



Vieillessement, activité physique et apprentissage moteur : effets de la complexité de la tâche.

Cédric Albinet

► To cite this version:

Cédric Albinet. Vieillessement, activité physique et apprentissage moteur : effets de la complexité de la tâche.. domain_other. Université Paul Sabatier - Toulouse III, 2004. Français. NNT: . tel-00011614

HAL Id: tel-00011614

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00011614>

Submitted on 15 Feb 2006

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

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

UNIVERSITE PAUL SABATIER, TOULOUSE III
U.F.R. STAPS

THESE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE TOULOUSE III

Discipline : **Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives**

Présentée par :

Cédric ALBINET

**VIEILLISSEMENT, ACTIVITE PHYSIQUE
ET APPRENTISSAGE MOTEUR :
EFFETS DE LA COMPLEXITE DE LA TÂCHE**

Directeurs de thèse :

Khaled FEZZANI (Maître de Conférences)

Bernard THON (Professeur des Universités)

Soutenue le : 08 octobre 2004

devant le Jury composé de :

Jean BERTSCH

Pr., Université de Paris-Sud XI, Orsay

Rapporteur

Khaled FEZZANI

MCU, Université Paul Sabatier, Toulouse

Codirecteur

Michel ISINGRINI

Pr., Université de Tours

Rapporteur

Jean-Claude MARQUIÉ

DR, CNRS, Université du Mirail, Toulouse

Examineur

Bernard THON

Pr., Université Paul Sabatier, Toulouse

Codirecteur

Laboratoire Adaptation Perceptivo-Motrice et Apprentissage, E.A. 3691

UFR STAPS, Université Paul Sabatier,

118, route de Narbonne, 31062 Toulouse cedex 4

Ecole Doctorale CLESCO

Remerciements

Ce travail de thèse a été effectué au sein du nouvellement re-nommé Laboratoire Adaptation Perceptivo-Motrice et Apprentissage de l'UFR STAPS de Toulouse. Je tiens à remercier en tout premier lieu Khaled Fezzani et Bernard Thon pour m'avoir dirigé et soutenu durant ces années très formatrices. Leur rôle tout au long de mon cheminement a toujours été chaleureux et précieux.

Je remercie les professeurs Michel Isingrini et Jean Bertsch d'avoir accepté d'expertiser mon travail, ainsi que Jean-Claude Marquié d'être examinateur lors de la soutenance.

Je tiens à associer à ce travail tous les membres du laboratoire, permanents et "temporaires"; pour les discussions et les moments partagés, merci. Une attention particulière va vers mes pairs, anciens, nouveaux ou déjà partis, Juju, Yannick, Isa, Pat, Eman, Michel, Jess, Jimmy, Fred, Régis, Alex, Pascale, Delph, Carine et Isabelle. Je remercie également tous les personnels (enseignants, administratifs et techniques) de l'UFR STAPS pour leur disponibilité et leur gentillesse toutes ces années.

A toutes les personnes qui ont participé aux différentes expériences, je veux exprimer encore une fois ma reconnaissance. Sans elles, ce travail n'aurait pu avoir lieu.

Mes pensées vont bien sûr vers ma famille qui m'a toujours soutenu, entouré, encouragé et compris durant ce long travail. J'associe également tous mes amis qui, de près ou de loin, ont continué à me suivre et à m'encourager malgré mon manque de disponibilité. Sans la présence et l'aide de toutes ces personnes, ce travail aurait été beaucoup plus difficile.

Enfin et surtout,

à Ana.

SOMMAIRE

Remerciements	2
SOMMAIRE	3
Introduction générale.....	4
CHAPITRE I VIEILLISSEMENT, CONTRÔLE MOTEUR ET APPRENTISSAGE..	7
CHAPITRE II LE RÔLE DE L'ACTIVITE PHYSIQUE DANS LE VIEILLISSEMENT DES PROCESSUS COGNITIFS ET MOTEURS.....	39
CHAPITRE III INTRODUCTION GENERALE A L'ETUDE EMPIRIQUE.....	59
CHAPITRE IV EXPERIENCE 1	68
CHAPITRE V EXPERIENCE 2.....	102
CHAPITRE VI EXPERIENCE 3	115
CHAPITRE VII DISCUSSION GENERALE ET CONCLUSION	153
Références bibliographiques	171
TABLE DES MATIERES	193
Liste des figures et des tableaux.....	196
ANNEXES.....	200

Introduction générale

Le vieillissement de la population est un phénomène incontournable depuis la fin du siècle dernier et se traduit essentiellement par l'augmentation constante du nombre de personnes âgées par rapport au nombre de personnes jeunes et un allongement de la durée moyenne de vie. Les conséquences de ce phénomène concernent la santé publique et l'économie par les coûts qu'entraîne la prise en charge des personnes dépendantes ou le traitement des maladies liées au vieillissement (McPherson, 1994 ; Shephard, 1997 ; Wood, Reyes-Alvarez, Maraj *et al.*, 1999).

Néanmoins, le vieillissement n'est pas seulement un phénomène social mais avant tout un processus qui atteint chaque individu. Il est aujourd'hui bien démontré que l'avancée en âge s'accompagne d'une diminution de l'efficacité et de la rapidité des processus cognitifs et sensori-moteurs. Parmi ces processus, la mémoire, le contrôle sensori-moteur et l'apprentissage sont ceux qui sont impliqués dans le maintien des capacités d'adaptation de l'individu à son environnement. Le processus de vieillissement chez l'homme peut s'exprimer sous forme d'une réduction des capacités du sujet à s'adapter à de nouvelles contraintes imposées par l'environnement physique ou social. Cette réduction se manifeste généralement par des difficultés (réelles ou subjectives) soit à acquérir de nouvelles habiletés, soit à modifier des habiletés déjà établies.

Le vieillissement est également un phénomène complexe et variable, et sa dynamique n'est pas identique pour tous les individus. Plusieurs facteurs liés au mode de vie notamment, comme la nutrition, la consommation de tabac, la prise de médicaments ou le niveau de santé ou d'éducation, peuvent moduler ses effets et, selon les cas, retarder ou accélérer certaines évolutions. La pratique d'activités physiques est un de ces facteurs, qui nous paraît important, et a fait l'objet de nombreux travaux de recherche ces dernières années. Elle est aujourd'hui considérée comme un élément important dans le management de la santé et de la prévention des effets du vieillissement. A tel point que l'Organisation des Nations Unies (ONU), en partenariat avec l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), célébrait en 1999 « l'Année internationale des personnes âgées » dont l'un des principes clefs était : vieillir en restant actif. L'intérêt se porte ainsi aujourd'hui moins sur l'allongement absolu de la durée de vie que sur l'allongement de la durée de vie sans incapacité, reflétant le bien vieillir.

L'étude des effets potentiellement bénéfiques de l'activité physique sur le vieillissement des capacités cognitives ou sensori-motrices s'est toutefois essentiellement centrée sur des indicateurs très généraux comme la vitesse des processus de traitement de l'information (Spirduso, 1980), alors que les effets du vieillissement concernent aussi bien le contrôle du mouvement (Ferrandez & Teasdale, 1996 ; Ketcham & Stelmach, 2001 ; Stelmach & Homberg, 1993) que l'apprentissage ou la mémoire (Hulch & Dixon, 1990 ; Kausler, 1994 ; Willingham, 1998). Nos connaissances concernant le vieillissement des capacités d'apprentissage moteur sont aujourd'hui encore particulièrement limitées. Mieux comprendre comment les capacités d'apprentissage évoluent au cours de la vie et comment le maintien d'un style de vie physiquement actif permet d'influencer cette évolution, revêt donc une importance à la fois théorique et pratique. C'est dans ce cadre général que ce travail de thèse propose d'examiner dans quelle mesure l'interaction entre l'âge et la pratique régulière d'activité physique modifie les capacités d'apprentissage des individus et par conséquent, la plasticité de leurs conduites.

Dans une première partie, un examen critique de nos connaissances disponibles dans ce domaine nous permettra de rendre compte successivement des effets du vieillissement sur le contrôle du mouvement et sur l'apprentissage moteur. Nous verrons notamment que si le constat général de dégradation de l'efficacité du contrôle du mouvement liée à l'âge est largement accepté, les conclusions concernant les capacités d'apprentissage sont plus réservées. Nous proposerons alors un cadre d'analyse pour mieux comprendre ce phénomène complexe. Nous examinerons ensuite dans quelle mesure l'activité physique régulière peut avoir un impact sur le vieillissement des capacités cognitives et sensori-motrices. Dans la seconde partie, nous détaillerons plus précisément la problématique de notre travail avant de présenter les trois expériences qui tenteront de répondre à notre questionnement. Enfin, dans un dernier chapitre, la synthèse des travaux que nous avons menés au cours de cette thèse nous permettra de proposer une hypothèse explicative de la relation entre l'activité physique et le vieillissement des capacités d'apprentissage moteur et de dégager des perspectives futures de travail.

Première partie :

Cadre théorique

CHAPITRE I

VIEILLISSEMENT, CONTRÔLE MOTEUR ET APPRENTISSAGE

1. Vieillessement et contrôle moteur

L'exécution d'un mouvement volontaire nécessite la coordination de plusieurs contractions musculaires afin que le mouvement réalisé corresponde au mouvement désiré et soit adapté à la situation environnementale dans laquelle il s'effectue. Le contrôle moteur fait référence aux processus responsables de la préparation, de l'organisation et de l'exécution de ce mouvement et renvoie à l'organisation coordonnée des fonctions sensori-motrices de l'individu.

L'étude du déclin, avec l'âge, des structures et des fonctions sensori-motrices a donné lieu à une grande quantité de travaux. Dans ce domaine, un consensus très général se dégage admettant que ces dégradations se traduisent par une augmentation du temps d'initiation du mouvement ou Temps de Réaction (TR) ainsi qu'un allongement du temps d'exécution ou Temps de Mouvement (TM). Ainsi, un des résultats les plus répliqués dans le cadre de la psychologie expérimentale est que la latence des réponses à un stimulus devient plus longue et plus variable avec l'avancée en âge (pour une revue voir, Brown, 1996 ; Feyereisen, 1994 ; Kausler, 1994 ; Ketcham & Stelmach, 2001 ; Krampe, 2002 ; Light, 1990 ; Spirduso, 1995 ; Spirduso & McRae, 1990). Ce phénomène général de ralentissement des réponses est considéré par certains comme étant le reflet d'un ralentissement dans la vitesse de traitement de l'information, conséquence du vieillissement du système nerveux central (SNC) (Cerella, 1985 ; Cerella & Hale, 1994 ; Light, 1990 ; Salthouse, 1991 ; 1996 ; Spirduso, 1980 ; 1995). Nous verrons tout d'abord qu'une première catégorie de travaux, menée dans le cadre de la chronométrie mentale, s'est principalement intéressée à quantifier le temps requis pour sélectionner et programmer la réponse appropriée, ainsi que le temps nécessaire à son exécution. Dans une deuxième partie, nous aborderons une deuxième catégorie de travaux

qui s'est intéressée quant à elle à l'analyse cinématique et cinétique du mouvement pour en expliquer les changements au cours du vieillissement.

1.1 Les travaux issus de la chronométrie mentale

Dans le cadre de l'approche cognitive du contrôle du mouvement et de la théorie du traitement de l'information, le contrôle moteur a été analysé d'une part, à travers le temps nécessaire pour préparer et initier le mouvement voulu, mesuré par le TR et, d'autre part, à travers le temps nécessaire pour exécuter ce mouvement, mesuré par le TM.

1.1.1 Vieillissement et Temps de Réaction

La majorité des travaux ayant porté sur les processus de génération du mouvement a été menée à partir des paradigmes de TR simple ou de choix. Le TR est le temps nécessaire pour déclencher un mouvement en réponse à la présentation d'un stimulus. C'est une mesure communément utilisée pour estimer la quantité de temps nécessaire pour détecter un stimulus, sélectionner et programmer la réponse appropriée. Lorsqu'une réponse prédéterminée est requise suite à un stimulus prédéterminé, nous parlons de TR simple ; alors que lorsqu'une ou plusieurs réponses sont possibles pour plusieurs stimuli, nous parlons de TR de choix. Les tâches utilisées pour évaluer les TR de sujets jeunes et âgés sont multiples et ont concerné principalement des mouvements d'appui sur un ou des boutons (Baron & Menich, 1985 ; Era, Jokela & Heikkinen, 1986 ; Gottsdanker, 1980 ; 1982 ; Inui, 1997 ; Light & Spirduso, 1990 ; Rubichi, Neri & Nicoletti, 1999 ; Salthouse & Somberg, 1982b), des mouvements de pointages sur différentes cibles (Amrhein, Stelmach & Goggin, 1991 ; Light, Reilly, Behrman & Spirduso, 1996 ; Stelmach, Goggin & Amrhein, 1988 ; Stelmach, Goggin & Garcia-Colera, 1987), ou encore des réponses pédestres ou vocales (Baron & Journey, 1989 ; Salthouse & Somberg, 1982a).

Bien que l'amplitude des différences entre jeunes et âgés varie en fonction des études, tous les résultats indiquent que le TR s'allonge et devient plus variable au cours du vieillissement. En fonction des conditions expérimentales, le TR des personnes âgées serait de l'ordre de 25 à 60% plus long que celui d'adultes jeunes (Ketcham & Stelmach, 2001). L'étude longitudinale de Baltimore par exemple (Fozard, Vercruyssen, Reynolds *et al.*, 1994)

a testé et suivi 1265 sujets âgés de 20 à 90 ans sur une période de 2 ans. Cette étude a révélé que le TR simple des participants augmentait de 0,5 milliseconde (ms) par an, alors que le TR de choix augmentait de 1,6 ms par an, reflétant un ralentissement avec l'avancée en âge de la vitesse de traitement de l'information, et ce d'autant plus que la quantité d'information à traiter augmente. Pour ces auteurs, le ralentissement de la réponse au cours du vieillissement est directement lié à la complexité de la tâche. Depuis les travaux de Hick (1952) et de Hyman (1953), nous savons que la durée du TR est fonction du nombre de choix possibles ou de la probabilité d'apparition d'un stimulus. Cette relation a été formalisée mathématiquement par la loi dite de Hick (également appelée loi de Hick-Hyman) et est décrite par l'équation (1) :

$$TR = a + b [\log_2 (N)] \quad (1)$$

où a et b sont des constantes empiriques et représentent respectivement l'ordonnée à l'origine et la pente de la droite de régression liant le TR et le $\log_2$ de N , et N représente le nombre de choix possibles. Cette relation est interprétée en terme de quantité d'information à traiter à l'apparition d'un stimulus. La quantité d'information (H) nous est donnée par une simple équation :

$$H = \log_2 (1/p_i) \quad (2)$$

où p est la probabilité qu'un événement donné i apparaisse.

Cette loi, développée dans le cadre de la théorie de l'information de Shannon et Weaver, indique donc que le TR est directement fonction de la quantité d'information (ou d'incertitude) présente dans l'environnement.

Hick (1952) et Hyman (1953) ont expérimentalement montré que le TR est d'autant plus long que le nombre de stimuli possibles est grand ou que la probabilité d'apparition d'un stimulus particulier parmi deux ou plusieurs est faible. Il apparaîtrait donc que le TR des personnes âgées est plus affecté que celui des adultes jeunes par la manipulation de l'incertitude présente dans la tâche. Ceci se traduit par une valeur de la pente (b) significativement supérieure pour les âgés que pour les jeunes. De nombreuses études ont confirmé ce résultat et montrent que plus les stimuli et la décision à prendre sont complexes, plus les différences entre les TR de sujets jeunes et âgés augmentent (Falduto & Baron, 1986 ; Jordan & Rabbitt, 1977, Rubichi *et al.*, 1999 ; voir Spirduso, 1995 pour une excellente revue).

Un certain nombre d'études s'est également intéressé aux effets du vieillissement sur le TR pour déclencher différents types de mouvements (voir Aubert & Albaret, 2001 ; Ketcham & Stelmach, 2001 ; Light, 1990 ; Spirduso, 1995 ; Spirduso & McRae ; 1990). Dans ce cadre,

l'intérêt du chercheur s'est porté sur les capacités du sujet à spécifier différents paramètres d'un mouvement, comme l'amplitude, l'effecteur ou la direction.

Plusieurs études se sont ainsi intéressées à l'utilisation que peuvent faire les personnes âgées d'une pré-information (indices) concernant les caractéristiques d'un mouvement à réaliser. Dans ce type d'études, la pré-information peut concerner tout ou partie des caractéristiques du mouvement afin d'en faciliter (anticiper) la préparation. Dans leur majorité, les résultats de ces études montrent que les personnes âgées sont capables d'utiliser cette pré-information afin de diminuer leur TR (Haaland, Harrington & Grice, 1993 ; Stelmach, Goggin & Amrhein, 1988 ; Stelmach, Goggin & Garcia-Colera, 1987). Utilisant le paradigme de pré-information développé par Rosenbaum (1980), Stelmach, Goggin et Garcia-Colera (1987) par exemple, ont demandé à des adultes jeunes (18-25 ans), moyennement âgés (40-50 ans) et âgés (65-75 ans) de réaliser de simples mouvements de pointage pour lesquels l'effecteur, la direction et l'amplitude du mouvement pouvaient varier d'essai en essai. La pré-information donnée avant l'apparition du stimulus indiquant la cible à pointer pouvait concerner un, deux ou les trois paramètres manipulés. Une dernière condition, dans laquelle aucune pré-information n'était donnée, était également utilisée. Les résultats de leur étude ont montré que les personnes âgées avaient des TR plus longs que ceux des adultes jeunes, quel que soit le paramètre du mouvement manipulé. Les adultes âgés, comme les adultes jeunes utilisaient les informations en avance pour réduire leurs TR au déclenchement du mouvement. Ce gain était sensiblement le même quel que soit le paramètre du mouvement manipulé. Toutefois, il apparaît que les TR des personnes âgées étaient particulièrement plus élevés que ceux des jeunes lorsque aucune pré-information n'était fournie. Comme on peut le voir sur la figure 1, les TR pour déclencher un mouvement de tous les participants étaient d'autant plus courts que l'incertitude concernant les caractéristiques du mouvement à réaliser diminuait (le niveau d'incertitude 0 signifie que la pré-information des 3 paramètres était donnée ; le niveau 3, qu'aucune pré-information n'était donnée). On remarque surtout un ralentissement disproportionné des TR des âgés, relativement à ceux des deux autres groupes, lorsque aucune pré-information n'était donnée. Pour ces auteurs, cela indique qu'une part de l'allongement des TR que l'on observe chez les personnes âgées est due à l'augmentation du temps requis pour spécifier les caractéristiques du mouvement. Cependant, présentés ainsi, ces résultats nous informent essentiellement que les personnes âgées sont plus affectées que les jeunes par l'augmentation de l'incertitude présente lors de la tâche, confirmant ce que nous disions dans le paragraphe précédent.

