologie
Université Laval

_____
Julien Doyon, Ph.D.
Chercheur
Département de psychologie
Université de Montréal

Lue et signée le _____.

ANNEXE 10

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT (3)

Numéro d'approbation 213-2000
Comité Éthique de la Recherche
Université Laval

CARACTÉRISATION DE LA PÉRIODE DE LATENCE ENTRE DEUX SESSIONS D'ENTRAÎNEMENT ET COMPARAISON DE SCHÈMES AVEC OU SANS TÂCHE INTERFÉRENTE SUR LA CONSOLIDATION D'UNE HABILETÉ MOTRICE

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

1. La présente étude vise la caractérisation de la période de latence et la comparaison des schèmes avec ou sans tâche interférente sur la consolidation d'une habileté motrice. L'apprentissage est mesuré à l'aide d'une tâche de poursuite de cibles.

2. J'ai été clairement informé (e) des conditions générales prévalant dans cette recherche. Je dois remplir un questionnaire d'identification et répondre à des questions sur mes antécédents neurologiques et psychiatriques. Ensuite, je serai convoqué (e) à deux sessions d'évaluation dans un intervalle maximum de 22 à 26 heures. La durée de la première session est d'environ deux heures, tandis que la deuxième session est d'environ une heure. Plus précisément, la tâche expérimentale consiste à atteindre une cible, présentée à l'écran, en déplaçant le curseur à l'aide d'un levier. La relation entre le mouvement du curseur et celui du levier sera inversée afin de reproduire l'effet miroir.

3. Le seul inconvénient possible peut consister en une légère fatigue mentale et/ou physique. Pour atténuer cet inconvénient, des périodes de repos ont été prévues.

4. Puisque cette étude ne constitue pas un traitement, ma participation à cette recherche ne m'apportera aucun avantage personnel. Toutefois, elle favorisera la caractérisation de la période de latence et la comparaison des schèmes avec ou sans tâche interférente sur la consolidation d'une habileté motrice.

Initiales _____

5. Seuls le Dr Doyon et son équipe auront accès aux données recueillies. L'anonymat de ma participation et la confidentialité de mes résultats seront préservés de cette façon :

   5.1 Mon nom sera remplacé par un code. Ce code apparaîtra dans les fichiers informatiques et sur une fiche d'identification.

   5.2. Le présent formulaire de consentement et la fiche d'identification seront conservés sous clé, dans des fiches différentes, de façon à ce qu'aucune association ne soit possible.

   Une personne-ressource sera disponible à la fin de la deuxième session d'expérimentation afin de m'expliquer le but de cette recherche plus en détail et pour répondre à toutes mes questions. De plus, un membre de l'équipe du Dr Doyon est disponible pour me communiquer les résultats de l'étude à la fin du projet.

6. Un montant de quinze dollars me sera remis, à la fin de l'expérimentation, comme dédommagement pour mes frais de déplacement et de repas à la suite de ma participation.

7. Je peux me retirer de cette recherche en tout temps, et ce, sans aucun préjudice. Je n'ai qu'à avertir les responsables de la recherche de ma décision. Dans l'éventualité où je deviendrais malade ou subirais un dommage en participant à ce projet de recherche, les traitements médicaux nécessaires me seront disponibles. En signant ce formulaire, je ne renonce aucunement à mes droits et je ne libère pas le chercheur ou les institutions impliquées de leurs responsabilités légales ou professionnelles.

8. Le Dr Julien Doyon, Ph.D., professeur titulaire au département de psychologie de l'Université de Montréal, est responsable de cette recherche. Il peut être rejoint aux coordonnées suivantes :

   Département de psychologie, bureau F 416-4, Pavillon Marie-Victorin,
   Université de Montréal, Téléphone : 514-343-6502

Initiales _____

Son équipe à Québec peut être rejointe aux coordonnées suivantes :

Alain Simard, École de psychologie, Laboratoire de neuropsychologie, bureau 0084 ou 0086, Pavillon Félix-Antoine Savard, Université Laval, Téléphone : 656-2131 poste 6605.

Si j'ai des questions concernant les droits des participants au cours de projets de recherche, je peux rejoindre l'Obusman de l'Université Laval aux coordonnées suivantes 656-3081.

Je soussigné (e) _____consens librement à participer à ce projet de recherche. J'ai eu l'occasion de poser des questions et j'ai obtenu des réponses satisfaisantes. Je comprends en quoi consiste ma participation. Je connais les risques potentiels, les inconvénients et les bénéfices possibles. Une copie de ce formulaire de consentement me sera remise.