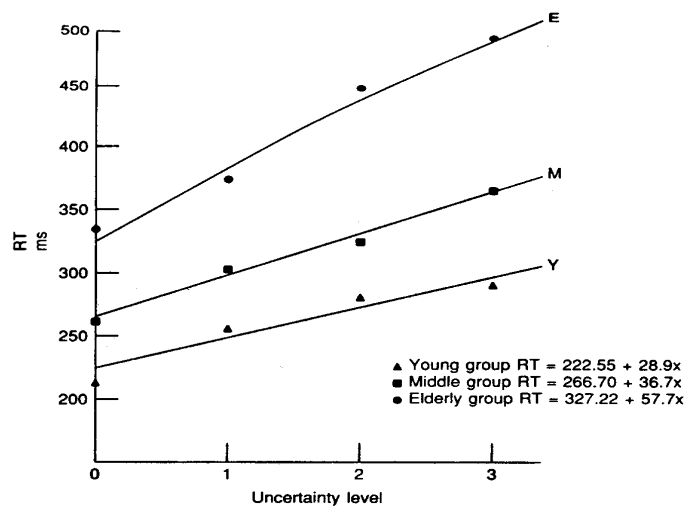


Figure 1 : Temps de Réaction (RT) en fonction de l'incertitude (reproduit d'après Stelmach, Goggin & Garcia-Colera, 1987)

Utilisant un paradigme expérimental similaire, d'autres études ont montré que les personnes âgées ont plus de difficultés à annuler une action préparée et à en organiser une nouvelle lorsque la pré-information concernant le mouvement à effectuer est fausse. Il apparaît également que les personnes âgées, à l'inverse des jeunes, déclenchent plus rapidement des mouvements longs que des mouvements courts et ont plus de difficultés à maintenir la planification spécifique de la direction que celle de l'effecteur ou de l'amplitude (Amrhein, Stelmach & Goggin, 1991 ; Stelmach, Goggin & Amrhein, 1988 ; à ces sujets, voir l'article de synthèse de Amrhein, 1996). Pour ces auteurs, ces résultats indiquent que les capacités à préparer un mouvement particulier subissent des changements quantitatifs et qualitatifs au cours du vieillissement.

Enfin, un certain nombre d'études s'est intéressé aux effets du vieillissement sur le TR en fonction de la complexité du mouvement à réaliser. Nous savons depuis Henry et Rogers (1960) que le TR est affecté par la complexité du mouvement à produire. La question est de savoir si les TR des personnes âgées sont plus, moins ou également affectés par ce facteur. Les études qui se sont intéressées à cette question ont généralement révélé une augmentation importante du TR des personnes âgées, d'autant plus que la complexité du mouvement augmentait (Cerella, Poon & Williams, 1980 ; Light, 1990, Light & Spirduso, 1990). Light et Spirduso (1990) par exemple, ont comparé les TR pour déclencher des mouvements de

différents niveaux de complexité chez des sujets jeunes, moyennement âgés et âgés. Les participants devaient répondre à un stimulus en pressant un micro-contacteur, soit avec l'index de la main droite, soit avec le pouce et l'index de la main droite dans un geste de *pincée*, soit avec un geste de pincée des deux mains simultanément, soit enfin avec l'index des deux mains simultanément. Considérant que les mouvements de pincée sont utilisés fréquemment dans les activités de tous les jours mais qu'un mouvement bilatéral des deux index est rare, ces auteurs ont ainsi développé 4 niveaux de complexité croissante du mouvement à produire. Les résultats de leur étude ont montré que si les TR de chaque groupe de sujets étaient plus courts pour les réponses unilatérales que pour les réponses bilatérales, seuls les TR des plus âgés se différenciaient tous les uns des autres en fonction de la complexité du mouvement à exécuter. Light et Spirduso (1990) concluaient que les capacités de programmation de la réponse des personnes âgées sont plus sensibles à de petits changements dans la complexité du mouvement et sont plus variables que celles de leurs homologues plus jeunes.

En résumé, les travaux qui ont étudié les effets du vieillissement sur le contrôle moteur par des mesures de TR ont révélé de manière constante un ralentissement dans la vitesse d'initiation du mouvement. De plus, cette augmentation avec l'âge des TR est d'autant plus importante que le stimulus à traiter et/ou la réponse à initier sont complexes.

1.1.2 Vieillissement et Temps de Mouvement

Depuis les travaux précurseurs de Welford dans les années 1950, beaucoup d'études ont montré que la performance motrice des personnes âgées était diminuée lors de tâches diverses comme des mouvements de pointage (Goggin & Meeuwsen, 1992 ; Hera, Jokela & Heikkinen, 1986 ; Romero, Van Gemmert, Adler *et al.*, 2003 ; Welford, Norris & Shock, 1969 ; Yan, 2000 ; Yan, Thomas & Stelmach, 1998 ; Yan, Thomas, Stelmach & Thomas, 2000), de poursuite (Durkin, Prescott, Furchtgott, Cantor & Powell, 1995 ; Wright & Payne, 1985) ou de coordination (Contreras-Vidal, Teulings & Stelmach, 1998 ; Greene & Williams, 1996 ; Wishard, Lee, Murdoch & Hodges, 2000).

Le TM correspond au temps qui sépare l'initiation du mouvement de la fin du mouvement. L'augmentation du TM au cours du vieillissement relève également d'un

consensus général. En fonction des conditions expérimentales, le TM des personnes âgées serait de l'ordre de 30 à 69% plus long que celui d'adultes jeunes (Ketcham & Stelmach, 2001). Dans une étude déjà ancienne, Welford, Norris et Shock (1969) par exemple, ont montré lors d'une tâche de mouvements de pointage sur des cibles, que pour une exigence de précision donnée, les TM des personnes de 60 ans et plus étaient systématiquement plus longs que ceux d'adultes plus jeunes. De plus, il apparaît que les personnes âgées sont plus affectées que les jeunes par l'augmentation de la difficulté du mouvement à réaliser (Goggin & Meeuwsen, 1992 ; Liao, Jagacinski & Greenberg, 1997 ; Light *et al.*, 1996 ; Smith, Umberger, Manning *et al.*, 1999 ; Yan, 2000). Dans ces études, les différences dans les TM entre les sujets jeunes et âgés augmentent à mesure que la difficulté du mouvement à réaliser augmente. Plusieurs propositions ont été faites pour manipuler plus ou moins formellement la difficulté du mouvement à réaliser. A ce sujet, nous disposons, depuis les travaux de Fitts et ses collaborateurs d'un cadre formel pour examiner cette question. Une multitude de mouvements coordonnés qui sont utilisés dans la vie de tous les jours requièrent non seulement qu'ils soient exécutés rapidement mais aussi avec précision. Un des moyens d'étudier cette relation entre vitesse et précision du mouvement (appelée échange vitesse/précision) est d'analyser la capacité d'une personne à réaliser des mouvements discrets de pointage sur des cibles. Dans le cadre des tâches de mouvements de pointage sur des cibles, plusieurs études ont utilisé des variantes de la tâche dite de Fitts afin de manipuler la complexité du mouvement à exécuter. La loi de Fitts (1954) stipule dans ce cadre, que le TM augmente de manière linéaire avec l'Indice de Difficulté (ID) du mouvement. Cet ID est calculé d'après l'équation (3) :

$$ID = \log_2 (2D/L) \quad (3)$$

où D correspond à l'amplitude du mouvement ou la distance séparant le centre de deux cibles à pointer et L correspond à la largeur de la cible. Ainsi un mouvement est rendu plus difficile si on augmente la distance à parcourir (D) et/ou si on diminue la taille de la cible (L), ce qui entraîne une augmentation de la précision requise. Fitts (1954) a développé une équation rendant compte de la relation entre le TM et cet ID :

$$TM = a + b (ID) \quad (4)$$

où a et b sont des constantes empiriques et représentent respectivement l'ordonnée à l'origine et la pente de la droite de régression liant le TM et l'ID.

Plusieurs études ont montré l'intérêt d'utiliser ce paradigme pour contraster les performances de participants jeunes et âgés au niveau de l'ordonnée à l'origine (a) mais surtout au niveau de la pente (b) de la droite de régression. Il ressort de ces études que, au-delà du fait qu'ils soient plus lents, les sujets âgés sont plus affectés que les jeunes par l'augmentation de l'ID. Ce résultat se traduit par une valeur de la pente (b) significativement supérieure pour les âgés que pour les jeunes (Goggin & Meeuwsen, 1992 ; Ketcham, Seidler, Van Gemmert & Stelmach, 2002 ; Ketcham & Stelmach, 2001 ; Liao, Jagacinski & Greenberg, 1997 ; Pohl, Winstein & Fisher, 1996). La figure 2 illustre cette interaction entre l'âge et la difficulté du mouvement à réaliser.

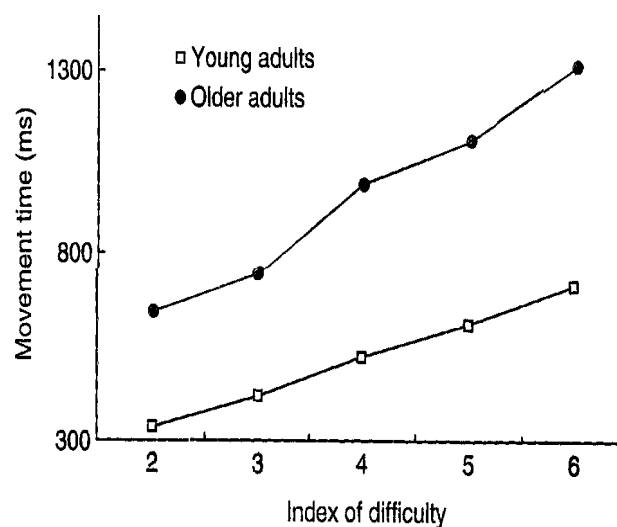


Figure 2 : Temps de Mouvement (ms) pour des adultes jeunes et âgés en fonction de l'Indice de Difficulté lors d'une tâche de pointage (reproduit d'après Ketcham & Stelmach, 2001).

Les personnes âgées réalisent des mouvements plus lentement que les jeunes, mais surtout, elles semblent donc gérer plus difficilement ce conflit entre précision et vitesse du mouvement. On peut se demander si cela représente une limitation fondamentale de leurs capacités de contrôle du mouvement ou si c'est un choix intentionnel. Dans ce genre de tâche, il apparaît par exemple que les personnes âgées portent plus d'attention à la précision du mouvement qu'à la vitesse d'exécution (Goggin & Meeuwsen, 1992 ; Walker, Philbin & Spruell, 1996). Il est ainsi possible qu'elles choisissent intentionnellement d'utiliser une vitesse de réponse plus lente afin de favoriser la précision de leur mouvement (pour une critique de cette position, voir Morgan, Phillips, Bradshaw *et al.*, 1994). De plus, on peut se demander si les personnes âgées sont différemment affectées par la diminution de la taille des cibles ou par l'augmentation de la distance séparant les cibles à pointer. Les données issues

des études mesurant les TM n'ont pas montré que ces facteurs affectent différemment la performance des personnes âgées (Goggin & Meeuwsen, 1992 ; Ketcham *et al.*, 2002). Il est toutefois plausible de penser que ces facteurs influencent différemment l'exécution du mouvement mais que cela ne se reflète pas dans les mesures générales de TM. L'analyse des caractéristiques spatio-temporelles du mouvement en cours d'exécution pourrait alors apporter des informations complémentaires.

1.1.3 Vieillissement, TR et TM : conclusion

Le constat général qui ressort des travaux menés dans le cadre de la chronométrie mentale est que les personnes âgées déclenchent et exécutent un mouvement plus lentement que les adultes jeunes. De plus, ces différences sont amplifiées lorsque la décision à prendre ou le mouvement à réaliser sont complexes. Il apparaît également que la variabilité interindividuelle des performances augmente fortement avec l'avancée en âge. La majorité des recherches ayant étudié l'effet de l'âge sur le contrôle du mouvement rapporte qu'au-delà du ralentissement de la réponse au cours du vieillissement, les différences entre individus d'une même classe d'âge augmentent avec l'avancée en âge. Le déclin des performances motrices ne touche donc pas tous les individus de la même façon ou à la même vitesse (Spiriduso, 1995). A titre d'exemple, Hultsch, MacDonald et Dixon (2002) ont examiné la variabilité interindividuelle et intra-individuelle des TR de 862 personnes âgées de 17 à 94 ans lors de 4 tâches différentes (tâches de TRSimple, de TR de Choix, de TR de décision lexicale, de TR de décision sémantique). Les résultats de leur étude ont montré que la variabilité interindividuelle augmentait avec l'augmentation de l'âge des participants, même après avoir contrôlé statistiquement la vitesse des réponses. De plus la variabilité intra-individuelle des TR en fonction des différentes tâches et en fonction de la pratique était plus élevée pour les âgés que pour les jeunes.

1.2 Études cinématiques et cinétiques du contrôle du mouvement

En plus de la quantification du contrôle moteur à travers des mesures générales de temps de réponse (TR et TM), un certain nombre de chercheurs s'est intéressé aux caractéristiques spatio-temporelles du mouvement au cours de son exécution, pour en expliquer les changements au cours du vieillissement.

Les analyses cinématiques étudient les propriétés dynamiques du mouvement lorsque les caractéristiques temporelles et spatiales sont considérées. Elles impliquent de calculer les profils de vitesse et d'accélération dérivés des données de position et de catégoriser les différentes phases qui composent la cinématique du mouvement enregistré.

Il apparaît que les personnes âgées ont un pic de vitesse plus faible que celui des jeunes. Les adultes jeunes atteignent des vitesses de l'ordre de 45 à 70% supérieures à celles des âgés (Goggin & Meeuwsen, 1992 ; Ketcham *et al.*, 2002 ; Ketcham et Stelmach, 2001 ; Romero *et al.*, 2003 ; Yan *et al.*, 2000). De plus, les personnes âgées ne semblent pas pouvoir augmenter leur vitesse dans la même mesure que les jeunes lorsque l'amplitude du mouvement est augmentée (Ketcham *et al.*, 2002). Ces résultats pourraient expliquer les TM plus longs des personnes âgées, notamment lorsque l'amplitude du mouvement est importante.

En divisant le mouvement en une phase d'accélération et une phase de décélération (voir fig. n°3), plusieurs chercheurs ont montré que les adultes jeunes maintiennent un profil de vitesse en forme de cloche symétrique lorsque les contraintes de précision sont fortes alors que les adultes âgés produisent une courbe de vitesse dans laquelle la phase de décélération est plus longue (Brown, 1996 ; Goggin & Meeuwsen, 1992 ; Ketcham *et al.*, 2002 ; Pohl, Winstein & Fisher, 1996 ; Yan *et al.*, 2000). La phase d'accélération correspond à la portion du mouvement avant le pic de vitesse, alors que la phase de décélération est la portion du mouvement après le pic de vitesse. La phase de décélération est considérée comme la phase d'approche de la cible et représente le ralentissement du mouvement afin d'atteindre la position désirée avec précision. Pour ces auteurs, l'allongement du TM des personnes âgées proviendrait de ce temps de décélération plus long, impliquant que leur mouvement est essentiellement sous la dépendance d'un contrôle correctif utilisant le feed-back visuel. De plus, l'augmentation de l'ID du mouvement, notamment à travers la diminution de la taille des cibles, affecte directement et principalement cette portion du mouvement chez les personnes âgées (Goggin & Meeuwsen, 1992 ; Ketcham *et al.*, 2002).

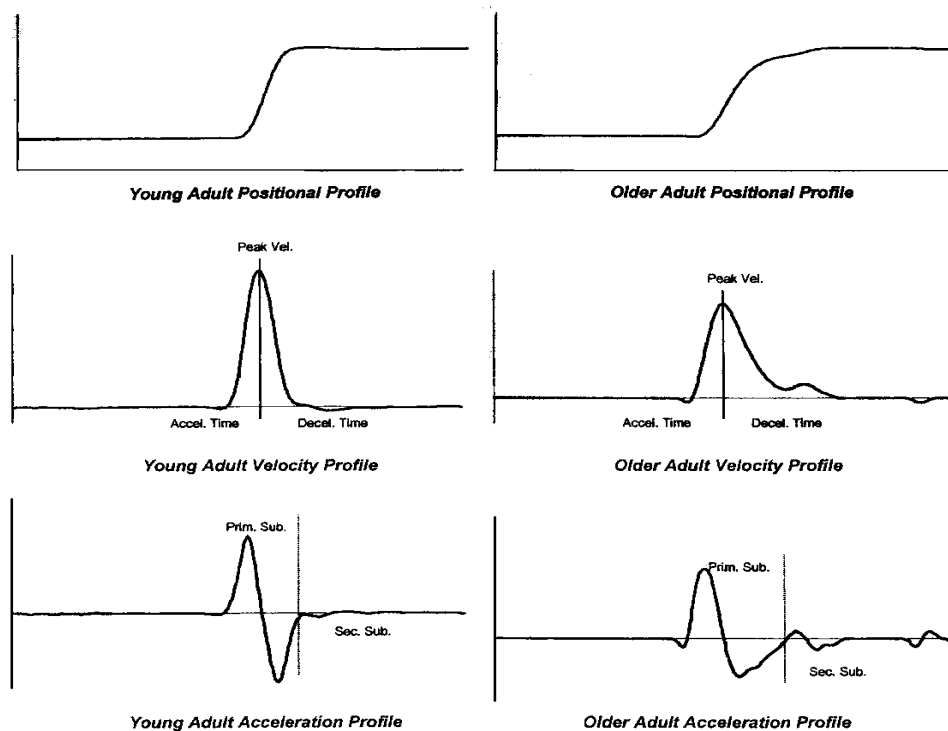


Figure 3 : Profils types de position (en haut), de vitesse (au milieu) et d'accélération (en bas), pour un sujet jeune (à gauche) et un sujet âgé (à droite). Peak Vel. = pic de vitesse ; Accel. Time = phase d'accélération ; Decel. Time = phase de décélération ; Prim. Sub. = premier sous-mouvement ; Sec. Sub = sous-mouvement secondaire (adapté d'après Ketcham et al., 2002).