_____
Participant

_____
Alain Simard, M.Ps.
Candidat au grade de Philosophiae Doctor (Ph.D.)
École de psychologie
Université Laval

_____
Julien Doyon, Ph.D.
Chercheur
Département de psychologie
Université de Montréal

Lue et signée le _____.

ANNEXE 11

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT (4)

Numéro d'approbation 213-2000
Comité Éthique de la Recherche
Université Laval

CARACTÉRISATION DE LA PÉRIODE DE LATENCE ENTRE DEUX SESSIONS D'ENTRAÎNEMENT ET COMPARAISON DE SCHÈMES AVEC OU SANS TÂCHE INTERFÉRENTE SUR LA CONSOLIDATION D'UNE HABILETÉ MOTRICE

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

1. La présente étude vise la caractérisation de la période de latence et la comparaison des schèmes avec ou sans tâche interférente sur la consolidation d'une habileté motrice. L'apprentissage est mesuré à l'aide d'une tâche de poursuite de cibles.

2. J'ai été clairement informé (e) des conditions générales prévalant dans cette recherche. Je dois remplir un questionnaire d'identification et répondre à des questions sur mes antécédents neurologiques et psychiatriques. Ensuite, je serai convoqué (e) à trois sessions d'évaluation dans un intervalle maximum de 22 à 26 heures. La durée de chacune des sessions est d'environ une heure. Plus précisément, la tâche expérimentale consiste à atteindre une cible, présentée à l'écran, en déplaçant le curseur à l'aide d'un levier. La relation entre le mouvement du curseur et celui du levier sera inversée afin de reproduire l'effet miroir.

3. Le seul inconvénient possible peut consister en une légère fatigue mentale et/ou physique. Pour atténuer cet inconvénient, des périodes de repos ont été prévues.

4. Puisque cette étude ne constitue pas un traitement, ma participation à cette recherche ne m'apportera aucun avantage personnel. Toutefois, elle favorisera la caractérisation de la période de latence et la comparaison des schèmes avec ou sans tâche interférente sur la consolidation d'une habileté motrice.

Initiales _____

5. Seuls le Dr Doyon et son équipe auront accès aux données recueillies. L'anonymat de ma participation et la confidentialité de mes résultats seront préservés de cette façon :

   5.1 Mon nom sera remplacé par un code. Ce code apparaîtra dans les fichiers informatiques et sur une fiche d'identification.

   5.2. Le présent formulaire de consentement et la fiche d'identification seront conservés sous clé, dans des fiches différentes, de façon à ce qu'aucune association ne soit possible.

   Une personne-ressource sera disponible à la fin de la deuxième session d'expérimentation afin de m'expliquer le but de cette recherche plus en détail et pour répondre à toutes mes questions. De plus, un membre de l'équipe du Dr Doyon est disponible pour me communiquer les résultats de l'étude à la fin du projet.

6. Un montant de vingt dollars me sera remis, à la fin de l'expérimentation, comme dédommagement pour mes frais de déplacement et de repas à la suite de ma participation.

7. Je peux me retirer de cette recherche en tout temps, et ce, sans aucun préjudice. Je n'ai qu'à avertir les responsables de la recherche de ma décision. Dans l'éventualité où je deviendrais malade ou subirais un dommage en participant à ce projet de recherche, les traitements médicaux nécessaires me seront disponibles. En signant ce formulaire, je ne renonce aucunement à mes droits et je ne libère pas le chercheur ou les institutions impliquées de leurs responsabilités légales ou professionnelles.

8. Le Dr Julien Doyon, Ph.D., professeur titulaire au département de psychologie de l'Université de Montréal, est responsable de cette recherche. Il peut être rejoint aux coordonnées suivantes :

   Département de psychologie, bureau F 416-4, Pavillon Marie-Victorin,
   Université de Montréal, Téléphone : 514-343-6502

Initiales _____

Son équipe à Québec peut être rejointe aux coordonnées suivantes :

Alain Simard, École de psychologie, Laboratoire de neuropsychologie, bureau 0084 ou 0086, Pavillon Félix-Antoine Savard, Université Laval, Téléphone : 656-2131 poste 6605.

Si j'ai des questions concernant les droits des participants au cours de projets de recherche, je peux rejoindre l'Obusman de l'Université Laval aux coordonnées suivantes 656-3081.

Je soussigné (e) _____consens librement à participer à ce projet de recherche. J'ai eu l'occasion de poser des questions et j'ai obtenu des réponses satisfaisantes. Je comprends en quoi consiste ma participation. Je connais les risques potentiels, les inconvénients et les bénéfices possibles. Une copie de ce formulaire de consentement me sera remise.

_____
Participant

_____
Alain Simard, M.Ps.
Candidat au grade de Philosophiae Doctor (Ph.D.)
École de psychologie
Université Laval

_____
Julien Doyon, Ph.D.
Chercheur
Département de psychologie
Université de Montréal

Lue et signée le _____.

ANNEXE 12

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT (5)

Numéro d'approbation 213-2000
Comité Éthique de la Recherche
Université Laval

CARACTÉRISATION DE LA PÉRIODE DE LATENCE ENTRE DEUX SESSIONS D'ENTRAÎNEMENT ET COMPARAISON DE SCHÈMES AVEC OU SANS TÂCHE INTERFÉRENTE SUR LA CONSOLIDATION D'UNE HABILETÉ MOTRICE

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

1. La présente étude vise la caractérisation de la période de latence et la comparaison des schèmes avec ou sans tâche interférente sur la consolidation d'une habileté motrice. L'apprentissage est mesuré à l'aide d'une tâche de poursuite de cibles.

2. J'ai été clairement informé (e) des conditions générales prévalant dans cette recherche. Je dois remplir un questionnaire d'identification et répondre à des questions sur mes antécédents neurologiques et psychiatriques. Ensuite, je serai convoqué (e) à deux sessions d'évaluation dans un intervalle maximum de 8 heures. La durée de chacune des sessions est d'environ une heure. Plus précisément, la tâche expérimentale consiste à atteindre une cible, présentée à l'écran, en déplaçant le curseur à l'aide d'un levier. La relation entre le mouvement du curseur et celui du levier sera inversée afin de reproduire l'effet miroir.

3. Le seul inconvénient possible peut consister en une légère fatigue mentale et/ou physique. Pour atténuer cet inconvénient, des périodes de repos ont été prévues.

4. Puisque cette étude ne constitue pas un traitement, ma participation à cette recherche ne m'apportera aucun avantage personnel. Toutefois, elle favorisera la caractérisation de la période de latence et la comparaison des schèmes avec ou sans tâche interférente sur la consolidation d'une habileté motrice.

Initiales _____

5. Seuls le Dr Doyon et son équipe auront accès aux données recueillies. L'anonymat de ma participation et la confidentialité de mes résultats seront préservés de cette façon :

   5.1 Mon nom sera remplacé par un code. Ce code apparaîtra dans les fichiers informatiques et sur une fiche d'identification.

   5.2. Le présent formulaire de consentement et la fiche d'identification seront conservés sous clé, dans des fiches différentes, de façon à ce qu'aucune association ne soit possible.

   Une personne-ressource sera disponible à la fin de la deuxième session d'expérimentation afin de m'expliquer le but de cette recherche plus en détail et pour répondre à toutes mes questions. De plus, un membre de l'équipe du Dr Doyon est disponible pour me communiquer les résultats de l'étude à la fin du projet.

6. Un montant de quinze dollars me sera remis, à la fin de l'expérimentation, comme dédommagement pour mes frais de déplacement et de repas à la suite de ma participation.

7. Je peux me retirer de cette recherche en tout temps, et ce, sans aucun préjudice. Je n'ai qu'à avertir les responsables de la recherche de ma décision. Dans l'éventualité où je deviendrais malade ou subirais un dommage en participant à ce projet de recherche, les traitements médicaux nécessaires me seront disponibles. En signant ce formulaire, je ne renonce aucunement à mes droits et je ne libère pas le chercheur ou les institutions impliquées de leurs responsabilités légales ou professionnelles.

8. Le Dr Julien Doyon, Ph.D., professeur titulaire au département de psychologie de l'Université de Montréal, est responsable de cette recherche. Il peut être rejoint aux coordonnées suivantes :

   Département de psychologie, bureau F 416-4, Pavillon Marie-Victorin,
   Université de Montréal, Téléphone : 514-343-6502

Initiales _____

Son équipe à Québec peut être rejointe aux coordonnées suivantes :

Alain Simard, École de psychologie, Laboratoire de neuropsychologie, bureau 0084 ou 0086, Pavillon Félix-Antoine Savard, Université Laval, Téléphone : 656-2131 poste 6605.

Si j'ai des questions concernant les droits des participants au cours de projets de recherche, je peux rejoindre l'Obusman de l'Université Laval aux coordonnées suivantes 656-3081.