Afin d'examiner plus précisément encore les possibles sources du ralentissement des personnes âgées, les profils de vitesse et d'accélération peuvent aussi être divisés en premier et seconds sous-mouvements (Meyer, Abrams, Kornblum, 1988 ; Pratt, Chasteen & Abrams, 1994). Le premier sous-mouvement représenterait la partie balistique ou programmée du mouvement, alors que les seconds sous-mouvements représenteraient les parties correctives du mouvement contrôlées par le feed-back sensoriel (voir fig. n°3). La fin du premier sous-mouvement est déterminée par le deuxième croisement de l'axe des abscisses dans les profils d'accélération. Ensuite, chaque fois que cela se reproduit, on comptabilise un sous-mouvement secondaire correctif. Le principe de cette approche est que l'individu s'adapte à la difficulté du mouvement en ajustant la structure de ces sous-mouvements en terme de vitesse et de distance parcourue par le premier sous-mouvement et de nombre de sous-mouvements secondaires effectués. Plusieurs études ont montré que les personnes âgées couvrent proportionnellement moins de distance que les jeunes lors du premier sous-mouvement, et qu'elles doivent par conséquent effectuer plus de sous-mouvements secondaires correctifs (Bellgrove, Phillips, Bradshaw & Gallucci, 1998 ; Ketcham et al., 2002 ; Morgan et al., 1994 ; Pratt, Chasteen & Abrams, 1994 ; Seidler-Dobrin & Stelmach, 1998 ; Yan, 2000 ; Yan

et al., 2000). Il apparaît ainsi, que les personnes âgées sont davantage dépendantes que les jeunes d'un contrôle du mouvement en cours d'exécution ("en-continu") qui assurerait la détection et la correction des erreurs. Cette dépendance vis-à-vis d'un contrôle du mouvement "en-continu" a été attribuée à diverses sources dont : une diminution des capacités de programmation de la partie balistique du mouvement (Romero *et al.*, 2003 ; Yan, 2000 ; Yan *et al.*, 2000), une diminution de la force musculaire nécessaire pour propulser l'effecteur au plus proche de la cible (Brown, 1996 ; Ketcham & Stelmach, 2001) ou une stratégie pour maintenir la précision et diminuer la variabilité du mouvement inhérente aux grandes vitesses (Ketcham & Stelmach, 2001 ; Haaland, Harrington & Grice, 1993 ; Liao, Jagacinski & Greenberg, 1997).

Enfin, il est également intéressant de savoir comment les personnes âgées adaptent la cinématique de leurs mouvements en fonction de la difficulté du mouvement à réaliser. Dans une étude récente, Ketcham et collaborateurs (2002) ont examiné de manière élégante chez des sujets jeunes et âgés, les caractéristiques cinématiques de mouvements de pointage sur des cibles dont l'ID était manipulé à la fois à travers la taille des cibles et l'amplitude des mouvements. Ces auteurs ont montré que ces deux facteurs affectaient différemment les performances des âgés et des jeunes. Leurs conclusions ont révélé que la diminution de la taille des cibles à pointer entraînait chez les participants âgés une forte diminution de la distance parcourue lors du premier sous-mouvement, entraînant plus de seconds sous-mouvements correctifs. Lorsque l'amplitude des mouvements était augmentée, le principal facteur explicatif du ralentissement des participants âgés était leur incapacité à augmenter suffisamment leur pic de vitesse.

L'incapacité des personnes âgées à augmenter suffisamment leur pic de vitesse est peut-être la conséquence d'une diminution de leur force musculaire, les empêchant ainsi d'atteindre les mêmes vitesses que des adultes jeunes. La cinétique, dont l'objectif est d'étudier le mouvement en liaison avec les forces qui le produisent s'est intéressée à cette question. Les chercheurs ont montré qu'avec l'avancée en âge, la production et le contrôle de la force diminuaient, limitant ainsi la capacité à effectuer des mouvements rapides et précis (Brown, 1996 ; Darling, Cooke & Brown, 1989 ; Ketcham & Stelmach, 2001 ; Spirduso & MacRae, 1990). Toutefois, il semble que l'allongement des TM des personnes âgées proviendrait plus de difficultés à moduler et à contrôler avec précision la force développée lors du mouvement que de la réduction des capacités musculaires elles-mêmes (Darling *et al.*, 1989 ; Walker, Philbin & Fisk, 1997). Walker *et al.* (1997) ont ainsi montré que, lorsqu'il n'y

à pas de contrainte de précision du mouvement, les personnes âgées produisent des forces équivalentes à celles des jeunes. Par ailleurs, Darling *et al.* (1989) ont montré que, lors de la réalisation de mouvements de flexion/extension de l'avant-bras, les personnes âgées révèlent des patterns d'activation musculaire anormaux, avec une co-activation des muscles agonistes et antagonistes, augmentant ainsi la variabilité du mouvement. La dégradation du contrôle du mouvement au cours du vieillissement pourrait ainsi provenir de cette moindre coordination de l'activité entre muscles agonistes et antagonistes.

1.3 Mécanismes et théories explicatives

La constance des résultats empiriques concernant le ralentissement de la réponse chez les personnes âgées a entraîné le développement de multiples théories pour expliquer ce phénomène (pour une revue, voir Spirduso, 1995, chapitre 7).

Parmi ces théories, l'hypothèse d'abandon (*disuse hypothesis*) nous semble intéressante pour notre propos parce qu'elle postule que les réponses ralenties des personnes âgées pourraient être dues à une moindre utilisation des systèmes nécessaires à la production de la réponse (voir Marquié, 1997 ; Marquié & Isingrini, 2001). Cette hypothèse suggère que le ralentissement lié à l'âge de la vitesse de la réponse soit plus attribuable à une utilisation inéquitable des fonctions sensori-motrices entre les jeunes et les âgés, qu'à une détérioration neurophysiologique ou des capacités de traitement de l'information. Cette hypothèse permet d'expliquer de manière assez convaincante l'augmentation avec l'âge de la variabilité inter-individuelle des réponses rapportée par la majorité des études. Dans ce cadre, il est plausible de penser que les personnes qui maintiennent un style de vie physiquement actif et qui sollicitent régulièrement leur système sensori-moteur au cours d'activités physiques démontrent de meilleures performances que leurs homologues inactives ou sédentaires. Nous verrons dans le chapitre II.2 (Vieillesse, activité physique et motricité) que la majorité des travaux ayant étudié cette question semble confirmer cette assertion. Toutefois, les adultes jeunes conservent généralement des performances supérieures à celles des adultes âgés même physiquement actifs. Il apparaît ainsi que cette hypothèse d'abandon, bien qu'intéressante, ne puisse expliquer toutes les différences dues à l'âge dans la vitesse des réponses.

L'hypothèse explicative du vieillissement cognitif et sensori-moteur la plus communément adoptée de nos jours est sans nul doute celle du ralentissement généralisé.

Cette théorie postule, à la base, que les détériorations biologiques du SNC au cours du vieillissement entraînent un ralentissement uniforme de la transmission synaptique. Plusieurs théories sont venues développer ce modèle et expliquent les effets du vieillissement en terme de ralentissement général des opérations cognitives (Cerella, 1990 ; Cerella *et al.*, 1980), "d'hypothèse de vitesse de traitement" (Hale, Myerson & Wagstaff, 1987 ; Salthouse, 1996), ou "d'hypothèse de perte d'information" (Myerson, Hale, Wagstaff, Poon & Smith, 1990). Si elles diffèrent sur certains aspects (voir à ce sujet, Maquestiaux, 2003), le point central de ces théories est que l'avancée en âge est associée à une diminution de la vitesse à laquelle toutes les opérations de traitement sont effectuées. Pour les tenants de cette approche, le ralentissement de traitement représente le facteur fondamental pour expliquer le vieillissement et toucherait aussi bien les processus sensori-moteurs que les processus cognitifs centraux. Au-delà de l'intérêt de caractériser un seul facteur (bien que simpliste et réducteur) responsable des déclinés liés à l'âge, un intérêt de ce modèle réside dans son pouvoir explicatif des effets de la complexité de la tâche sur l'amplification des différences entre jeunes et âgés. Plus une tâche est complexe et nécessite des traitements longs, plus la vitesse de traitement réduite des personnes âgées augmente les différences liées à l'âge. Les résultats de plusieurs méta-analyses, à travers ce modèle, ont ainsi révélé que les différences dans les TR entre sujets jeunes et âgés augmentent de manière linéaire (Cerella, 1990 ; Cerella *et al.*, 1980) ou exponentielle (Cerella & Hale, 1994 ; Hale *et al.*, 1987 ; Myerson *et al.*, 1990) à mesure que la complexité de la tâche augmente.

Cette théorie permet de rendre compte également de l'allongement des TM des personnes âgées comparativement aux adultes jeunes, et ce d'autant plus que le mouvement à réaliser est complexe. En effet, l'ID proposé par Fitts (1954) dans le cadre de la théorie de l'information, est une mesure objective de la quantité d'information à traiter pendant l'exécution d'un mouvement (exprimée en bit). Il apparaît ainsi que plus le mouvement est complexe, plus il y a d'information à traiter, et plus grandes sont les disparités entre les personnes âgées et jeunes.

1.4 Vieillissement et contrôle moteur : synthèse et conclusion

Le constat général qui peut être dressé à la suite de cette revue de travaux est que la performance d'habiletés motrices se détériore avec l'âge. Les personnes âgées nécessitent plus de temps que les adultes jeunes pour déclencher et exécuter un mouvement. De plus, ces

différences sont amplifiées lorsque la décision à prendre ou le mouvement à réaliser sont complexes. Les différences les plus fortes entre jeunes et âgés apparaissent dans la condition cumulative, où les processus de décision et le mouvement à faire sont complexes (Spirduso, 1995). L'hypothèse de ralentissement généralisé a été avancée pour expliquer cet allongement des temps de réponse au cours du vieillissement. Cette théorie postule que la diminution de la vitesse à laquelle toutes les opérations de traitement de l'information sont effectuées est la principale source des déclinés observés avec l'avancée en âge. Elle postule toutefois que ces déclinés sont constants et prédictibles quelle que soit la nature de la tâche ; ce qui n'est pas toujours vrai (voir Bashore, van der Molen, Ridderinkhof & Wylie, 1997). De plus, elle postule que le ralentissement généralisé affecte uniformément toutes les composantes de la réponse. Cependant, nous avons vu que les personnes âgées ne pouvaient pas atteindre le même pic de vitesse que des adultes jeunes lors de l'exécution d'un mouvement. Nous avons vu d'autre part que leur mode de contrôle du mouvement est fondamentalement différent de celui des jeunes. La majeure partie du mouvement des personnes âgées, contrairement aux jeunes, est plus sous la dépendance d'un contrôle continu en cours d'exécution utilisant le feed-back visuel, que d'une pré-planification de la partie balistique du mouvement. Il semble ainsi que les aspects sensori-moteurs du comportement nécessitent de plus en plus de "contrôle cognitif" avec l'avancée en âge. La performance d'une habileté motrice demanderait plus de contrôle et d'attention pour les personnes âgées que pour des adultes jeunes. Ce constat a été corroboré par des études montrant que le contrôle de la marche ou de l'équilibre est "attentionnellement" plus coûteux pour les âgés que pour les jeunes (Chen, Schultz, Ashton-Miller *et al.*, 1996 ; Maylor & Wing, 1996 ; Sparrow, Bradshaw, Lamoureux & Tirosh, 2002 ; voir McDowd & Birren, 1990 ; McDowd, Vercruyssen & Birren, 1991 pour une revue).

Pour conclure, il faut souligner que la majorité de ces travaux a étudié le vieillissement du contrôle moteur au cours de tâches de laboratoire sensées être nouvelles pour tous, en analysant la performance des participants lors d'un nombre limité d'essais. Dans ce type de tâches, les sujets de tous âges améliorent considérablement leur performance avec la pratique. Comme le rappellent Spirduso et MacRae (1990), la pratique réduit la nouveauté et la nouveauté est bien connue pour avoir un impact plus négatif sur la performance des âgés que des jeunes. On peut ainsi se demander si ce déclin lié à l'âge dans la performance d'habiletés motrices reste toujours aussi prononcé lorsqu'on augmente substantiellement la quantité de pratique. De nombreuses études ont montré que les personnes âgées pouvaient améliorer

fortement leur performance suite à une pratique prolongée mais que les adultes jeunes conservaient néanmoins leur supériorité dans la majorité des cas (Cerella, 1990 ; Clark, Lanphear & Riddick, 1987 ; Falduto & Baron, 1986 ; Jordan & Rabbitt, 1977 ; Salthouse & Somberg, 1982a). Toutefois, contrairement aux jeunes, les personnes âgées, même après une pratique extensive, n'arrivent pas à augmenter la distance parcourue lors du premier sous-mouvement et continuent de produire plus de sous-mouvements secondaires (Pratt, Chasteen, & Abrams, 1994 ; Seidler-Dobrin & Stelmach, 1998). Elles ne bénéficieraient donc pas de la pratique pour augmenter la partie programmée du mouvement ; ce qui leur permettrait de réduire plus encore leur TM. Il nous semble alors important d'examiner maintenant plus précisément les effets d'une pratique prolongée sur la performance d'habiletés motrices chez les adultes jeunes et âgés. Les personnes âgées apprennent-elles de nouvelles habiletés dans la même mesure que les jeunes ? S'adaptent-elles dans les mêmes conditions que les jeunes aux contraintes et aux régularités de notre environnement ?

2. Vieillesse et apprentissage moteur

S'il est clairement admis et démontré que la performance motrice et le contrôle du mouvement sont altérés au cours du vieillissement normal, le constat semble moins formel en ce qui concerne l'apprentissage d'habiletés motrices (pour une revue, voir, Fisk & Rogers, 1991 ; 2000 ; Hoyer & Lincourt, 1998 ; Hultsch & Dixon, 1990 ; Kausler, 1994 ; Rogers, 1996 ; Willingham, 1998). Rappelons que la performance motrice peut être définie comme la capacité pour un sujet à exécuter une tâche motrice avec précision et/ou vitesse, donc avec efficacité. L'apprentissage moteur, en revanche, fait référence aux processus d'acquisition et de rétention des habiletés motrices.

L'apprentissage et la mémoire sont deux termes intimement liés et sont difficiles à dissocier (Kausler, 1994 ; Anderson, 1995). Dans leur acception la plus générale, l'apprentissage fait référence aux processus d'adaptation du comportement dus à l'expérience ou la pratique, alors que la mémoire fait référence au stockage relativement permanent de l'expérience qui sous-tend l'apprentissage (Anderson, 1995). Bien qu'ils soient reliés dans leur signification, ces deux concepts renvoient à deux lignes de recherche distinctes dans le champ de la psychologie. Traditionnellement, l'apprentissage est étudié en utilisant divers paradigmes dans lesquels de nombreux essais de pratique sont proposés aux participants, suivis généralement de test de rétention et/ou de transfert. A l'opposé, les études sur la

mémoire impliquent souvent des situations dans lesquelles le matériel à retenir n'est présenté qu'une fois. La principale caractéristique qui différencie ces deux termes concerne donc les méthodologies utilisées pour les étudier.

L'apprentissage est couramment défini comme l'expression des changements relativement permanents de la potentialité de réponse consécutifs à une pratique renforcée. Pour Schimdt (1993, p.169), l'apprentissage moteur est « ...un ensemble d'opérations associées à la pratique ou à l'expérience, qui conduisent à des changements relativement permanents des compétences pour la performance des habiletés motrices ».

La question est de savoir si les personnes âgées sont capables de modifier leur performance à une tâche dans les mêmes proportions ou à la même vitesse que des adultes jeunes. En d'autres termes, le bénéfice de la pratique est-il identique pour les deux populations d'âge ? La réponse à cette question ne semble pas univoque. Nous verrons que deux positions opposées se dégagent selon que l'âge a un effet ou non sur l'apprentissage.

2.1 L'âge affecte-t-il les capacités d'apprentissage moteur ?

Si nous sommes probablement capables d'acquérir de nouvelles habiletés à tout âge, pour certains auteurs, la vitesse d'acquisition et le niveau de performance finale sont détériorés par le vieillissement (voir Fisk & Rogers, 2000). Ainsi de nombreuses études ont rapporté un déficit d'apprentissage lié à l'âge dans un certain nombre de tâches telles que la tâche de poursuite rotative (Gutman, 1965). Dans cette tâche, il s'agit pour les sujets de garder le plus longtemps possible un stylet sur une cible effectuant un mouvement de rotation. Généralement, avec la pratique, les personnes âgées et les jeunes adultes améliorent leur temps de contact avec la cible. Toutefois, cette amélioration est beaucoup plus importante chez les jeunes que chez les âgés (Gutman, 1965 ; Raz, Williamson, Gunning-Dixon *et al.*, 2000 ; Wright & Payne, 1985).

En reprenant sensiblement la même tâche de poursuite, Wright et Payne (1985) ont comparé l'évolution des performances avec la pratique de sujets jeunes et âgés lorsque le couplage sensori-moteur était perturbé par l'utilisation d'un miroir. Dans cette tâche, les participants ne pouvaient voir la cible et leur main qu'à travers un miroir. Encore une fois, les résultats ont montré que les personnes âgées apprenaient moins vite et dans de moindres

proportions que des adultes jeunes. Les différences dans la performance des âgés et des jeunes augmentaient au fur et à mesure de la pratique, en faveur des jeunes.

Utilisant un paradigme expérimental relativement similaire à celui de Wright et Payne (1985), Etnier et Landers (1998) ont demandé à des participants jeunes et âgés de suivre, à l'aide d'un stylet, un pattern en forme d'étoile qu'ils voyaient à travers un miroir (e.g., "star mirror tracing"). Les mesures dépendantes concernaient la distance parcourue lors d'un laps de temps donné (8 secondes) ainsi que le nombre d'erreurs commises. Ces auteurs ont rapporté un déficit d'apprentissage des participants âgés, comparativement aux adultes jeunes. Les différences entre jeunes et âgés étaient plus grandes en fin de pratique qu'en début. De plus, lors d'un test de rétention à 24 ou 72 heures, ces différences étaient encore amplifiées, en faveur des jeunes.

D'autres études portant sur l'apprentissage de coordinations bi manuelles (Swinnen, Verschueren, Bogaerts *et al.*, 1998 ; Wishart, Lee, Cunningham & Murdoch, 2002) corroborent ces résultats et invitent à conclure que les personnes âgées bénéficieraient moins de la pratique que les adultes jeunes dans ces types de tâches. Si les personnes âgées améliorent leur performance avec la pratique, cette amélioration est toutefois inférieure à celle des jeunes et l'écart qui sépare les deux populations d'âge semble s'accroître avec la pratique (Strayer & Kramer, 1994).

A l'opposé, d'autres auteurs proposent que si l'âge affecte les performances des sujets, notamment en terme de rapidité de la réponse, il n'affecte cependant pas l'apprentissage lui-même (e.g., Durkin *et al.*, 1995 ; Vakil & Agmon-Ashkenazi, 1997). Pour ces auteurs, il est important de distinguer d'une part les performances initiales et générales des participants et d'autre part, l'évolution de ces performances suite à une pratique prolongée. Ainsi, Durkin *et al.* (1995), lors d'une tâche de poursuite rotative ont montré que le niveau de performance initial et terminal de sujets moyennement âgés (50-63 ans) et âgés (66-78 ans) était significativement inférieur à celui d'adultes jeunes (19-33 ans), mais que l'amélioration de la performance avec le temps, représentant l'acquisition de cette habileté, était tout à fait similaire pour tous les groupes d'âge. Vakil et Agmon-Ashkenazi (1997) arrivent aux mêmes conclusions en utilisant la tâche de la Tour de Hanoi et la tâche des labyrinthes de Porteus. Pour ces auteurs, si la performance d'habiletés motrices est fortement affectée par l'âge, l'acquisition de ces habiletés en revanche est relativement épargnée par l'âge.