Je soussigné (e) _____consens librement à participer à ce projet de recherche. J'ai eu l'occasion de poser des questions et j'ai obtenu des réponses satisfaisantes. Je comprends en quoi consiste ma participation. Je connais les risques potentiels, les inconvénients et les bénéfices possibles. Une copie de ce formulaire de consentement me sera remise.

_____
Participant

_____
Alain Simard, M.Ps.
Candidat au grade de Philosophiae Doctor (Ph.D.)
École de psychologie
Université Laval

_____
Julien Doyon, Ph.D.
Chercheur
Département de psychologie
Université de Montréal

Lue et signée le _____.

ANNEXE 13

CONSIGNES AXÉES SUR LA COMBINAISON DE LA VITESSE D'EXÉCUTION ET DE LA PRÉCISION DES MOUVEMENTS POUR LA TÂCHE INTERFÉRENTE SEMBLABLE MAIS CONFLICTUELLE

CONSIGNES AXÉES SUR LA COMBINAISON DE LA VITESSE D'EXÉCUTION ET DE LA PRÉCISION DES MOUVEMENTS POUR LA TÂCHE INTERFÉRENTE SEMBLABLE MAIS CONFLICTUELLE

Lorsque l'expérimentation va débuter, un stimulus représenté par 4 composantes apparaîtra à l'écran. Le point de départ, représenté par un petit cercle blanc, situé en plein centre de l'écran. Le curseur, en forme de croix, superposé automatiquement au point de départ à chaque essai. Une trajectoire, représentée par une droite non-linéaire grise en forme d'ellipse. Une cible, représentée par un grand cercle rouge, situé à l'extrémité de l'écran. Il y a huit cibles possibles distribuées à distance équivalente sur un rayon de 10 cm autour du point de départ et elles sont présentées aléatoirement. La tâche consiste à utiliser le levier pour déplacer le curseur du point de départ jusqu'à la cible en suivant la trajectoire proposée. Lorsque la cible est atteinte, elle change de couleur et un nouveau stimulus est présenté. Si la cible n'est pas atteinte à l'intérieur des délais prescrits, l'essai à comptabiliser comme un échec et un nouveau stimulus apparaît. **La performance est évaluée en fonction du temps nécessaire pour atteindre la cible et de la précision avec laquelle la trajectoire est suivie Il est donc important d'atteindre la cible le plus rapidement possible et de bien suivre la trajectoire proposée.**

Dans cette condition, seul l'axe des Y est inversé. Ainsi, un mouvement du levier vers le haut produit un mouvement du curseur vers le bas et un mouvement du levier vers la droite produit un mouvement du curseur vers la droite. Ta tâche, au cours de ces blocs demeure la même. Entre chaque essai, un écran noir apparaît où il est indiqué « préparez-vous » et, entre chaque bloc d'essais, un écran apparaît où il est indiqué « Appuyez sur la barre d'espace pour commencer ». Il n'y a pas de période de repos de prévue, toutefois si le besoin de prendre quelques secondes de repos survient, il suffit d'attendre avant d'appuyer sur la barre d'espace entre deux blocs d'essais.

ANNEXE 14

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT (6)

Centre hospitalier
affilié universitaire
de Québec

1401, 18e Rue
Québec, (Québec)
G1J 1Z4
Tél.: (418) 649-0252

Numéro d'approbation PEJ-095
Comité éthique de la recherche

RÔLE DU STRIATUM ET DU CERVELET DANS LA CONSOLIDATION D'UNE ADAPTATION SENSORI-MOTRICE

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

1. La présente étude a pour but de déterminer le rôle du striatum, atteint dans la maladie de Parkinson, et du cervelet dans la consolidation d'une adaptation sensori-motrice. L'apprentissage est mesuré à l'aide d'une tâche de poursuite de cibles.

2. J'ai été clairement informé (e) des conditions générales prévalant dans cette recherche. Je dois remplir un questionnaire d'identification et répondre à des questions sur mes antécédents neurologiques et psychiatriques. Ensuite, un court protocole d'évaluation neuropsychologique me sera administré. Si ma candidature est retenue, je serai convoqué (e) à deux sessions d'évaluation. La durée de chacune des sessions est d'environ deux heures et l'intervalle maximum entre les deux sessions est de 22 à 26 heures. Plus précisément, la tâche expérimentale consiste à atteindre une cible, présentée à l'écran, en déplaçant le curseur à l'aide d'un levier. La relation entre le mouvement du curseur et celui du levier sera inversée afin de reproduire l'effet miroir.

3. Le seul inconvénient possible peut consister en une légère fatigue mentale et/ou physique. Pour atténuer cet inconvénient, des périodes de repos ont été prévues.

4. Puisque cette étude ne constitue pas un traitement, ma participation à cette recherche ne m'apportera aucun avantage personnel. Toutefois, elle favorisera la compréhension du rôle de certaines structures cérébrales, telles que le cervelet et le striatum, impliquées dans la consolidation d'une adaptation sensori-motrice.

Initiales_____

5. Seuls le Dr Doyon et son équipe auront accès aux données recueillies. L'anonymat de ma participation et la confidentialité de mes résultats seront préservés de cette façon :

   5.1 Mon nom sera remplacé par un code. Ce code apparaîtra dans les fichiers informatiques et sur une fiche d'identification.

   5.2. Le présent formulaire de consentement et la fiche d'identification seront conservés sous clé, dans des fiches différentes, de façon à ce qu'aucune association ne soit possible.

   Une personne-ressource sera disponible à la fin de la deuxième session d'expérimentation afin de m'expliquer le but de cette recherche plus en détail et pour répondre à toutes mes questions. De plus, un membre de l'équipe du Dr Doyon est disponible pour me communiquer les résultats de l'étude à la fin du projet.

6. Un montant de vingt-cinq dollars me sera remis, à la fin de l'expérimentation, comme dédommagement pour mes frais de déplacement et de repas à la suite de ma participation.

7. Je peux me retirer de cette recherche en tout temps, et ce, sans aucun préjudice. Je n'ai qu'à avertir les responsables de la recherche de ma décision. Dans l'éventualité où je deviendrais malade ou subirais un dommage en participant à ce projet de recherche, les traitements médicaux nécessaires me seront disponibles. En signant ce formulaire, je ne renonce aucunement à mes droits et je ne libère pas le chercheur ou les institutions impliquées de leurs responsabilités légales ou professionnelles.

8. Le Dr Julien Doyon, Ph.D., professeur titulaire au département de psychologie de l'Université de Montréal, est responsable de cette recherche. Il peut être rejoint aux coordonnées suivantes :

Initiales_____

Département de psychologie, bureau F 416-4, Pavillon Marie-Victorin, Université de Montréal, Téléphone : 514-343-6502

Son équipe à Québec peut être rejointe aux coordonnées suivantes :

École de psychologie, bureau 0084 ou 0086, Pavillon Félix-Antoine Savard, Université Laval, Téléphone : 656-2131 poste 6605.

Institut de Réadaptation en Déficience Physique de Québec, bureau B-77, 525 boul. Hamel, Québec, G1M 2S8, Téléphone: 529-9141 poste 6072.

Le Comité d'Éthique du centre hospitalier de l'Enfant-Jésus est disponible pour répondre à toutes questions concernant les droits des participants au cours de projets de recherche. On peut s'adresser à ce comité aux coordonnées suivantes : 649-0252 poste 3068.

Je soussigné (e) _____consens librement à participer à ce projet de recherche. J'ai eu l'occasion de poser des questions et j'ai obtenu des réponses satisfaisantes. Je comprends en quoi consiste ma participation. Je connais les risques potentiels, les inconvénients et les bénéfices possibles. Une copie de ce formulaire de consentement me sera remise.

_____ _____

Participant Témoin

_____

Alain Simard, M.Ps.
Candidat au grade de Philosophiae Doctor (Ph.D.)
École de psychologie
Université Laval

_____

Julien Doyon, Ph.D.
Chercheur
Université de Montréal

Lue et signée le _____.

ANNEXE 15

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT (7)

Centre hospitalier
affilié universitaire
de Québec

1401, 18e Rue
Québec, (Québec)
G1J 1Z4

Numéro d'approbation 213-2000
Comité éthique de la recherche
Université Laval

RÔLE DU STRIATUM ET DU CERVELET DANS LA CONSOLIDATION D'UNE HABILETÉ MOTRICE

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

1. La présente étude a pour but de déterminer le rôle du striatum, atteint dans la maladie de Parkinson, et du cervelet dans la consolidation d'une habileté motrice. L'apprentissage est mesuré à l'aide d'une tâche de poursuite de cibles.

2. J'ai été clairement informé (e) des conditions générales prévalant dans cette recherche. Je dois remplir un questionnaire d'identification et répondre à des questions sur mes antécédents neurologiques et psychiatriques. Ensuite, un court protocole d'évaluation neuropsychologique me sera administré. Si ma candidature est retenue, je serai convoqué (e) à deux sessions d'évaluation. La durée de chacune des sessions est d'environ deux heures et l'intervalle maximum entre les deux sessions est de 22 à 26 heures. Plus précisément, la tâche expérimentale consiste à atteindre une cible, présentée à l'écran, en déplaçant le curseur à l'aide d'un levier. La relation entre le mouvement du curseur et celui du levier sera inversée afin de reproduire l'effet miroir.