Des résultats similaires montrant des capacités d'apprentissage préservées par l'âge ont été obtenus dans d'autres études utilisant différents paradigmes comme la tâche de

repositionnement de bras (Anshel, 1978), la tâche de timing de mouvement (Carnahan, Vandervoort & Swanson, 1993 ; Swanson & Lee, 1992), ou l'adaptation sensori-motrice suite à une distorsion visuelle (Bock & Schneider, 2002 ; Roller, Cohen, Kimball & Bloomberg, 2002). Par exemple, Carnahan *et al.* (1993), dans une série de 3 études, ont examiné l'effet de l'organisation de la pratique et de la connaissance du résultat (e.g., facteurs qui influencent l'apprentissage moteur) sur l'apprentissage de patterns de mouvement sériels ou de timing de mouvements chez des adultes jeunes et âgés. Dans l'ensemble, les résultats de leurs trois expériences ont montré que les personnes âgées utilisaient des stratégies similaires à celles des jeunes pour apprendre ces tâches et étaient influencées de la même façon que les jeunes par les facteurs manipulés. Les auteurs concluaient que, bien que les adultes jeunes étaient généralement plus rapides, plus précis et moins variables que les adultes âgés, il n'y avait aucune preuve que le vieillissement entraîne des différences dans la manière ou la vitesse à laquelle jeunes et âgés apprennent des habiletés motrices.

Enfin, un certain nombre d'études a montré, chez la personne âgée, une préservation des capacités d'apprentissage implicite lors de tâches de Temps de Réaction Sériels (Cherry & Stadler, 1995 ; Howard & Howard, 1989 ; 1992).

A partir de l'examen de ces résultats, la question qui se pose est de savoir comment expliquer que, dans certaines conditions, l'âge affecte l'apprentissage, alors que dans d'autres conditions, aucune différence entre sujets jeunes et âgés n'est mise en évidence.

2.2 Les facteurs modulant l'effet de l'âge sur l'apprentissage

Un nombre important de recherches sur l'apprentissage et la mémoire chez la personne âgée ont été menées depuis plus d'un siècle. La plupart de ces recherches se sont centrées sur un nombre restreint de tâches évaluant le rappel et la reconnaissance, usuellement en utilisant du matériel verbal. La reconnaissance et le rappel dépendent de la mémoire *déclarative*. Selon le modèle de Squire (1992), il y aurait deux principales formes de systèmes de mémoire, appelées mémoire *déclarative* et mémoire *non-déclarative*. La mémoire déclarative est la mémoire des faits et des événements, et son fonctionnement dépend de l'intégrité des lobes temporaux médians et du diencephale. Le contenu de cette mémoire peut être facilement *verbalisable* et accessible à la conscience ; il est explicite. La mémoire déclarative peut être contrastée à la mémoire non-déclarative, qui fait référence à un groupe hétérogène de

capacités incluant l'amorçage, le conditionnement classique ou encore la mémoire procédurale (définie comme l'apprentissage d'habiletés motrices, perceptives et cognitives). Ces différents sous-systèmes seraient neuralelement indépendants les uns des autres et indépendants de la mémoire déclarative. Ce système mnésique est implicite ; les connaissances seraient basées sur des procédures, acquises progressivement sans référence aux connaissances antérieures et s'exprimant par l'action.

De nombreuses études convergent pour dire que les performances impliquant la mémoire déclarative (explicite) déclinent au cours du vieillissement (voir Hulch & Dixon, 1990 ; Isingrini & Taconnat, 1997 ; Kausler, 1994 ; Van der Linden, 1994 ; Woodruff-Pack, 1997), alors que celles impliquant la mémoire implicite sont épargnées ou relativement peu atteintes (voir Isingrini, 1998 ; Light & Singh, 1987 ; Thomas-Ollivier, 1997 ; Winocur, Moscovitch & Stuss, 1996 ; Woodruff-Pack, 1997). Les tâches déclaratives ou directes, pour lesquelles les personnes âgées présentent des difficultés, requièrent un souvenir conscient et explicite dépendant de stratégies de recherche active en mémoire. Cet aspect est absent des tâches dites implicites. Cet effet différentiel de l'âge sur ces deux types de mémoire a amené les chercheurs à émettre l'hypothèse que la distinction implicite/explicite d'une tâche pouvait rendre compte des différences dans l'apprentissage entre adultes jeunes et âgés. En général, il est admis que les tâches explicites exploitent la mémoire déclarative, alors que les tâches implicites exploitent la mémoire non-déclarative (Willingham, 1998). Les personnes âgées démontreraient alors des capacités d'apprentissage implicite préservées, mais des déficits pour l'apprentissage explicite. Nous allons aborder cette hypothèse dans le prochain chapitre.

2.2.1 L'effet de la nature de l'apprentissage

Comme nous l'avons vu, l'apprentissage est couramment défini comme l'expression des changements relativement permanents de la potentialité de réponse consécutifs à une pratique renforcée. La conception classique considère que lors de la première étape du processus d'apprentissage, les mécanismes attentionnels sont sollicités pour analyser le problème et décider de la stratégie générale afin de se rapprocher de la configuration de mouvements adaptés. Ensuite, le mode de contrôle devient de plus en plus indépendant et automatique. Cette conception essentiellement basée sur les trois étapes de l'apprentissage développées par Fitts et Posner, stipule que lors de la première étape du processus d'apprentissage appelé "stade verbal-cognitif", le système doit identifier l'objectif à atteindre

et les conditions de réalisation de la tâche. Pour cela, les instructions, les démonstrations et autres informations verbales et/ou imagées sont particulièrement utiles, voire nécessaires. On qualifie ce type d'apprentissage d'explicite.

Une autre approche développe l'intérêt d'un apprentissage par la découverte, avec des consignes implicites. Il s'agit d'un apprentissage par et dans l'action. Ce type d'apprentissage, dit implicite, n'est pas guidé par des instructions explicites et peut être considéré comme incident dans la mesure où il se met en place de manière non intentionnelle, sans que le sujet ne cherche à acquérir explicitement quelque connaissance (pour une revue, voir Berry, 1994 ; Fezzani, 1995 ; Seger, 1994). Les premiers travaux portant sur l'apprentissage implicite sont l'œuvre de Reber, qui définit l'apprentissage implicite comme une opération fondamentale dans laquelle les co-variations critiques de l'environnement sont extraites (Reber, 1989). Ce serait l'acquisition d'une connaissance des régularités de l'environnement du stimulus sans en avoir conscience et même sans prise de conscience d'avoir appris quelque chose. Perruchet et Nicolas (1998) définissent « l'apprentissage implicite comme un mode d'adaptation dans lequel le comportement du sujet apparaît sensible à la structure d'une situation, sans que cette adaptation ne soit imputable à l'exploitation intentionnelle de la connaissance explicite de cette structure » (p.15).

L'hypothèse d'une préservation sélective des capacités d'apprentissage implicite au cours du vieillissement (pour une revue, voir Hoyer & Lincourt, 1998 et Willingham, 1998) trouve probablement son origine dans les propositions de Reber (1993) qui stipule que l'apprentissage implicite est un système *phylogénétiquement* plus ancien et plus primitif que l'apprentissage explicite. Les processus implicites seraient donc plus robustes et devraient être moins affectés par des facteurs comme le vieillissement. Comme nous l'avons vu, cette hypothèse s'accorde bien avec les résultats de la majorité des études ayant montré un déficit prononcé des personnes âgées pour des tâches explicites requérant de se remémorer consciemment et délibérément des événements passés, comme le rappel ou le rappel indicé (Craik, 1994 ; Isingrini & Taconnat, 1997 ; Kausler, 1994 ; Woodruff-Pack, 1997). De plus, étant donné que des formes de préservation de l'apprentissage implicite ont été observées chez les patients amnésiques (Nissen, Willingham & Hartman, 1989) et que l'effet du vieillissement est souvent considéré comme similaire à celui de l'amnésie, il était alors plausible de penser que l'apprentissage implicite serait insensible à l'effet de l'âge.

Cette hypothèse d'une préservation sélective de l'apprentissage implicite et d'un déficit de l'apprentissage explicite en fonction de l'âge a été directement testée et validée par Howard et Howard (1989 ; 1992). Ces deux études ont utilisé des mesures directes et indirectes de l'apprentissage pour comparer des groupes de participants jeunes et âgés. Les mesures indirectes (TR et erreurs) étaient collectées dans le contexte d'une tâche de Temps de Réaction Sériels tout à fait similaire à celle développée initialement par Nissen et Bullemer (1987) et évaluaient l'apprentissage implicite des séquences. Dans ce type de tâche, les participants doivent répondre le plus rapidement possible aux différentes apparitions d'une cible sur un écran d'ordinateur en appuyant sur la touche d'un clavier correspondant à la localisation spatiale de la cible présentée. A l'insu des participants, les localisations successives de la cible suivent une même séquence continuellement répétée pendant plusieurs blocs d'essais. Après un certain temps de pratique, la séquence d'apparition de la cible devient parfaitement aléatoire. Généralement, les performances s'améliorent au fil des essais, mais surtout se dégradent fortement lorsque la séquence d'apparition de la cible devient parfaitement aléatoire. Cette augmentation des TR offre une mesure indirecte de l'apprentissage séquentiel. Cette mesure représente l'apprentissage implicite de la tâche. A la suite de la pratique, les sujets sont interrogés pour savoir s'ils ont consciemment perçu ou utilisé ces régularités. De plus, une mesure directe de l'apprentissage du pattern est également effectuée dans un test de rappel, dans lequel la tâche consiste à prédire où la cible doit apparaître au prochain essai en appuyant sur la touche choisie. Ce test est direct car les sujets doivent utiliser explicitement leur expérience passée avec le pattern répété pour prédire la position de la cible. Cette mesure représente la connaissance explicite de la tâche.

L'analyse des mesures indirectes de ces deux études a montré que les participants âgés révélaient une vitesse et une quantité d'apprentissage implicite tout à fait similaires à celles des participants jeunes. Avec la pratique, les participants jeunes et âgés produisaient des TR plus courts pour les séquences de mouvements de la cible répétées que pour les séquences aléatoires. A l'opposé, les analyses des mesures directes ont montré que les participants âgés étaient moins capables que les jeunes de rappeler les localisations successives de la cible. De ces résultats, Howard et Howard (1989 ; 1992) concluaient que les personnes âgées montrent une capacité d'apprentissage implicite préservée mais un apprentissage explicite déficient.

Utilisant la même tâche expérimentale, Cherry et Stadler (1995) ont corroboré ces conclusions, à la restriction près que seuls les sujets âgés possédant ce qu'ils appellent de grandes aptitudes (haut niveau d'éducation, fluidité verbale...) présentaient un niveau d'apprentissage équivalent à celui des sujets jeunes. L'autre catégorie de sujets âgés présentait

en revanche un déficit d'apprentissage des séquences visuo-motrices. Enfin, l'étude plus récente de Salthouse, McGuthry et Hambrick (1999) n'a, elle non plus, pas trouvé de différence entre des adultes jeunes et âgés dans les mesures d'apprentissage implicite de séquences visuo-motrices.

Ces résultats s'accordent bien avec les travaux de Kay (1951) et Howard et Howard (2001) qui ont montré un déficit lié à l'âge dans l'apprentissage explicite de séquences. En effet, ces deux études ont montré que lorsque des personnes âgées étaient instruites des régularités présentes et que leur tâche consistait explicitement à découvrir et utiliser ces régularités afin d'améliorer leur performance, elles démontraient un clair déficit d'apprentissage comparativement à des adultes jeunes.

L'ensemble de ces travaux invite ainsi à penser que les personnes âgées sont capables d'apprendre aussi bien que des adultes jeunes sur le mode de l'apprentissage implicite mais qu'elles présentent de sérieux déficits concernant le mode d'apprentissage explicite.

2.2.2 L'effet de la complexité de la tâche

2.2.2.1 *Logique de l'hypothèse :*

La variabilité de l'effet de l'âge sur l'apprentissage est également sans doute modulée par la complexité de la tâche. Les différences dues à l'âge sont typiquement modestes pour les tâches requérant de se remémorer une liste de mots ou de chiffres, mesurées par l'empan mnésique. Toutefois, lorsque le matériel gardé en mémoire doit être manipulé ou que des traitements supplémentaires doivent être effectués, les différences entre jeunes et âgés sont beaucoup plus prononcées (Grady & Craik, 2000 ; Kausler, 1994 ; Salthouse, 1991). Cette différence dans les performances est sûrement attribuable aux différences dans la complexité des opérations menées sur l'information maintenue en mémoire de travail (Grady & Craik, 2000).

Cette position s'accorde bien avec l'ensemble des travaux que nous avons vus lors du premier chapitre (voir I.1) démontrant que la complexité de la tâche augmente l'amplitude de l'effet de l'âge sur les mesures de performances générales comme la vitesse des réponses ou la cinématique de mouvements de pointages. Plus la tâche est complexe, plus les différences entre jeunes et âgés augmentent (Cerella, Poon & Williams, 1980 ; Goggin & Meeuwsen,

1992 ; Hale, Myerson & Wagstaff, 1987 ; Ketcham *et al.*, 2002 ; Light & Spirduso, 1990 ; Myerson *et al.*, 1990). Plusieurs travaux semblent accréditer l'idée que la complexité de la tâche n'augmente pas seulement le déficit dû à l'âge dans les mesures de performance générale mais également dans les mesures plus spécifiques d'apprentissage.

A titre d'exemple, Kausler (1994) rapporte les résultats d'une étude de Toole, Pyne et McTarsney (1984) dans laquelle des participants âgés et jeunes devaient reproduire des séries de mouvements. Il ressort qu'il n'y avait pas de réelle différence, en fonction de l'âge, lors de la reproduction de mouvements pour des séries courtes (1, 3 ou 6 mouvements), alors que cette différence était importante lorsque des séries longues étaient requises (9 ou 12 mouvements), révélant un effet différencié de la complexité de la tâche en fonction de l'âge.

Cette hypothèse de la complexité de la tâche semble également pertinente pour expliquer les résultats contradictoires des études de Wright et Payne (1985) et de Durkin *et al.* (1995), qui utilisaient pourtant le même paradigme expérimental. En effet, dans leur étude, Wright et Payne (1985) avaient démontré un déficit important dû à l'âge dans l'apprentissage d'une tâche de poursuite rotative, alors que Durkin *et al.* (1995) concluaient à une préservation avec l'âge des capacités d'apprentissage pour cette même tâche.

Un examen rigoureux des tâches utilisées dans ces deux études permet de comprendre cette opposition. Dans la première étude, les participants devaient garder un stylet en contact avec une cible qui effectuait des mouvements rotatoires à la vitesse de 60 tours par minute, alors que dans la deuxième étude, la vitesse de rotation de la cible n'était que de 45 tours par minute. Il est plausible de penser que la plus grande vitesse de rotation de la cible dans l'étude de Wright et Payne (1985) a contribué à augmenter la complexité de la tâche et que cette contrainte de vitesse était responsable du déficit d'apprentissage des personnes âgées. A l'inverse, les contraintes liées à l'exécution de la tâche, plus faibles dans l'étude de Durkin *et al.* (1995) pourraient expliquer l'absence d'un tel déficit rapporté par ces auteurs. Plus généralement, les recherches ayant utilisé un miroir pour contrôler l'action ou ayant porté sur des coordinations bi-manuelles suggèrent que les déficits dus à l'âge dans l'apprentissage d'habiletés motrices sont plus susceptibles d'apparaître lorsque les exigences cognitives ou sensori-motrices sont augmentées (voir Kausler, 1994).

Afin d'analyser plus précisément cet effet de la complexité de la tâche sur l'apprentissage d'habiletés motrices chez les personnes jeunes et âgées, il nous apparaît tout d'abord essentiel de bien caractériser ce que l'on entend par complexité.

2.2.2.2 *Vieillissement, apprentissage et complexité de la tâche*

Dans la littérature, bien souvent, la distinction n'est pas faite entre complexité et difficulté d'une tâche (Famose, 1990). Pour notre part, nous considérons que la complexité fait référence au caractère absolu et objectivement mesurable d'une tâche, indépendamment de celui qui doit la réaliser. La difficulté de la tâche en revanche se conçoit en référence à l'exécutant et reflète plus une mesure subjective de l'interaction entre l'acteur et la tâche (voir Stankov & Raykov, 1995). Ainsi, la complexité d'une tâche peut être quantifiée *à priori* de manière objective et absolue ; la tâche peut alors être ressentie comme difficile par quelqu'un ou facile par quelqu'un d'autre. Quoi qu'il en soit, et puisque ces deux termes sont utilisés dans le même sens dans la plus part des études sur lesquelles nous allons appuyer notre propos, nous les prendrons comme synonymes dans ce document.

Nous pensons qu'il est nécessaire de distinguer au moins deux sources de complexité d'une tâche d'apprentissage.

Premièrement, comme l'ont énoncé Hayes et Marteniuk (1976) dans leur article sur “ Les dimensions de la complexité d'une tâche motrice ”, « ...la complexité d'une habileté est en directe proportion avec la quantité d'information ou d'incertitude avec laquelle un exécutant est confronté. La pratique est ainsi vue comme la réduction de la quantité d'incertitude entraînant une performance plus rapide, plus efficiente.[...] A cet égard, l'incertitude [ou la complexité] peut être manipulée en variant les probabilités d'occurrence de plusieurs événements possibles [...] ou les dépendances séquentielles de plusieurs événements possibles. » (p. 214-215). Se plaçant dans le cadre de la théorie de l'information, cette approche s'appuie sur les travaux de Hick (1952) et de Hyman (1953), pour quantifier l'incertitude. Ces auteurs ont montré, comme nous l'avons déjà vu, que l'incertitude, entraînant une augmentation du TR, est fonction du nombre de choix possibles ou de la probabilité d'apparition d'un stimulus. Le TR est d'autant plus long que le nombre de stimuli possibles est grand ou que la probabilité d'apparition d'un stimulus particulier parmi deux ou plusieurs est faible.

Analysées sous cet angle, plusieurs études ont examiné l'effet de la complexité des régularités liant les événements à apprendre dans une tâche implicite de TRS sur l'amplitude des différences entre adultes jeunes et âgés du point de vue de la quantité d'apprentissage. Plusieurs manipulations expérimentales ont été proposées pour contrôler la complexité de la tâche d'apprentissage. L'une des manipulations les plus intuitives est celle qui consiste à

manipuler la longueur de la séquence à apprendre. Mais, à titre d'exemple, dans leurs études, Howard et Howard (1989 ; 1992) considérant qu'une séquence de 16 éléments est plus complexe qu'une séquence de 10 éléments, n'ont cependant pas pu démontrer de déficit d'apprentissage lié à l'âge. Dans leurs études les participants jeunes et âgés démontraient un meilleur apprentissage implicite de la séquence courte que de la séquence longue, mais cet effet de la complexité de la tâche ne permettait pas de différencier les participants en fonction de leur âge.

Une autre manipulation susceptible d'augmenter la complexité de la tâche d'apprentissage est l'augmentation de l'ordre des contingences liant les événements. Ce point de vue est notamment défendu par Stadler et Neely (1997), qui ont démontré que c'est la structure de la séquence et non pas sa longueur qui détermine la quantité de l'apprentissage séquentiel. Ainsi les régularités d'ordre 1 où chaque événement prédit le suivant ($n+1$) sont plus faciles à apprendre que les régularités d'ordre 2 ($n+2$), elles-mêmes plus faciles que les régularités d'ordre 3 ($n+3$) et ainsi de suite.