3. Le seul inconvénient possible peut consister en une légère fatigue mentale et/ou physique. Pour atténuer cet inconvénient, des périodes de repos ont été prévues.

4. Puisque cette étude ne constitue pas un traitement, ma participation à cette recherche ne m'apportera aucun avantage personnel. Toutefois, elle favorisera la compréhension du rôle de certaines structures cérébrales, telles que le cervelet et le striatum, impliquées dans la consolidation d'une habileté motrice.

Initiales_____

5. Seuls le Dr Doyon et son équipe auront accès aux données recueillies. L'anonymat de ma participation et la confidentialité de mes résultats seront préservés de cette façon :

   5.1 Mon nom sera remplacé par un code. Ce code apparaîtra dans les fichiers informatiques et sur une fiche d'identification.

   5.2. Le présent formulaire de consentement et la fiche d'identification seront conservés sous clé, dans des fiches différentes, de façon à ce qu'aucune association ne soit possible.

   Une personne-ressource sera disponible à la fin de la deuxième session d'expérimentation afin de m'expliquer le but de cette recherche plus en détail et pour répondre à toutes mes questions. De plus, un membre de l'équipe du Dr Doyon est disponible pour me communiquer les résultats de l'étude à la fin du projet.

6. Un montant de vingt-cinq dollars me sera remis, à la fin de l'expérimentation, comme dédommagement pour mes frais de déplacement et de repas à la suite de ma participation.

7. Je peux me retirer de cette recherche en tout temps, et ce, sans aucun préjudice. Je n'ai qu'à avertir les responsables de la recherche de ma décision. Dans l'éventualité où je deviendrais malade ou subirais un dommage en participant à ce projet de recherche, les traitements médicaux nécessaires me seront disponibles. En signant ce formulaire, je ne renonce aucunement à mes droits et je ne libère pas le chercheur ou les institutions impliquées de leurs responsabilités légales ou professionnelles.

8. Le Dr Julien Doyon, Ph.D., professeur titulaire au département de psychologie de l'Université de Montréal, est responsable de cette recherche. Il peut être rejoint aux coordonnées suivantes :

   Département de psychologie, bureau F 416-4, Pavillon Marie-Victorin,
   Université de Montréal, Téléphone : 514-343-6502

Initiales_____

Son équipe à Québec peut être rejointe aux coordonnées suivantes :

École de psychologie, bureau 0084 ou 0086, Pavillon Félix-Antoine Savard, Université Laval, Téléphone : 656-2131 poste 6605.

Institut de Réadaptation en Déficience Physique de Québec, bureau B-77, 525 boul. Hamel, Québec, G1M 2S8, Téléphone: 529-9141 poste 6072.

Si j'ai des questions concernant les droits des participants au cours de projets de recherche, je peux rejoindre le Comité d'Éthique de la Recherche du centre hospitalier de l'Enfant-Jésus aux coordonnées suivantes : 649-0252 poste 3068 ou l'Obusman de l'Université Laval aux coordonnées suivantes 656-3081.

Je soussigné(e) _____consens librement à participer à ce projet de recherche. J'ai eu l'occasion de poser des questions et j'ai obtenu des réponses satisfaisantes. Je comprends en quoi consiste ma participation. Je connais les risques potentiels, les inconvénients et les bénéfices possibles. Une copie de ce formulaire de consentement me sera remise.

_____ _____

Participant Témoin

_____

Alain Simard, M.Ps.
Candidat au grade de Philosophiae Doctor (Ph.D.)
École de psychologie
Université Laval

_____

Julien Doyon, Ph.D.
Chercheur
Université de Montréal

Lue et signée le _____.

ANNEXE 16

BATTERIE D'ÉVALUATION NEUROPSYCHOLOGIQUE

EXAMEN DE FOLSTEIN SUR L'ÉTAT MENTAL

Nom de l'établissement .....