Dans cette perspective, Howard et Howard (1997) ont comparé des groupes de participants jeunes et âgés lors d'une tâche de TRS nécessitant l'apprentissage de régularités d'ordre 2 au minimum. Dans cette tâche, un événement prédictif (un emplacement particulier de la cible) était suivi d'un événement aléatoire puis d'un événement prédictible à partir de l'événement 1. Howard et Howard (1997) ont montré que si les participants âgés de leur étude révélaient un apprentissage des régularités d'ordre 2 (néanmoins moindre que celui des jeunes), d'importants déficits liés à l'âge apparaissaient dans les aspects quantitatifs et qualitatifs de cet apprentissage implicite. Seuls les participants jeunes démontraient un apprentissage des contingences de troisième ordre. Ainsi, les adultes jeunes semblent capables d'acquérir et d'utiliser des régularités plus complexes que les adultes âgés afin d'améliorer leur performance. Pour ces auteurs, les mécanismes responsables de ce déficit d'apprentissage lié à l'âge sont encore largement inconnus. Ils proposent toutefois que ce déficit puisse provenir de la complexité de la tâche elle-même ou des fortes demandes en mémoire de travail nécessaires pour apprendre ces régularités. Comme les capacités de la mémoire de travail diminuent avec l'âge, cette tâche d'apprentissage serait particulièrement difficile pour les personnes âgées.

Plus spécifiquement, Curran (1997) a examiné l'apprentissage implicite de séquence chez des adultes jeunes et âgés en manipulant dans une même expérience la complexité de la séquence à apprendre. Utilisant une séquence nécessitant l'apprentissage d'associations de premier ordre (appelée Séquence Prédictive de Premier Ordre) et une séquence nécessitant

l'apprentissage de relations de deuxième ordre (appelée Séquence Prédicative de Deuxième Ordre), Curran (1997) a paradoxalement révélé un déficit lié à l'âge pour l'apprentissage implicite de la première (Séquence Prédicative de Premier Ordre) mais pas pour la deuxième (Séquence Prédicative de Deuxième Ordre). En examinant plus précisément ce que les participants apprenaient réellement, Curran (1997) a conclu *à posteriori* que la Séquence Prédicative de Premier Ordre était en fait plus complexe que la Séquence Prédicative de Deuxième Ordre, parce que celle-ci pouvait être entièrement apprise par des associations de deuxième ordre, mais que des associations d'ordre supérieur (c'est à dire de troisième ordre au moins) étaient nécessaires pour apprendre entièrement la Séquence Prédicative de Premier Ordre (p.30). Les participants âgés de cette étude, contrairement aux participants jeunes, ne révélaient aucun apprentissage des régularités complexes d'ordre supérieur (c'est à dire de troisième ordre). L'auteur concluait, comme Howard et Howard (1997), que les personnes âgées présentent des déficits d'apprentissage implicite de séquence impliquant des règles de structuration complexes et un apprentissage préservé pour des séquences plus simples.

Trois constats semblent se dégager de ces études. En premier lieu, la complexité des règles liant les événements impliqués dans une tâche semble jouer un rôle dans la modulation de l'effet de l'âge sur la quantité d'apprentissage. Le second constat est que, à l'exception de l'étude de Curran (1997), aucune étude n'a manipulé empiriquement la complexité des règles pour examiner l'effet de l'âge sur l'apprentissage de régularités visuo-motrices. En dernier lieu, il ressort, notamment après l'étude de Curran (1997), que le problème de la mesure objective et *à priori* de la complexité d'une séquence à apprendre n'est pas trivial (pour une discussion de ce point, voir Stadler, 1992 et Stadler & Neely, 1997).

Une deuxième source de la complexité d'une tâche est liée à la complexité de l'exécution des réponses impliquées dans la tâche. Comme nous en avons largement débattu lors du premier chapitre (voir I.1), la complexité d'exécution d'un mouvement peut être liée au nombre d'effecteurs mis en jeu, au nombre de mouvements impliqués dans la tâche ou encore aux contraintes du compromis vitesse/précision requises et affecte plus la performance des personnes âgées que celle des jeunes. A ce titre, Hayes et Marteniuk (1976) nous rappellent que « la complexité du contrôle du mouvement peut être vue comme fonction [...] de la charge informationnelle imposée à un exécutant pour détecter et corriger ses erreurs durant l'exécution d'un mouvement. » (p.219). Les différences entre âgés et jeunes dans l'apprentissage d'habiletés motrices pourraient ainsi provenir non pas de la complexité du

contenu à apprendre mais de la complexité des réponses impliquées, reflétant l'expression comportementale de ce qui est appris.

Analysées sous cet angle, à notre connaissance, peu d'études ont examiné empiriquement l'effet de la complexité de la réponse sur la modulation de l'amplitude de la différence au niveau de l'apprentissage entre sujets jeunes et âgés. A cet égard, l'étude de Harrington et Haaland (1992) apporte des informations précieuses. Ces auteurs ont en effet tenté de reproduire l'expérience de Howard et Howard (1989) tout en modifiant le type de réponses à effectuer dans la tâche d'apprentissage. Rappelons que dans l'étude de Howard et Howard (1989), il s'agissait pour les participants d'appuyer sur une touche de clavier d'ordinateur correspondant à l'apparition de la cible (un astérisque) dans une position spatiale donnée. La série de mouvements de la cible et, par conséquent, la série de mouvements d'appui sur les touches appropriées était régie par une règle déterministe. Howard et Howard (1989) avaient montré qu'il n'y avait pas de différence entre les participants jeunes et âgés de leur étude du point de vue de l'apprentissage implicite de la séquence. Dans l'étude de Harrington et Haaland (1992), les participants produisaient, au lieu de la série d'appuis sur une touche, une série de postures de la main. A l'encontre des résultats de Howard et Howard (1989), Harrington et Haaland (1992) ont montré un déficit d'apprentissage lié à l'âge de la séquence visuo-motrice. Les participants âgés de leur étude présentaient des indices d'apprentissage de la séquence plus faibles que ceux observés chez les participants jeunes. Pour expliquer une telle différence, nous pourrions soutenir que la variation de la complexité de la réponse entre ces deux études est probablement responsable de la variabilité de l'effet de l'âge sur l'apprentissage. L'argument principal ici est que produire une posture de la main est plus complexe que produire un appui sur une touche.

Malgré son intérêt, l'inconvénient majeur de l'étude de Harrington et Haaland (1992) est que les conclusions sur l'effet de la complexité des procédures d'exécution sur l'amplitude de la différence d'apprentissage entre sujets jeunes et âgés sont déduites à partir de la comparaison des résultats de deux études distinctes. En effet, en premier lieu, cette étude n'a pas manipulé la complexité des réponses, comme par exemple des postures de la main de complexités différentes. En second lieu, la comparaison directe entre ces deux études est rendue difficile par le fait qu'elles n'ont pas utilisé les mêmes séquences. Ceci implique que nous ne pouvons être sûrs que les résultats différents de ces deux études sont attribuables à la seule différence dans la complexité de la réponse et pas à d'autres facteurs comme la longueur ou la structure de la séquence.

La complexité de la tâche semble être un puissant facteur déterminant l'amplitude des différences d'apprentissage entre adultes jeunes et âgés. Il apparaît possible d'envisager que les personnes âgées démontrent des capacités d'apprentissage préservées pour des tâches simples mais qu'elles montrent des difficultés lorsque le contenu à apprendre est plus complexe ou lorsque l'exécution des réponses motrices impliquées est rendue difficile. Il faut néanmoins retenir que la définition et l'opérationnalisation de cette complexité n'ont été jusqu'à présent que très peu examinées. De plus, de trop rares études ont manipulé empiriquement et explicitement la complexité de la tâche à apprendre pour que des conclusions plus générales puissent être définitives.

2.3 Vieillissement et apprentissage : synthèse et conclusion

L'ensemble des travaux ayant porté sur le vieillissement de la personne et l'apprentissage sensori-moteur a produit des résultats contrastés. Certaines études ont montré que les personnes âgées révélaient des difficultés pour apprendre de nouvelles habiletés motrices alors que d'autres ont conclu à une capacité d'apprentissage préservée au cours du vieillissement. Nous avons vu dans un premier temps, qu'engager les personnes dans un apprentissage de type implicite pouvait permettre de réduire, voire d'éliminer dans une certaine mesure les déficits dus à l'âge dans l'apprentissage de nouvelles habiletés motrices. Dans un deuxième temps, nous avons vu que cette possibilité était tout de même subordonnée à la relative simplicité de l'habileté à apprendre. Il est apparu que si l'habileté en question nécessite d'une part l'apprentissage de règles ou d'associations entre les événements à apprendre complexes, ou si d'autre part, elle nécessite la production de réponses motrices complexes, les personnes âgées étaient en difficulté.

Dans son article de 1998, Willingham propose d'analyser les désaccords concernant l'effet du vieillissement sur l'apprentissage d'habiletés motrices à partir de la théorie de la vitesse de traitement de Salthouse (1996). Cette théorie suggère, comme nous l'avons vu, que la plus part, voire tous les déclin cognitifs liés à l'âge voient leur origine dans le ralentissement, au cours du vieillissement, de la vitesse de traitement de l'information. Il y aurait deux mécanismes par lesquels ce ralentissement entraînerait des déficits cognitifs : un *mécanisme de temps limité* et un *mécanisme simultané*. Le *mécanisme de temps limité* suppose que si une contrainte de temps est imposée pour compléter une tâche ou une action, le

traitement lent entraîne que quelque opération ne sera pas complétée dans le temps alloué. Le *mécanisme simultané* suppose que le traitement lent réduit la quantité d'information qui est disponible simultanément pour être utilisée, parce que le produit des opérations précédentes ne serait plus disponible lorsque les opérations subséquentes seraient complétées. Ainsi, selon cette théorie, les personnes âgées devraient montrer des difficultés à apprendre des tâches pour lesquelles l'allure d'exécution est *imposée* par l'expérimentateur et/ou des tâches qui demandent un maintien simultané de multiples processus cognitifs en mémoire de travail. Leur traitement lent devrait dégrader ou rendre inutilisable l'information pertinente quand elle est nécessaire.

Loin d'être en opposition avec l'hypothèse de la *complexité* développée dans la section précédente, nous pensons que ces deux approches sont complémentaires puisqu'elles assument toutes les deux que la plupart des déclins cognitifs liés à l'âge résultent essentiellement d'un nombre très limité de facteurs généraux (comme la vitesse de traitement) plutôt que d'une multitude de facteurs spécifiques (Salthouse, 1991 ; 1996). Plus une tâche est complexe et nécessite des traitements longs, plus la vitesse de traitement réduite des personnes âgées augmente les différences liées à l'âge.

Appliquée au champ de l'apprentissage de Temps de Réaction Sériels par exemple, la théorie de Salthouse (1996) permettrait d'expliquer plus théoriquement la préservation ou le déficit d'apprentissage des personnes âgées en fonction de la complexité des séquences. Ainsi, selon le *mécanisme simultané*, les personnes âgées peuvent activer simultanément moins d'événements que les jeunes ; il leur est ainsi plus difficile de détecter des régularités de deuxième ou troisième ordre, bref des régularités plus ambiguës ou plus complexes. De même, la théorie prédit que les personnes âgées sont plus susceptibles de montrer des difficultés lors de tâches pour lesquelles il y a deux choses à apprendre. C'est le cas par exemple de l'expérience de Harrington et Haaland (1992) qui nécessite un apprentissage sensori-moteur général d'association entre les stimuli et les réponses motrices et un apprentissage plus spécifique de la séquence de régularités d'apparition des stimuli.

A la suite de cette revue de travaux, plusieurs questions restent tout de même en suspens. Une première concerne l'opérationnalisation empirique de(s) la complexité(s) de la tâche. Dans la majorité des études, la complexité de la tâche est déduite *à posteriori*, d'après les résultats des participants aux études (Amrhein, 1996 ; Salthouse, 1991). Si l'objectif est de démontrer que la complexité de la tâche est la principale source d'explication des différences entre jeunes et âgés dans l'apprentissage d'habiletés motrices, il devient nécessaire de définir

clairement et de quantifier précisément *a priori* ce concept. Ceci n'est pas sans poser des problèmes, comme nous l'avons vu. L'évaluation univoque de la complexité de différentes séquences à apprendre dans le cadre de tâches de Temps de Réaction Sériels par exemple, est extrêmement difficile et surtout semble dépendre de ce que les participants apprennent réellement. De même, sur l'autre versant, il est nécessaire de quantifier précisément la complexité de l'exécution des réponses impliquées dans la tâche, si l'on veut en analyser les effets sur l'amplitude des différences entre jeunes et âgés du point de vue de l'apprentissage.

Une deuxième question concerne l'identification précise du principal facteur responsable d'un possible déficit d'apprentissage des personnes âgées. Les personnes âgées présentent-elles des difficultés particulières à apprendre des régularités complexes quelle que soit la difficulté des réponses motrices impliquées dans la tâche, comme le suggèrent les résultats de Curran (1997) ou ceux de Howard et Howard (1997) ? A l'opposé, la complexité des réponses est-elle responsable du déficit d'apprentissage lié à l'âge de ces mêmes régularités quelle que soit leur complexité intrinsèque, comme le suggèrent les résultats de Harrington et Haaland (1992) ? A notre connaissance, aucune étude n'a manipulé empiriquement dans une même expérience les deux sources de complexité d'une tâche comme nous les avons définies, afin d'examiner l'apprentissage moteur des adultes jeunes et âgés. Cette question reste donc à ce jour non résolue.

3. Conclusion du chapitre et ouverture

Dans la première partie de ce chapitre nous avons montré que la performance d'habiletés motrices et le contrôle du mouvement se détériorent au cours du vieillissement normal. Nous avons vu que les différences entre jeunes et âgés sont amplifiées lorsque la décision à prendre ou le mouvement à réaliser sont complexes. Dans la deuxième partie, nous avons vu que le constat concernant l'apprentissage de nouvelles habiletés motrices n'est pas aussi formel. La complexité de la tâche semble, là aussi, jouer un rôle prépondérant dans les différences entre jeunes et âgés. Les personnes âgées semblent montrer des déficits d'apprentissage, comparativement à des adultes jeunes, lorsque la complexité formelle des régularités à apprendre est forte, mais pas lorsqu'elle est faible. D'autres part, la manipulation de la complexité des procédures d'exécution motrice des réponses affecte plus l'apprentissage des âgés que celui des jeunes.

La prise en compte des deux composantes de la complexité de la tâche comme nous les avons définies renvoie aux relations entre *processus sensori-moteurs* et *processus cognitifs*. Les capacités sensorielles, sensori-motrices et cognitives sont étroitement liées et plusieurs études ont montré que cette interrelation augmente avec l'âge (Antsey & Smith, 1998 ; Li & Lindenberger, 2002 ; Lindenberger, 2000 ; Lindenberger, Scherer & Baltes, 2001). Pour ces auteurs, les aspects sensoriels et moteurs du comportement nécessitent de plus en plus de “contrôle cognitif” avec l'avancée en âge. Par exemple, comme nous l'avons vu en conclusion du chapitre I.1 (voir chapitre I.1.3), il a été démontré que le contrôle de la marche ou de l'équilibre est attentionnellement plus coûteux pour les âgés que pour les jeunes. La performance et l'apprentissage d'une habileté motrice demanderaient donc plus de contrôle et d'attention pour les personnes âgées que pour des adultes jeunes, limitant ainsi leur capacité d'adaptation à d'autres caractéristiques de la tâche.

Un deuxième constat général qui peut être dressé est que la variabilité inter-individuelle dans les différentes mesures de performance ou d'apprentissage que nous avons vues, augmente au cours du vieillissement. Le vieillissement est un processus dynamique qui ne toucherait pas tous les individus de manière identique. Ce constat soulève la question de l'influence des facteurs exogènes (i.e., de l'environnement et du mode de vie) sur les mécanismes du vieillissement. Dans cette perspective, nous pouvons faire la distinction entre un vieillissement primaire et un vieillissement secondaire pour désigner respectivement les processus innés de maturation et les influences exogènes potentiellement réversibles (voir Antsey, Stankov & Lord, 1993). Parmi les facteurs liés au mode de vie et susceptibles de moduler les effets du vieillissement, la pratique d'activités physiques régulières est certainement l'un des plus importants. Elle est depuis plusieurs années considérée comme un élément important dans le management de la santé et de la prévention des effets du vieillissement (voir Emery, Burker & Blumenthal, 1991 ; McPherson, 1994 ; Paffenberger, Jr. & Lee, 1996 ; Shephard, 1997). La prochaine partie de ce document est consacrée à la revue des travaux ayant étudié l'influence de l'activité physique sur les processus moteurs et cognitifs de la personne vieillissante.

CHAPITRE II

LE RÔLE DE L'ACTIVITE PHYSIQUE DANS LE VIEILLISSEMENT DES PROCESSUS COGNITIFS ET MOTEURS

1. Activité physique, exercice, fitness

1.1 Définitions

L'activité physique est définie comme « tout mouvement du corps qui est produit par la contraction des muscles squelettiques et qui augmente substantiellement la dépense énergétique » (Etnier, à paraître, p.3). L'exercice représente une catégorie d'activité physique et « décrit les comportements physiquement actifs qui sont conduits de manière planifiée, structurée avec l'objectif de maintenir ou d'améliorer la fitness [ou la forme physique] » (Etnier, à paraître, p.3). La fitness est un anglicisme qui est rentré dans le langage français courant et désigne les « activités sportives visant à remettre en forme ». Nous voyons que cette acception courante correspond en fait à la définition de l'exercice que nous adoptons dans ce document. Pour notre part, nous envisageons plutôt la fitness comme reflétant la forme physique. Dans ce sens la fitness peut être définie comme « un ensemble d'attributs que les gens ont ou atteignent qui ont rapport à la capacité à réaliser une activité physique » (Etnier, à paraître, p.3). La fitness est composée de la fitness aérobie, de la fitness anaérobie, de la force musculaire, de l'endurance musculaire et de la flexibilité et est déterminée par des facteurs génétiques et comportementaux (Boutcher, 2000).

Ainsi, l'activité physique et l'exercice sont des termes utilisés pour décrire des comportements qui, en fonction du type, de la fréquence et de l'intensité peuvent avoir une influence sur une ou plusieurs composantes de la fitness. Dans la littérature sur l'activité physique et la cognition, la distinction entre activité physique et exercice n'est pas toujours très claire ; pour plus d'exhaustivité, nous utiliserons ici le terme général d'activité physique.

Nous verrons également que, pour des raisons théoriques (voir chapitre II.4), les recherches dans ce domaine se sont essentiellement intéressées à l'effet de la fitness aérobie sur la cognition. Dans le prochain chapitre, nous allons brièvement examiner les différents moyens d'évaluer l'activité physique ou de mesurer objectivement la fitness.

1.2 Mesures de l'activité physique et de la fitness

Nous ne présenterons ici que brièvement les méthodes d'évaluation les plus utilisées dans le cadre des recherches sur les effets de l'activité physique et/ou de la fitness sur le vieillissement. Le lecteur intéressé par les différents outils de mesure de l'activité physique pourra se référer à l'article détaillé de Dishman (à paraître).

La méthode la plus employée pour évaluer et mesurer la quantité d'activité physique effectuée par un sujet sur une période donnée, est le questionnaire d'activité physique. Plus d'une trentaine de questionnaires d'activité physique ont été développés ces trente dernières années. Certains sont très généraux et ont pour objectif d'apporter le plus d'information possible, d'autres au contraire, sont plus précis et spécifiques à une population donnée ou à un type d'activité et recouvrent une période plus ou moins longue. Un numéro spécial de la revue *Medicine and Science in Sport and Exercise*, compilant tous ces questionnaires, a été édité en 1997 (Pereira, Fitzgerald, Gregg *et al.*, 1997) et donne des informations sur leur fiabilité et leur validité. Ces questionnaires permettent une évaluation indirecte de l'activité, basée sur les réponses des sujets. Bien que n'offrant pas de mesure directe de l'activité physique, ces questionnaires permettent d'évaluer et parfois même de quantifier de manière valide et objective l'activité ou l'inactivité physique des interviewés. Ceci permet ainsi de pouvoir classer les participants d'une étude en groupes discrets (inactifs vs. actifs).

La méthode la plus couramment employée pour évaluer la fitness aérobie est l'estimation de la consommation maximale d'oxygène (ou $\dot{V}O_2\text{Max.}$). La fitness aérobie peut être directement estimée et précisément quantifiée (en ml d' O_2 /kg de masse corporelle/min) lors de la réalisation d'un exercice physique vigoureux (maximal ou sous-maximal selon l'âge) sur un tapis roulant ou un ergomètre. Cette méthode permet d'avoir une mesure continue du $\dot{V}O_2\text{Max.}$ Son intérêt principal réside dans l'obtention par un protocole strict et

standardisé d'une mesure directe et précise de la consommation maximale d'oxygène d'une personne, reflétant sa capacité à maintenir un effort physique prolongé.

Nous savons cependant que le $VO_2\text{Max}$. reflèterait plus des facteurs génétiques que le réel niveau d'activité physique (Weineck, 1990, Wilmore & Costill, 1998). Ainsi, l'utilisation couplée des deux méthodes que nous avons détaillées semble être le moyen le plus efficace pour estimer le niveau de fitness et d'activité physique d'une personne.

Lors des trois dernières décennies, un nombre grandissant d'études s'est intéressé à l'effet potentiellement bénéfique de l'activité physique sur le vieillissement des fonctions cognitives et motrices. La méthodologie et les mesures utilisées peuvent différer considérablement d'une étude à une autre. Nous allons voir dans le prochain chapitre que trois grands types d'études ont été menés.

1.3 Trois grands types d'étude

Depuis les travaux pionniers de Spirduso dans les années 1970, un nombre considérable d'études a abordé cette problématique en adoptant des logiques différentes. Certaines ont pour objectif de comparer les performances de sujets âgés en fonction de leur implication dans des activités physiques régulières, alors que d'autres incluent dans cette comparaison des groupes d'adultes jeunes. D'autres types d'études se sont, quant à elles, intéressées, chez la personne âgée, à l'impact de la reprise d'une activité physique sur l'évolution des performances. Enfin un dernier type d'études a examiné de manière longitudinale l'effet de la pratique physique sur le vieillissement de diverses fonctions ou structures.

- les études transversales :

Dans les études transversales, les populations de sujets étudiés sont divisées en groupes discrets d'actifs et d'inactifs (sur la base des mesures vues au chapitre précédent) et les différences dans la performance cognitive ou sensori-motrice sont examinées. Dans leur grande majorité, ces études rapportent un effet positif de la pratique régulière d'activité physique sur le fonctionnement cognitif et sensori-moteur des personnes âgées incluant la vitesse de la réponse (TR et TM) (Abourezk & Toole, 1995 ; Baylor & Spirduso, 1988 ; Bunce, 2001b ; Bunce & Birdi, 1998 ; Bunce, Warr & Cochrane, 1993 ; Emery, Huppert &

Schein, 1995 ; Era, Jokela & Heikkinen, 1986 ; Etnier, Sibley, Pomeroy & Kao, 2003 ; Lupinacci, Rikli, Jones & Ross, 1993 ; Offenbach, Chodzko-Zajko & Ringel, 1990 ; Spirduso, 1975 ; Spirduso & Clifford, 1978 ; Toole, Park & Al-Ameer, 1993), la mémoire (Chodzko-Zajko, Schuler, Solomon *et al.*, 1992 ; Clarkson-Smith & Hartley, 1989 ; 1990 ; James & Coyle, 1998 ; Van Boxtel, Paas, Houx *et al.*, 1997 ; Wood, Reyes-Alvarez, Maraj *et al.*, 1999) ou l'intelligence (Clarkson-Smith & Hartley, 1989 ; 1990 ; Christensen, Korten, Jorm *et al.*, 1996). La conclusion générale qui ressort de ce type d'étude est que les déclinés que l'on observe généralement avec l'avancée en âge dans les mesures de contrôle du mouvement, de traitement de l'information, de raisonnement ou de mémoire pourraient être réduits voire éliminés par un style de vie physiquement actif. Notons que si ce type d'étude offre des avantages évidents, il comporte néanmoins des inconvénients. Premièrement, il est difficile de séparer les effets dus à l'activité physique sur le fonctionnement cognitif et sensori-moteur d'autres facteurs non contrôlés, comme le statut social, le niveau d'activité cognitive ou le niveau d'éducation (Rikli & Jones, 1995). Deuxièmement, dans ce genre d'études, il est impossible d'établir un lien de causalité. Une meilleure performance physique reflète-t-elle une prédisposition à de meilleures capacités physiques et cognitives ? ou l'activité physique a-t-elle un effet bénéfique sur le fonctionnement cognitif ? (Jeandel, 1995). Ainsi, les performances supérieures des participants actifs comparativement aux inactifs pourraient en fait refléter une auto-sélection des individus ayant le plus d'aptitude pour participer à une activité physique régulière (Churchill, Galvez, Colcombe *et al.*, 2002).

- Les études interventionnistes :

Afin de contrôler ce lien de causalité, les chercheurs ont examiné l'effet d'un programme d'entraînement physique sur la performance cognitive et sensori-motrice de participants auparavant sédentaires. Dans ce genre d'études, l'entraînement physique est manipulé comme une variable indépendante. L'objectif ici est de comparer les performances des participants avant et après un programme d'entraînement de durée variable selon les études, allant de 2 mois à 3 ans. Avec ce type de protocole, les résultats des études disponibles sont beaucoup plus contrastés que ceux des études transversales. Ainsi, plusieurs études ont montré une amélioration des performances cognitives (Elsayed, Ismail & Young, 1980 ; Fabre, Chamari, Mucci *et al.*, 2002 ; Hassmen, Ceci, & Backman, 1992 ; Hawkins, Kramer & Capaldi, 1992 ; Kramer, Hahn, Cohen *et al.*, 1999 ; Kramer, Hahn, McAuley *et al.*, 2002 ; Rikli & Edwards, 1991 ; Williams & Lord, 1997) ou sensori-motrices (Hauer, Specht, Schuler *et al.*, 2002 ; Rikli & Edwards, 1991 ; Williams & Lord, 1997) concomitante à l'amélioration de la fitness

(essentiellement la fitness aérobie) chez des personnes âgées ayant participé à un programme d'entraînement physique. A l'opposé, plusieurs autres études n'ont pu révéler d'amélioration des performances cognitives ou sensori-motrices, chez des personnes âgées alors que leur fitness s'était améliorée significativement sur la même période suite à un tel programme d'exercice (Blumenthal & Madden, 1988 ; Blumenthal, Emery, Madden *et al.*, 1989 ; Blumenthal *et al.*, 1991 ; Madden, Blumenthal, Allen & Emery, 1989 ; Normand, Kerr & Métivier, 1987 ; Paillard, Sablayrolles, Costes-Salon *et al.*, 2001 ; Panton, Graves, Pollock *et al.*, 1990). L'explication majeure qui permet de comprendre ces résultats semble être d'ordre méthodologique. Premièrement, la grande hétérogénéité des variables dépendantes examinées rend difficile la comparaison de ces études et peut expliquer les différences observées. Deuxièmement, le postulat de ces études réside dans le fait qu'une meilleure fitness aérobie engendrerait de meilleures performances cognitives (voir chapitre II.4). L'amélioration de la fitness de personnes auparavant sédentaires devrait donc entraîner une amélioration de leur fonctionnement cognitif. La durée des programmes d'entraînement physique, variable selon les études (de 2 mois à 3 ans), ainsi que le nombre de séances par semaine pourraient expliquer ces résultats contradictoires (Rikli & Edwards, 1991 ; Hill, Storandt & Malley, 1993). Ainsi on s'aperçoit très souvent (bien que cela ne soit pas toujours exact) que les études qui ont montré un effet bénéfique d'un programme d'activité physique sur le fonctionnement cognitif des personnes âgées sont les plus longues et celles où l'amélioration du $\dot{V}O_2\text{Max.}$ était la plus importante. D'autre part, même pour les études les plus longues, il n'est pas sûr que les participants aient pu atteindre le même niveau de forme physique que des personnes qui pratiquent régulièrement une activité physique depuis de longues années. Une deuxième critique que l'on peut adresser à ce corpus d'études concerne l'absence quasi systématique de groupes contrôles de participants jeunes. Ainsi, la question reste entière de savoir si cet effet de l'activité physique sur le fonctionnement cognitif et sensori-moteur est le même à tous les âges de la vie. Enfin, une dernière limitation concerne le possible biais de sélection dans les participants. En effet, rien ne garantit que ce ne sont pas les participants qui ont le plus de « prédispositions » qui justement intègrent le groupe expérimental réalisant le programme d'activité physique.

- Les études longitudinales :

Compte tenu de la longueur et des difficultés inhérentes au protocole expérimental, très peu d'études ont utilisé cette méthodologie dans la problématique qui nous intéresse. Nous avons recensé 3 études ayant abordé le problème sous cet angle. Ces études ont montré une association entre la pratique régulière d'activité physique et la préservation des fonctions cognitives chez des personnes âgées de 65 ans et plus sur des périodes de 3 à 8 ans (Albert, Jones, Savage *et al.*, 1995 ; Laurin, Verreault, Lindsay *et al.*, 2001 ; Yaffe, Barnes, Nevitt *et al.*, 2001). Par exemple, Yaffe *et al.* (2001) ont examiné l'évolution du fonctionnement cognitif (mesuré par le MMSE : Mini-Mental State Examination, dont les scores vont de 0 à 26) de 5925 femmes âgées de 65 ans et plus sur une étude longitudinale de 6 à 8 ans en fonction de leur niveau de pratique régulière d'activité physique (mesuré par la distance de marche parcourue chaque jour et le questionnaire modifié d'activité physique de Paffenbarger). Ces auteurs ont montré que les femmes qui marchaient moins de 1,12 km/semaine et/ou dépensaient moins de 336 kcal/semaine lors d'activités physiques démontraient un déclin cognitif (défini comme une diminution d'au moins 3 points sur l'échelle du MMSE entre le pré-test et le post-test) de 24%. En revanche, les femmes qui marchaient en moyenne 28 km/semaine et/ou dépensaient 3469 kcal/semaine démontraient un déclin cognitif de seulement 16,6%. Yaffe *et al.* (2001) concluaient que l'activité physique, même modérée, était associée à un risque significativement plus faible de déclin cognitif chez la femme âgée. Ces résultats permettent de suggérer une relation causale entre l'activité physique et les performances cognitives chez la personne âgée. Toutefois, ces études ayant restreint la population suivie aux personnes âgées, nous ne pouvons savoir si cette relation est dépendante ou indépendante de l'âge.

En conclusion de cette présentation, il ressort que les résultats de ces différents types d'études sont plus ou moins consistants en fonction de la méthodologie utilisée. L'accumulation des résultats significatifs issus de recherches de différents types semblent toutefois suggérer qu'il y ait une relation positive entre l'activité physique et le fonctionnement cognitif et sensori-moteur des personnes âgées (Dustman, Emmerson, Shearer, 1994). Ces résultats empiriques sont confortés par des études ayant utilisé des techniques méta-analytiques. Les méta-analyses consistent à compiler les résultats statistiques de beaucoup d'études, augmentant la puissance statistique qui teste cette hypothèse. Un article publié par Etnier et collaborateurs en 1997 (Etnier, Salazar, Landers *et al.*, 1997) portant sur une méta-analyse de 176 études examinant l'influence de l'activité physique sur la

performance cognitive a révélé que l'ES ("Effect Size" ; intensité de l'effet ou Effet Standardisé en français) global était de 0,25 ; ce qui signifie que l'activité physique améliore le fonctionnement cognitif de 0,25 écart-type. Un résultat important pour notre propos concernait l'augmentation de cet ES à 0,38 lorsque l'analyse ne portait que sur des personnes âgées de 60 ans et plus. Ces résultats sont confortés par ceux de Colcombe et Kramer (2003) qui ont utilisé des techniques méta-analytiques pour examiner les résultats de 18 études rigoureusement sélectionnées, portant sur l'effet d'un programme d'activité physique sur la cognition des personnes âgées. Les résultats de leur revue ont indiqué que les adultes âgés qui avaient participé à un programme conçu pour améliorer leur niveau d'activité physique amélioreraient leur performance cognitive de presque un demi-écart-type ($ES = 0,48$).

Enfin, il est important de noter que, pour notre propos, le point critique à démontrer est que l'activité physique a un effet différent sur le fonctionnement cognitif et sensori-moteur en fonction de l'âge. Stones et Kozma (1988 ; Kozma, Stones & Hannah, 1991) suggèrent qu'il y ait au moins deux modèles théoriques pour expliquer la relation entre l'activité physique, les mesures de performance cognitive et sensori-motrice et l'âge. Dans leur modèle "TOPE" (Tonic and Overpractice Effect Model), ils proposent que les effets de l'âge chronologique et de l'activité physique sur ces mesures soient essentiellement indépendants. En d'autres termes, l'effet de l'activité physique serait le même pour des adultes jeunes et âgés. A l'opposé, leur "Modèle Modérateur" suggère que l'activité physique régulière influence les performances cognitives et sensori-motrices en modifiant "la vitesse" à laquelle les individus vieillissent. Ce modèle est plus provocant que le premier dans le sens où il prédit que l'activité physique modère les effets du vieillissement. Ces auteurs nous disent que : "Ce modèle s'appuie sur la notion que l'exercice régulier au cours de la vie repousse ou même arrête les changements dus à l'âge dans les processus qui sous-tendent les capacités de performance ; l'exercice, par conséquent, pourrait modérer les changements liés à l'âge." (Stones & Kozma, 1988, p 276). Citant Spirduso (1980), ils proposent que : "...l'exercice pourrait prévenir ou repousser un cycle généralement existant : l'abandon diminue les demandes métaboliques dans les tissus moteurs et somatosensoriels du cerveau, ce qui pourrait diminuer le besoin de circulation cérébrale, qui pourrait résulter en une destruction neuronale, entraînant une diminution du tissu cérébral, et ainsi de suite." (p. 276). En fait, ce modèle ne propose pas réellement de mécanisme direct expliquant cette relation mais propose que les effets de l'âge et de l'activité physique interagissent. L'idée générale de ce modèle est que les effets de l'activité physique sont plus importants pour les personnes âgées que pour les jeunes ou même

sélectifs aux âgés parce qu'ils retardent ou stoppent les effets "délétères" dus au vieillissement normal. Si l'objectif est de démontrer que l'activité physique joue un rôle sur le processus de vieillissement lui-même, il est alors nécessaire de révéler une interaction entre l'activité physique et l'âge sur ces mesures. En d'autres termes, l'objectif est de montrer que le bénéfice d'une activité physique régulière est plus prononcé pour les personnes âgées ou sélectif aux personnes âgées et pas aux adultes jeunes.

2. Vieillissement, activité physique et motricité

Dans le domaine de la motricité et du maintien de certaines fonctions motrices, plusieurs études se sont intéressées à l'effet d'un programme d'entraînement physique ou d'un style de vie physiquement actif afin d'atténuer les dégradations liées à l'âge (pour une revue, voir Chodzko-Zajko, 2000 ; Elward & Larson, 1992 ; Fozard, 1999 ; King, Rejeski & Buchner, 1998 ; Skelton, 2001 ; Stelmach, 1994).

Des études ont montré que des personnes âgées pratiquant régulièrement une ou plusieurs activités physiques révélaient de meilleures performances que leurs homologues inactives dans des mesures de stabilité posturale, d'équilibre, de flexibilité ou encore de tractions (Kozma, Stones & Hannah, 1991 ; Rikli & Bush, 1986 ; Wong, Lin, Chou *et al.*, 2001). Ces résultats sont confirmés par Rikli et Edwards (1991) qui ont montré qu'un programme d'activité physique de 3 ans permettait d'améliorer significativement l'équilibre, la flexibilité des membres inférieurs et de l'épaule ainsi que la force de préhension manuelle chez des personnes âgées de 57 à 87 ans.

En ce qui concerne les processus de contrôle du mouvement, comme nous l'avons vu au chapitre I.1, le ralentissement du comportement est certainement le plus évident et le plus documenté des changements associés à l'avancée en âge. Les recherches dans le domaine de l'effet de l'activité physique sur le vieillissement se sont essentiellement intéressées à l'impact d'un mode de vie physiquement actif sur la performance, notamment la vitesse des réponses (TR et TM).

Depuis les premiers travaux de Spirduso (1975), plusieurs études se sont attachées à montrer un effet bénéfique de la pratique régulière d'activité physique sur les performances psychomotrices des sujets âgés. Spirduso a été la première à mettre en évidence une supériorité des personnes âgées pratiquant régulièrement un sport de balle sur leurs

homologues inactifs dans des mesures de TR simples, de TR de choix ou encore de TM. Dans cette étude princeps, quatre groupes de 15 sujets étaient constitués sur la base de leur âge (âgés/jeunes) et de leur niveau d'activité physique (actifs/inactifs). Les groupes de participants jeunes incluaient des hommes de 20 à 30 ans, alors que les participants âgés avaient entre 50 et 70 ans. Les groupes de participants actifs incluaient des hommes qui jouaient au squash, au racketball ou au handball un minimum de 3 fois par semaine depuis 30 ans pour les participants âgés ou 2 à 3 ans pour les participants jeunes. Les groupes de participants inactifs incluaient des hommes n'ayant jamais participé à quelque activité sportive que ce soit de manière régulière. La tâche des participants consistait à réagir le plus rapidement possible à l'apparition d'un stimulus lumineux en appuyant sur un interrupteur. Les résultats de cette étude ont montré un effet principal de l'âge et de l'activité physique sur toutes les mesures ainsi qu'une interaction entre l'âge et l'activité physique sur les mesures de TR simple et de TM. L'auteur concluait que la vitesse des réponses des âgés actifs était plus comparable à celle des sujets jeunes actifs qu'à celle des sujets âgés inactifs et que la pratique physique plus que l'âge était responsable des différences observées.