	COTE MAXIMALE	COTE DU SUJET
A) Orientation		
Demander au sujet:		
1- Quel est: l'année ____ le mois ____ le jour ____ D L M Me J V S le jour de la semaine; la saison: printemps ☐ été ☐ automne ☐ hiver ☐	5	( )
2- Où sommes-nous: Province ____ Pays ____; Ville, village ____ Lieu (hôpital, cabinet, maison, etc.) ____ étage ____	5	( )
B) Enregistrement		
3- Mentionner un des groupes de 3 mots suivants; prendre une seconde pour prononcer chaque mot: chemise, bleu, honnêteté ( ) ou chaussure, brun, modestie ( ) ou chandail, blanc, charité ( )	3	( )
Par la suite, demander au sujet de répéter les 3 mots choisis. Donner 1 point pour chaque bonne réponse au 1er essai. Répéter l'exercice jusqu'à ce que le sujet retienne les 3 mots. Compter le nombre d'essais et le noter. Pour information seulement:	Nombres d'essais : ____	
C) Attention et calcul (cocher l'un ou l'autre test)		
4- ☐ Demander au sujet de faire la soustraction par intervalles de 7 à partir de 100: 100 – 7 = ( ) 93 – 7 = ( ) 86 – 7 = ( ) 79 – 7 = ( ) 72 – 7 = ( ) 65. Donner 1 point pour chaque bonne réponse.	5	( )
OU		
☐ Demander au sujet d'épeler le mot "MONDE" à l'envers. (EDNOM): ____ (écrire les lettres)		
D) Rétention mnésique		
5- Demander au sujet de répéter les 3 mots déjà mentionnés: chemise, bleu, honnêteté ( ) ou chaussure, brun, modestie ( ) ou chandail, blanc, charité ( )	3	( )
E) Langage		
6- Montrer au sujet un crayon ( ) une montre ( ) et lui demander de nommer l'objet.	2	( )
7- Demander au sujet de répéter la phrase suivante: **"Pas de si ni de mais".**	1	( )
8- Demander au sujet d'obéir à un ordre en 3 temps: **"Prenez ce papier de la main droite ou gauche, pliez-le en deux et redonnez-le moi".** *N.B.: Demander au sujet droitier de prendre de la main gauche et vice versa. Prendre garde de tendre la main; éviter les indices non-verbaux.*	3	( )

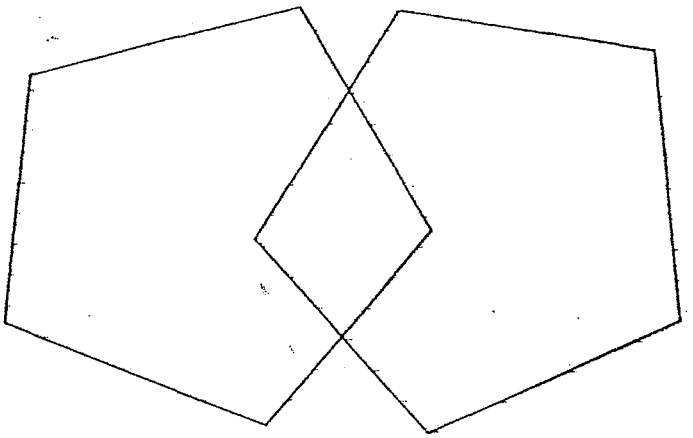
Traduction et adaptation française non validées du "Mini-Mental State" de Folstein, M.F., Folstein, S.E., Mc Hugh, P.R.: "Mini-Mental State: A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician", J. Psychiatr Res. 12: 189-198, 1975; à partir des travaux du centre de gériatrie Hôpital D'Youville Sherbrooke de Québec.

E) Langage (suite)

	COTE MAXIMALE	COTE DU SUJET
9- Demander au sujet de lire et de suivre l'instruction suivante: **"FERMEZ VOS YEUX"**	1	( )
10- Demander au sujet d'écrire une phrase: ..... (sujet, verbe, sans égard aux fautes)	1	( )

F) Praxie de construction

11- Demander au sujet de copier le dessin suivant:



1 ( )

COTE MAXIMALE: 30

COTE DU SUJET: _____

Interprétation des scores:

Un score de moins de 24 points à l'examen de Folstein sur l'état mental détermine une altération des fonctions cognitives. Ce test ne permet cependant pas de faire un diagnostic étiologique.

Nombre d'années de scolarité du sujet: _____

Évaluer le niveau de conscience du sujet: vigilant ☐ somnolent ☐

En cas d'incapacité du sujet à être évalué, spécifier: .....

.....

.....

Indiquer les conditions ayant pu influencer l'évaluation .....

.....

MÉMOIRE DES CHIFFRES (Arrêter après l'échec des deux essais d'un même item. Présenter les deux essais à chaque item, même si le premier est réussi).