Depuis, de nombreuses études se sont attachées à reproduire ces résultats. Bien que l'interaction critique entre l'âge et l'activité physique n'ait pas toujours été démontrée, elles semblent attester d'un effet positif de l'activité physique et de la fitness sur la performance sensori-motrice des personnes âgées, notamment en terme de vitesse de la réponse (Baylor & Spirduso, 1988 ; Bunce, 2001b ; Bunce & Birdi, 1998 ; Era, Jokela & Heikkinen, 1986 ; Spirduso & Clifford, 1978). Il est toutefois à noter que plusieurs études n'ont pu révéler d'amélioration dans ces mesures de vitesse du comportement suite à un programme d'activité physique de 3 à 6 mois dans des tâches de pointage ou de poursuite (Normand, Kerr & Métivier, 1987 ; Panton *et al.*, 1990). Encore une fois, il semble que la durée de pratique soit un facteur important dans la relation entre l'activité physique et la performance motrice des personnes âgées.

Afin de comprendre la divergence des résultats dans ce type de recherche, il semble également important de prendre en considération la nature des tâches employées. Comme nous l'avons vu au chapitre I, la complexité de la tâche est un puissant facteur expliquant les différences de performance entre adultes jeunes et âgés. Nous avons vu que, d'une part, plus le stimulus et la décision à prendre étaient complexes et/ou, d'autre part, plus le mouvement à exécuter était complexe, plus grandes étaient les différences entre jeunes et âgés (Cerrella, Poon & Williams, 1980 ; Goggin & Meewsen, 1992 ; Ketcham *et al.*, 2002 ; Spirduso, 1995).

Plusieurs études ont ainsi montré que le bénéfice de l'activité physique sur les performances sensori-motrices des personnes âgées est plus important dans la condition où la tâche est complexe (Abourezk & Toole, 1995 ; Bunce, 2001b ; Bunce & Birdi, 1998 ; Rikli & Edwards, 1991). Par exemple, Abourezk et Toole (1995) ont étudié, chez des femmes âgées de 60 à 75 ans, l'effet de la pratique régulière d'activité physique de type aérobie pendant plusieurs années sur des mesures de TR. Les résultats de leur étude ont révélé que les femmes actives avaient des performances significativement supérieures à celles des femmes moins actives dans une tâche complexe de TR de choix, mais pas lors d'une tâche plus facile de TR simple. De même, Bunce et Birdi (1998) ont montré une interaction significative entre l'âge et la fitness (mesurée par un score composite) lors d'une tâche de Temps de Réaction à 4 choix mais pas à 2 choix. Il semble ainsi que les tâches qui sont bien connues pour favoriser le plus les différences entre jeunes et âgés soient également celles qui favorisent le plus les différences entre sujets physiquement actifs et inactifs. Toutefois, à notre connaissance, aucune étude n'a spécifiquement étudié cette relation en regard de la complexité du mouvement à réaliser. Comme nous l'avons vu, ces recherches se sont essentiellement focalisées sur la génération et la production de mouvements très simples (appui sur un bouton), imposant une précision du geste particulièrement réduite. Il apparaît ainsi important d'examiner plus précisément l'impact que peut avoir la pratique régulière d'activité physique sur le contrôle de mouvements plus complexes ou pour lesquels une plus grande précision est exigée.

En conclusion de cette revue, la majorité des études semblent montrer de manière consistante que la diminution de la vitesse des réponses qui caractérise généralement l'avancée en âge, puisse être substantiellement réduite, voire éliminée par la pratique régulière d'activité physique. Cet effet positif d'un mode de vie actif serait également plus prononcé lorsque la tâche est complexe que lorsqu'elle simple. Enfin, il semble que les effets interactifs de l'âge et de la fitness soient plus particulièrement localisés dans l'exécution du mouvement, reflétée par les mesures de TM (Etnier, Sibley, Pomeroy & Kao, 2003). En effet, ces auteurs ont récemment examiné les effets de l'âge et de la fitness aérobie sur la décomposition des temps de réponse (TR et TM) dans une tâche qui requerrait des mouvements de pointage sur des cibles espacées de 70 cm suite à l'apparition d'un stimulus lumineux. Leurs résultats ont mis en évidence que l'interaction entre l'âge et la fitness prédit significativement la vitesse des réponses et que cet effet est spécifique à la composante qui combine les demandes motrices et cognitives (le TM).

3. Vieillissement, activité physique et cognition

Dans ce domaine de recherche encore très jeune et en plein essor, très peu d'études se sont intéressées à la question de l'impact de l'activité physique sur le vieillissement des capacités d'apprentissage. A notre connaissance, seuls les travaux de Etnier et ses collaborateurs de l'Université d'Arizona ont spécifiquement porté sur l'effet de l'âge et de la pratique physique ou de la fitness sur l'apprentissage moteur. La majorité des autres études s'est plutôt focalisée sur la mémoire, la capacité de raisonnement ou encore l'intelligence fluide. Après avoir passé brièvement en revue les études ayant porté sur l'effet de l'activité physique sur les capacités intellectuelles et la mémoire, nous analyserons les résultats des recherches ayant porté plus spécifiquement sur l'apprentissage.

3.1 Vieillissement, activité physique, « intelligence » et mémoire

Historiquement, l'ambition de démontrer le fameux adage *mens sana in corpore sano* a motivé l'intérêt du philosophe et du scientifique à étudier les relations entre l'activité physique et le fonctionnement intellectuel (pour une revue, voir Tomporowski, 1997). Les premières études intéressées par la question se sont donc portées sur l'étude de l'intelligence et de la mémoire.

Dans une étude déjà ancienne, Powel et Pohndorf (1971) n'ont pas relevé de différence significative dans la capacité mentale (mesurée par le test d'intelligence « Culture Fair ») de sujets âgés de 34 à 75 ans en fonction de leur niveau d'activité physique. Toutefois, dans un essai d'intervention, Elsayed, Ismail et Young (1980) ont montré qu'un programme d'activité physique (3 séances de 90 minutes par semaine durant 4 mois) suivi par des adultes jeunes et âgés, dont la moitié était auparavant sédentaire et l'autre moitié déjà active, permettait d'améliorer leur performance dans diverses tâches cognitives mesurant l'intelligence fluide. L'intelligence fluide représente les capacités de résolution de problème, d'abstraction et d'apprentissage. Il faut toutefois souligner que cette étude pose quelques problèmes, notamment en regard de l'absence d'un groupe contrôle ne réalisant pas le programme d'entraînement et de l'absence d'un contrôle de l'évolution de la fitness. De plus, ce programme d'activité physique a entraîné une amélioration des performances équivalente pour tous les groupes quel que soit leur âge ou leur niveau de fitness initial.

D'autres études ont plus récemment, permis d'établir une relation positive entre le niveau d'activité physique et les capacités intellectuelles chez la personne âgée (Christensen *et al.*, 1996 ; Clarkson-Smith & Hartley, 1989 ; 1990 ; DiPietro, Seeman, Merrill & Berkman, 1996 ; Etnier & Landers, 1997). Clarkson-Smith et Hartley (1989, 1990) ont ainsi montré que des personnes âgées qui pratiquaient régulièrement une ou des activités physiques (en moyenne 4,6 h par semaine d'exercice vigoureux) obtenaient des scores significativement supérieurs à ceux de leurs homologues inactifs dans des mesures de raisonnement et de mémoire de travail. Ces différences persistaient après avoir statistiquement contrôlé d'autres variables telles que l'âge, l'éducation ou la santé, suggérant que l'activité physique était responsable de ces différences. Les études longitudinales de Laurin *et al.* (2001) et Yaffe *et al.* (2001) confirment également que la pratique régulière d'activité physique (même modérée comme de la marche quotidienne) chez les personnes âgées de 65 ans et plus diminue significativement les risques de déclin cognitifs.

Plusieurs études se sont intéressées plus spécifiquement à l'effet potentiellement bénéfique de l'activité physique sur la mémoire des personnes âgées. Bien qu'ici aussi les méthodologies utilisées et les mesures diffèrent, un consensus général semble se dégager sur l'effet positif de ce facteur sur les performances mnésiques de nos aînés (voir Salthouse, Kausler & Sauls, 1990 pour une position alternative).

Fabre, Chamari, Mucci, Massé-Biron et Préfaut (2002) ont examiné l'influence d'un programme d'entraînement physique, d'un programme d'entraînement mental (entraînement de la mémoire selon la méthode Israel) ou de ces deux programmes combinés, durant deux mois, sur l'amélioration des performances mnésiques de personnes sédentaires âgées de 60 à 76 ans. Les résultats de leur étude ont montré que les performances des participants aux groupes d'entraînement s'étaient améliorées pour les trois tests de mémoire utilisés alors que celles du groupe contrôle n'avaient pas varié. Plus précisément, les participants du groupe entraînement physique avaient amélioré leur performance mnésique dans la même mesure que ceux du groupe entraînement mental. Les meilleurs résultats étaient atteints par les participants du groupe combinant entraînement physique et entraînement mental. Dans une perspective identique, James et Coyle (1998) ont comparé les performances de 60 hommes âgés de 59 à 66 ans, rigoureusement appariés selon leur QI, leur santé et leur statut socio-économique, lors d'une tâche de rappel de 12 mots de 5 à 7 lettres. La moitié de ces hommes était considérée comme physiquement active et pratiquait des activités physiques de type aérobie (natation, marche, golf) au moins deux fois par semaine. L'autre moitié ne pratiquait

aucune activité physique et était définie comme sédentaire. Les résultats de leur étude ont révélé que les sujets actifs rappelaient 2 fois plus de mots (8,10 mots) que les sujets inactifs (4,03 mots). Plusieurs autres études ont confirmé ces effets positifs associés à la reprise ou au maintien d'une activité physique sur la mémoire des personnes âgées (Christensen *et al.*, 1996 ; Clarkson-Smith & Hartley, 1989 ; Van Boxtel *et al.*, 1997 ; Wood *et al.*, 1999).

De plus, encore une fois, plusieurs auteurs s'accordent à dire que cet effet est plus susceptible d'apparaître pour des tâches complexes que pour des tâches simples (Bunce, 2001a ; Bunce, Barrowclough, & Morris, 1996 ; Chodzko-Zajko *et al.*, 1992 ; Hawkins, Kramer & Capaldi, 1992 ; Van Boxtel *et al.*, 1997).

3.2 Vieillissement, activité physique et apprentissage

Comme nous l'avons déjà dit, nos connaissances concernant l'effet croisé de l'âge et de l'activité physique sur l'apprentissage, et notamment l'apprentissage moteur, sont très limitées.

Dans une première étude, Etnier et Landers (1997) ont examiné les différences de performance et d'apprentissage lors de tâches mesurant l'intelligence fluide et l'intelligence cristallisée, en fonction de l'âge, de la fitness (mesurée par le $\dot{V}O_2\text{Max.}$) et de l'activité physique régulière (mesurée par un questionnaire d'activité). L'intelligence fluide était mesurée par le test d'intelligence "Culture Fair". L'intelligence cristallisée, qui représente l'ensemble des connaissances et des expériences acquises au cours de la vie (compréhension verbale, des relations sociales, connaissance en vocabulaire...), était mesurée par un test de vocabulaire. Les résultats de leur étude ont montré un effet classique de l'âge sur les performances intellectuelles. Comparativement aux adultes jeunes, les participants âgés révélaient de moins bons résultats pour la tâche d'intelligence fluide mais de meilleurs résultats pour la tâche d'intelligence cristallisée. De plus, les participants âgés actifs révélaient des performances significativement supérieures à celles de leurs homologues inactifs du même âge pour la tâche d'intelligence fluide. Les résultats les plus intéressants de leur étude concernent les mesures d'apprentissage (effets de la pratique et test de rétention) de la tâche d'intelligence fluide, pour lesquelles une interaction entre l'âge et la forme physique était révélée. Les effets de la pratique et la rétention à 24 ou 72 heures étaient significativement supérieurs pour les participants âgés actifs que pour les âgés inactifs ; alors qu'il n'y avait pas de différence significative pour les participants jeunes en fonction de l'activité physique ou de

la fitness. De plus, les participants âgés actifs démontraient la même quantité d'apprentissage que les participants jeunes actifs.

Concernant les capacités d'apprentissage d'une nouvelle habileté motrice, les résultats semblent toutefois plus partagés. Utilisant le paradigme classique de « star mirror tracing », Etnier et Landers (1998) n'ont pas pu montrer d'effet positif de la pratique physique tant sur les variables de performance que d'apprentissage, en comparant des sujets jeunes et âgés en fonction de leur activité physique ou de leur niveau de fitness. Dans cette étude, l'apprentissage était mesuré à travers l'évolution de la distance parcourue et du nombre d'erreurs au cours de 175 essais de 8 secondes. De plus, un test de rétention était effectué 24 à 72 heures après la phase de pratique. Les résultats ont montré que les participants âgés démontraient un déficit d'apprentissage de la tâche comparativement à des adultes jeunes et que le niveau d'activité physique n'avait aucun impact sur cet apprentissage. Toutefois, lors d'une 2^{ème} étude reprenant le même protocole expérimental mais en changeant la mesure de l'apprentissage, Etnier, Romero & Traustadottir (2001) ont rapporté des résultats différents. Dans cette étude, l'apprentissage était mesuré par le nombre d'essais nécessaires pour atteindre un critère de performance (i.e., traverser la moitié de l'étoile avec moins de 5 erreurs durant 16 à 20 essais consécutifs de 8 secondes). Les résultats de cette étude ont montré un effet significatif de l'âge et de la fitness sur la vitesse d'acquisition et sur la rétention à 48 h de cette tâche. Les sujets âgés et les sujets à basse fitness avaient besoin de plus d'essais afin d'atteindre le critère de performance exigé. De plus, le $\dot{V}O_2\text{Max.}$ ainsi que l'âge prédisaient significativement les scores de rétention. Les auteurs concluaient que si l'âge semble bien avoir un impact négatif sur les capacités et la vitesse d'apprentissage d'une nouvelle habileté motrice, un style de vie actif engendrant une meilleure fitness semble pouvoir minimiser ces déclin dus à l'âge.

En conclusion, les deux seules études disponibles concernant l'effet croisé de l'âge et de l'activité physique sur l'apprentissage moteur ont ainsi produit des résultats contrastés, encore une fois, par l'utilisation de différentes mesures. Des études supplémentaires semblent donc nécessaires. Il convient notamment d'examiner plus précisément la nature des tâches impliquées ainsi que les différentes mesures de l'apprentissage possibles.

4. Les mécanismes explicatifs

Les mécanismes hypothétiques sous-tendant la relation entre l'activité physique et/ou la fitness et le fonctionnement cognitif et sensori-moteur des personnes âgées ne sont pas très bien connus ni formellement établis (Boutcher, 2000 ; Chodzko-Zajko & Moore, 1994 ; Etnier, à paraître ; Spirduso, 1980 ; 1995). Plusieurs hypothèses ont été avancées, que nous allons brièvement examiner.

- l'hypothèse métabolique :

La théorie métabolique repose sur la démonstration d'une corrélation entre les performances cognitives et la capacité aérobie (Jeandel, 1995). C'est la logique des études examinant l'effet de la fitness aérobie sur les capacités cognitives (Kramer, Hahn & McAuley, 2000). L'activité physique régulière, qui améliore la fitness aérobie, augmente le flux sanguin cérébral et permet ainsi une meilleure oxygénation du SNC (Dustman, Emmerson & Scheerer, 1994). L'activité physique pourrait ainsi, par l'amélioration de l'utilisation de l'oxygène et/ou du débit sanguin cérébral améliorer le métabolisme glucidique et celui des neurotransmetteurs (sérotonine, norépinéphrine, dopamine) essentiels pour le fonctionnement cognitif. Cette hypothèse est séduisante pour expliquer l'effet sélectif ou plus important de l'activité physique en fonction de l'âge (le "Modèle Modérateur" de Stones & Kozma, 1988), puisque nous savons que la perfusion sanguine et le débit sanguin cérébral sont diminués chez la personne âgée. Cette hypothèse repose sur la démonstration que la fitness aérobie, en tant que seule variable médiatrice est responsable des différences observées et suppose une mesure précise du $\dot{V}O_2\text{Max}$. Elle permettrait de mieux comprendre les résultats contrastés des études interventionnistes puisque l'amélioration de la cognition induite par l'exercice chez le sujet âgé augmenterait proportionnellement au gain en capacité aérobie. Il est donc essentiel que la durée du programme d'activité physique soit suffisamment longue pour induire des changements de fond dans les processus impliqués.

- L'hypothèse trophique :

La théorie trophique fait intervenir l'influence trophique de l'activité physique sur la fonction synaptique et/ou neuronale (Churchill *et al.*, 2002 ; Jeandel, 1995). Les muscles ont une influence trophique sur les nerfs qui les innervent et sur d'autres connexions centrales (Spirduso, 1980). L'activité physique n'aurait donc pas qu'une influence trophique sur les muscles activés mais également sur les structures du SNC responsables de cette activité et

concourrait au développement des connexions synaptiques (Gomez-Pinilla, So & Kesslak, 1998 ; van Praag, Christie, Sejnowski & Gage, 1999). Cette théorie n'a toutefois reçu que peu de preuves empiriques et essentiellement issues d'expérimentations animales (pour une revue, voir Spirduso, 1980, 1995).

- L'hypothèse des capacités attentionnelles :

La théorie attentionnelle postule, selon le modèle de Hasher et Zacks (1979), que les effets bénéfiques de l'activité physique ne concerneraient que les processus d'attention ; processus qui sont parmi les plus altérés par le vieillissement (Chodzko-Zajko, 1991 ; Chodzko-Zajko & Moore, 1994). La théorie de Hasher et Zacks (1979) propose de voir les processus cognitifs comme distribués le long d'un continuum allant d'un traitement automatique à un traitement coûteux en attention. Les tenants de cette hypothèse proposent que la relation entre l'activité physique et la cognition n'est pas générale mais dépendante de la tâche et que les effets de l'activité physique ou de la fitness sont plus sensibles pour les tâches requérant des traitements attentionnellement coûteux que pour des tâches qui sont plus automatiques ou pouvant être exécutées à allure personnelle (Chodzko-Zajko & Moore, 1994). Plusieurs études semblent valider empiriquement cette hypothèse (Bunce, 2001a et 2001b ; Chodzko-Zajko *et al.*, 1992 ; Hawkins, Kramer & Capaldi, 1992). Ainsi, Chodzko-Zajko *et al.* (1992) ont montré des différences significatives entre des personnes âgées à haut et bas niveau de fitness (mesurée par une batterie de tests physiologiques) lors d'une tâche mnésique de rappel libre attentionnellement coûteuse, mais pas de différence en ce qui concerne la mémoire de fréquence et de localisation (considérée comme fortement automatisée). Hawkins, Kramer et Capaldi (1992), dans une étude interventionniste, ont trouvé une relation positive entre la fitness et les performances lors d'une tâche-double complexe, mais pas pour d'autres tâches cognitives beaucoup moins exigeantes. Cette hypothèse est intéressante car le caractère attentionnel ou exigeant renvoie évidemment à la complexité de la tâche, facteur qui, nous l'avons vu intervient fortement dans la relation entre l'activité physique et le fonctionnement cognitif et sensori-moteur des personnes âgées. Toutefois, un certain nombre d'études n'ont pas révélé cet effet plus important de l'activité physique ou de la fitness pour des tâches sensées requérir des traitements coûteux (donc moins automatiques) (Baylor & Spirduso, 1988 ; Lupinacci *et al.*, 1993 ; Toole, Park & Al-Ameer, 1993). Il apparaît donc que les conclusions en faveur de cette hypothèse sont partagées.