CHIFFRES À L'ENDROIT

Item	Essai I	Résultat	ESSAI II	Résultat	SCORE 2, 1, ou 0
1.	6-2-9		3-7-5-		
2.	5-4-1-7		8-3-9-6		
3.	3-6-9-2-5		6-9-4-7-1		
4.	9-1-8-4-2-7		6-3-5-4-8-2-		
5.	1-2-8-5-3-4-6		2-8-1-4-9-7-5		
6.	3-8-2-9-5-1-7-4		5-9-1-8-2-6-4-7		

Max. = 12
Total à l'endroit

CHIFFRES À L'ENVERS (Présenter les chiffres à l'envers même si l'examiné a 0 aux chiffres à l'endroit.

Item	Essai I	Résultat	Essai II	Résultat	SCORE 2, 1 ou 0
1.	5-1		3-8		
2.	4-9-3		5-2-6		
3.	3-8-1-4		1-7-9-5		
4.	6-2-9-7-2		4-8-5-2-7		
5.	7-1-5-2-8-6		8-3-1-9-6-4		
6.	4-7-3-9-1-2-8		8-1-2-9-3-6-5		

Max. = 12
Total à l'envers

MAX. TOTAL = 24

EMPAN MNÉSIQUE VISUEL (Arrêter après l'échec des deux essais d'un même item. Présenter les deux essais à chaque item, même si le premier est réussi).

POINTER À L'ENDROIT					SCORE
Item	Essai I	Résultat	Essai II	Résultat	2, 1 ou 0
1.	2-6		8-4		
2.	2-7-5		8-1-6		
3.	3-2-8-4		2-6-1-5		
4.	5-3-4-6-1		3-5-1-7-2		
5.	1-7-2-8-5-4		7-3-6-1-4-8		
6.	8-2-5-3-4-1-6		4-2-6-8-3-7-5		
7.	7-5-6-3-8-7-4-2		1-6-7-4-2-8-5-3		
				Max. = 14 Total à l'endroit	

POINTER À L'ENVERS (Présenter pointer à l'envers même si l'examiné a 0 à pointer à l'endroit.					SCORE
Item	Essai I	Résultat	Essai II	Résultat	2, 1 ou 0
1.	3-6		7-4		
2.	6-8-5		3-1-8		
3.	8-4-1-6		5-2-4-1		
4.	4-6-8-5-2		8-1-6-3-7		
5.	7-1-8-3-6-2		3-8-1-7-5-4		
6.	1-5-2-7-4-3-8		6-7-4-3-1-5-2		
				Max. = 12 Total à l'envers	

MAX. TOTAL = 26

Date: _____ Name: _____

Lesion: _____

OP / Pre / Post / Fup

PURDUE PEGBOARD

Seconds	Preferred hand	Non-Preferred hand	Both
30_1			
60_1			
30_2			
60_2			

REVISED CRITERIA FOR PURDUE PEGBOARD NEUROPSYCHODIAGNOSTIC APPLICATIONS

Call score Subnormal if score is at or below the following cut-offs:

	1st 30" Scores			2nd 30" Scores			60" Scores		
e Group	$P30_1$	$NP30_1$	$B30_1$	$P30_2$	$NP30_2$	$B30_2$	P60	NP60	B60
5-6	8	8	6	8	6	6	16	12	12
7-10	11	9	9	11	9	8	22	18	17
11-12	12	10	9	12	9	8	24	19	17
13-40	13	11	9	13	11	9	26	22	18
41-70	12	10	8	12	10	8	24	20	16

NOM: _____ PRÉNOM: _____

DATE DE NAISSANCE: _____ DATE DE L'EXAMEN: _____

HOOPER

Numéro	Réponses	1 Crédit Réponses	½ Crédit Réponses	0 Crédit Réponses	Crédits
1		Poisson			
2		Scie, égoine			
3		Table, banc			
4		Avion			
5		Balle, ballon	Football		
6		Marteau		Hache	
7		Chien, mouton	Animal		
8		Camion	Auto		
9		Tasse	Vase		
10		Main	Gant	Doigts	
11		Pomme, pêche	Fruit		
12		Panier		Filet	
13		Ciseaux			
14		Canne, bâton hockey		Crayon	
15		Voilier			
16		Bouilloire, bombe			
17		Sofa, divan			
18		Chandelle, chandelier			
19		Théière, Pot à crème			
20		Chat	Animal		
21		Fleur		Arbre, île	
22		Souris, cochon d'Inde	Animal		
23		Livre			
24		Lapin	Animal		
25		Bloc			
26		Phare	Tour, château		
27		Soulier		Fer	
28		Clé			
29		Bague		Cadenas	
30		Balai		Vadrouille	
				Total:	