- L'hypothèse des processus de contrôle exécutif :

La théorie des processus de contrôle exécutif repose, elle aussi, sur le constat que ni les fonctions cognitives, ni les structures cérébrales déclinent de manière uniforme au cours du vieillissement (Meyer, Glass, Mueller *et al.*, 2001 ; Kramer, Hahn & Gopher, 1999). De nombreux et disproportionnés déficits dus à l'âge ont été rapportés pour des tâches requérant de stocker et manipuler de l'information en mémoire de travail, de réaliser deux ou plusieurs tâches simultanément, de passer rapidement d'une tâche à une autre ou encore d'inhiber une réponse préparée (Kramer, Hahn & McAuley, 2000). Toutes ces habiletés sont dépendantes des processus de contrôle exécutif. Et ces fonctions exécutives sont supportées en large part par les régions frontales et pré-frontales du cerveau, régions qui sont particulièrement vulnérables au déficit de flux sanguin avec l'avancée en âge (Hall, Smith & Keele, 2001). Cette théorie postule donc que l'effet de l'activité physique est spécifique aux fonctions cognitives dépendantes de ces aires frontales par une amélioration du flux sanguin dans ces régions. Les travaux de Kramer et collaborateurs (Kramer, Hahn, Cohen *et al.*, 1999 ; Kramer, Hahn, McAuley *et al.*, 2002) ont spécifiquement testé cette hypothèse et ont effectivement montré la nature sélective de l'effet d'un programme d'activités physiques de type aérobie aux seuls processus de contrôle exécutif.

Pour conclure cette partie, il semble nécessaire de préciser que ces hypothèses explicatives ne sont pas mutuellement exclusives. Chacune apporte une explication plausible et souvent effective mais parcellaire et spécifique à certaines fonctions ou structures. Comme le font remarquer Bäckman, Small et Wahlin (2001), l'identification d'un seul paramètre biologique pour expliquer la variance du fonctionnement cognitif et sensori-moteur relative à l'âge et à l'activité physique est vouée à l'échec, à cause de la complexité inhérente à tous les niveaux biologiques et comportementaux.

5. Conclusions du chapitre et ouverture

La majorité des recherches menées dans le champ du vieillissement et de l'activité physique ont pour ambition affichée d'étudier spécifiquement la relation entre l'activité physique régulière et la cognition des personnes âgées. Très peu d'études se sont intéressées à l'impact de l'activité physique sur le contrôle du mouvement ou l'apprentissage moteur. La plus part des chercheurs de ce domaine sont intéressés par l'effet potentiellement bénéfique de

la pratique régulière d'activité physique sur le vieillissement de la vitesse de traitement de l'information, des capacités mnésiques ou de raisonnement. Dans ce cadre, comme le soulignent Bunce et Birdi (1998), une difficulté est que, typiquement, la réalisation d'une tâche particulière induit « à la fois une composante cognitive et une composante motrice. De fait, il n'est souvent pas clair dans ces études si l'activité physique a un effet sur la composante cognitive, la composante motrice, ou les deux » (p.23). Nous pensons pour notre part qu'il ne faut pas opposer fondamentalement ces deux composantes qui sont partie intégrante du comportement de l'Homme. Comme nous l'avons déjà mentionné, il y a une interrelation entre les capacités sensorielles, sensori-motrices et cognitives et plusieurs études ont montré que cette interrelation augmente avec l'âge (Antsey & Smith, 1998 ; Li & Lindenberger, 2002 ; Lindenberger, 2000 ; Lindenberger, Scherer & Baltes, 2001). Par exemple, il a été démontré que des mesures composites de l'audition, de la vue ou encore de l'équilibre rendaient compte de la majeure partie de la variance due à l'âge dans "l'intelligence générale" (vitesse perceptive, raisonnement, mémoire, connaissance, aisance verbale) (Li & Lindenberger, 2002 ; Lindenberger, 2000).

Parallèlement, comme nous l'avons vu en conclusion du chapitre I.1, il a été démontré que le contrôle de la marche ou de l'équilibre est attentionnellement plus coûteux pour les âgés que pour les jeunes (Chen, Schultz, Ashton-Miller *et al.*, 1996 ; Maylor & Wing, 1996 ; Sparrow, Bradshaw, Lamoureux & Tirosh, 2002). Utilisant un paradigme de double tâche, Lindenberger, Marsiske et Baltes (1998), par exemple, ont évalué les performances de sujets jeunes, moyennement âgés et âgés lors d'une tâche de mémorisation de mots tout en effectuant un trajet locomoteur. Leurs résultats ont montré une chute très nette des performances mnésiques des groupes moyennement âgés et âgés entre la condition simple tâche (assis ou debout) et la condition double tâche (en marchant). De plus, il apparaît que les personnes âgées favorisent leur performance motrice (marche) au détriment de leur performance mnésique, et ce d'autant plus que la difficulté d'exécution de la tâche motrice est forte (Li, Lindenberger, Freund & Baltes, 2001). En d'autres termes, elles ont plus de mal à effectuer les deux tâches en même temps et donc elles préfèrent allouer leur priorité au contrôle du mouvement qu'à la performance de la tâche de mémorisation.

Toutes ces études, associées aux résultats de méta-analyses (voir Li & Lindenberger, 2001 ; Lindenberger, 2000), semblent accréditer l'hypothèse que les déclin cognitifs dus à l'âge seraient en partie dus à des déclin sensoriels et sensori-moteurs. Pour ces auteurs, les aspects sensoriels et moteurs du comportement nécessitent de plus en plus de "contrôle cognitif" avec l'avancée en âge. Ceci pourrait expliquer pourquoi les personnes âgées ont des

difficultés pour marcher et discuter avec quelqu'un lorsqu'elles traversent une rue animée ou pour utiliser un distributeur de billets de banque.

Cette approche nous paraît tout à fait pertinente pour expliquer l'effet positif de la pratique régulière d'activité physique chez les personnes âgées sur le fonctionnement cognitif et sensori-moteur. La sollicitation répétée et régulière des systèmes sensori-moteurs lors de la pratique d'activité physique permettrait de réduire les déclin sensori-moteurs associés au vieillissement, entraînant un contrôle moteur plus efficace (donc moins coûteux), et par voie de conséquence aurait un effet positif sur leur fonctionnement cognitif. La dépendance, de plus en plus grande au cours du vieillissement, du comportement sensori-moteur à un contrôle cognitif serait ralentie. Cette hypothèse propose que la pratique régulière d'activité physique entraîne une meilleure capacité d'adaptation aux contraintes de réponse de la tâche. Le contrôle moteur plus efficace ou plus efficace permet alors d'avoir plus d'attention libre pour résoudre la "composante cognitive" de la tâche. Selon cette hypothèse, le bénéfice de l'activité physique sur la performance des personnes âgées s'observerait essentiellement dans des conditions où la tâche est complexe, notamment dans sa composante motrice. De plus, cette hypothèse prédit que l'effet de l'activité physique est plus prononcé pour les personnes âgées que pour les personnes jeunes, pour lesquelles le contrôle moteur n'est pas altéré (suivant ainsi le "Modèle Modérateur" de Stones & Kozma, 1988).

Seconde partie :

Cadre expérimental

CHAPITRE III

INTRODUCTION GENERALE A

L'ETUDE EMPIRIQUE

1. Problématique

L'objectif du présent travail est de contribuer à une meilleure compréhension des effets de la pratique régulière d'activité physique sur le vieillissement des capacités d'apprentissage d'une nouvelle habileté motrice. Plus spécifiquement, nous avons examiné cette question à travers, d'une part, l'influence des contraintes de la tâche d'apprentissage (manipulées par la complexité des régularités à apprendre et par la complexité des procédures d'exécution des mouvements impliqués) et, d'autre part, l'influence de la nature de l'apprentissage (implicite et explicite).

Dans le Chapitre I de ce document, nous avons vu que le contrôle du mouvement était modifié au cours du vieillissement. Les adultes âgés, comparativement aux jeunes, nécessitent plus de temps pour déclencher et exécuter un mouvement particulier. De plus, les différences entre jeunes et âgés sont amplifiées lorsque la complexité de la décision à prendre ou la complexité du mouvement à réaliser est augmentée. Nous avons également vu que le contrôle du mouvement des adultes âgés semble qualitativement différent de celui des jeunes. La majeure partie du mouvement des adultes âgés, contrairement aux jeunes, est plus sous la dépendance d'un contrôle continu en cours d'exécution utilisant le feed-back visuel, que d'une pré-planification de la partie balistique du mouvement. La réalisation d'une habileté motrice nécessiterait ainsi plus de contrôle et d'attention pour les adultes âgés que pour les adultes jeunes.

La revue de littérature sur le vieillissement et l'apprentissage de nouvelles habiletés a montré des résultats contradictoires indiquant, selon les études, des patterns de préservation ou de déficit. L'hétérogénéité des paradigmes expérimentaux et des mesures utilisées n'est certainement pas étrangère à ces divergences. Nous avons vu que la nature de l'apprentissage revêtait un caractère important dans l'analyse des effets du vieillissement sur l'apprentissage.

L'apprentissage explicite (déclaratif), qui dépendrait fortement de l'intégrité des lobes temporaux et frontaux, serait particulièrement sensible aux effets de l'âge. A l'inverse, l'apprentissage implicite (procédural), qui dépendrait plus de l'intégrité des aires cérébrales postérieures et motrices, serait peu atteint au cours du vieillissement. Il apparaît toutefois que lorsque les contraintes de la tâche à apprendre sont importantes (complexité du contenu à apprendre ou complexité des réponses à produire), les personnes âgées sont en difficulté. A l'instar des études portant sur le contrôle du mouvement, la complexité de la tâche semble être un puissant facteur modulant les effets de l'âge sur l'apprentissage.

Dans le Chapitre II de ce document, nous avons vu que la pratique régulière d'activité physique entraîne un ralentissement des déclin sensori-moteurs et cognitifs accompagnant l'avancée en âge. Dans ce cadre, les études disponibles ont essentiellement caractérisé cet effet bénéfique de l'activité physique à partir de la vitesse des réponses (TR ou TM). Les personnes âgées physiquement actives sont plus rapides pour déclencher et exécuter un mouvement que leurs homologues inactives. Il apparaît de plus que cet effet bénéfique de l'activité physique est plus prononcé lorsque la décision à prendre concernant la réponse à produire est complexe que lorsqu'elle est simple.

L'activité physique régulière a un rôle important dans la modulation des effets du vieillissement sur la vitesse de traitement de l'information mais également dans la modulation de ses effets sur les capacités mnésiques, surtout lorsque la tâche est complexe. Toutefois très peu d'études se sont intéressées aux effets conjoints de l'activité physique et de l'âge sur les capacités d'apprentissage moteur. Les conclusions ne sont pas unanimes et invitent donc à examiner plus précisément cette question.

La thèse générale que nous défendons dans ce document est que la sollicitation répétée des systèmes sensori-moteurs lors de la pratique régulière d'activité physique permet de réduire le déclin des fonctions sensori-motrices et des capacités d'apprentissage associées au vieillissement. Généralement, l'apprentissage d'une nouvelle habileté motrice sollicite les capacités d'adaptation aux contraintes de réponses qu'implique la tâche mais également aux régularités particulières présentes dans la situation. La pratique régulière d'activité physique, notamment chez les personnes âgées, pourrait alors avoir une influence bénéfique sur ces capacités d'adaptation. La question qui est posée est de savoir si la pratique régulière d'activité physique a un effet plutôt sur les capacités d'adaptation sensori-motrice aux contraintes des

réponses ou plutôt sur les capacités d'adaptation aux régularités présentes dans la situation et s'il existe un lien entre les deux.

A partir de cette analyse, l'objectif des études présentées est d'examiner systématiquement et conjointement comment la complexité (1) des régularités incluses dans la situation et (2) celle des procédures d'exécution des réponses affectent l'amplitude des différences liées à l'âge et à la pratique d'activité physique dans le niveau d'apprentissage de régularités séquentielles. Les expériences 1 et 2 impliquent l'apprentissage implicite de régularités probabilistes dans une tâche réactive pour laquelle les participants doivent réagir le plus rapidement possible à l'apparition d'une cible dans une localisation particulière. Dans ces expériences, l'apprentissage sera évalué par des mesures indirectes (temps de réponse, rectitude des mouvements) et des mesures directes (scores de rappel). L'expérience 3 implique l'apprentissage explicite des mêmes régularités probabilistes dans le contexte d'une tâche proactive de type résolution de problème, pour laquelle les participants doivent prédire la localisation future de la cible à pointer. Dans cette expérience, l'apprentissage sera également évalué par des mesures indirectes (TR et TM) et directes (scores de prédiction).

Pour répondre à ces questions, nous avons utilisé une tâche de pointage dans laquelle le sujet doit pointer une cible visuelle en déplacement. D'un point de vue théorique, cette tâche offre l'opportunité d'étudier de manière distincte et simultanée les deux composantes de la complexité de la tâche que nous avons définies ; à savoir, la complexité des régularités ou associations qui organisent la succession des localisations spatiales de la cible à pointer d'une part, et celle des mouvements de pointage sur la cible d'autre part.

Afin de manipuler la complexité des régularités au sein de cette tâche, nous avons fait varier la valeur des probabilités liant des événements successifs. Pour illustrer cette manipulation, considérons les trois événements suivants A, B, et C ; les lettres désignant trois positions spatiales différentes d'une cible. Dans la condition aléatoire (probabilité = 0,5 ; i.e., $p.5$ dans le reste de ce document), la cible A peut être suivie d'une manière équiprobable par la cible B ou par la cible C. Dans la condition probabiliste $p.7$, la cible A est suivie dans 70% des cas par la cible B et dans 30% des cas par la cible C. Le même raisonnement peut être appliqué aux autres niveaux de probabilité. Il est plausible de penser que plus la probabilité est élevée, à l'exemple des régularités déterministes ($p.1$), plus il est aisé d'associer deux événements successifs (A est toujours suivi par B ou par C). Par contre, plus ces régularités sont proches de l'aléatoire ($p.5$), plus il est difficile d'associer deux événements successifs. A

la suite des travaux de Hyman (1953), nous pensons que cette manipulation offre la possibilité d'avoir une graduation progressive, et surtout objective, de la complexité des régularités incluses dans la tâche d'apprentissage, permettant ainsi de bien évaluer l'effet de l'âge et de l'activité physique sur l'apprentissage. Cela nous permettra également, comme le rappelle Chasseigne (1996) « de capturer un type d'apprentissage d'une grande importance écologique : l'habileté à utiliser des rétroactions pour développer des modèles mentaux afin de prévoir, expliquer, contrôler l'environnement basé sur des indices multiples, indirects et imparfaits » (p 10).

Afin d'obtenir une quantification objective de la complexité des réponses sollicitées par la tâche de pointage, la loi de Fitts (1954) offre un cadre formel pertinent (voir Chapitre I.1.1.2, p. 13). En effet, pour caractériser les mouvements de pointage, nous disposons depuis les travaux de Fitts et de ses collègues (Fitts, 1954 ; Fitts & Peterson, 1964) d'un indice objectif appelé "Indice de Difficulté" (ID). La loi de Fitts (1954) prédit que le TM augmente comme une fonction linéaire de l'augmentation de l'ID. Plus l'ID est élevé, plus le mouvement à réaliser est difficile et donc le TM long.

Pour résumer, nous faisons l'hypothèse que l'apprentissage des associations probabilistes régissant l'apparition de la cible à pointer sera d'autant plus difficile que ces probabilités sont proches de l'aléatoire ($p.5$) et d'autant plus facile que ces probabilités sont proches du déterministe ($p1$). Nous faisons également l'hypothèse que l'apprentissage de ces associations probabilistes sera affecté par la difficulté d'exécution des mouvements requis. L'apprentissage des associations probabilistes sera plus important lorsque la tâche impliquera des cibles de grande taille, facilitant ainsi les mouvements de pointage (ID faible), que lorsqu'elle impliquera des cibles de petite taille (ID élevé) rendant ces mouvements plus difficiles.

L'objectif principal qui guide cette thèse est d'examiner dans quelle mesure ces facteurs sont susceptibles de rendre compte d'un possible effet de l'activité physique régulière sur le vieillissement des capacités d'apprentissage. Nous émettons l'hypothèse générale que les participants actifs, notamment les participants âgés actifs, seront moins affectés par la complexité d'exécution des réponses que leurs homologues inactifs. Ces participants devraient manifester un apprentissage plus important des associations probabilistes que leurs homologues inactifs dans les conditions de pointage difficiles sur des cibles de petite taille. Les expériences 1 et 2 examineront spécifiquement cette question. Lors de la troisième

expérience, les participants seront placés dans une situation explicite de résolution de problème, dans laquelle ils devront prédire la localisation future de la cible la plus probable. Dans cette tâche, pour laquelle la pression temporelle liée à la prise de décision est supprimée, la complexité des réponses ne devrait pas jouer un rôle dans l'apprentissage des régularités probabilistes. Nous faisons l'hypothèse que, dans ce cadre, la pratique régulière d'activité physique aura un effet sur l'exécution des mouvements de pointage en fonction de la taille des cibles mais pas sur l'apprentissage des régularités probabilistes. Pour toutes ces expériences, nous faisons également l'hypothèse que l'effet de la pratique d'activité physique sera moindre chez les participants jeunes que chez les participants âgés.

2. Présentation générale de la population étudiée et du matériel utilisé

2.1 Caractéristiques générales des participants

Plusieurs critères essentiels ont guidé notre sélection des participants pour les trois études que nous allons présenter.

Les participants *jeunes*, que nous nommerons adultes jeunes, étaient des étudiants dont l'âge était compris entre 19 et 29 ans. Les participants *âgés*, que nous nommerons adultes âgés, étaient des personnes retraitées dont l'âge était compris entre 63 et 78 ans. Les participants de ces études étaient droitiers.

Nous avons pris grand soin de ne retenir que des personnes âgées valides, en bonne santé, vivant indépendamment (non institutionnalisées) et socialement actives (implication dans des clubs ou associations, activités culturelles et/ou sportives...). Aucun participant âgé retenu ne présentait de pathologie avérée ou ne prenait de traitement médicamenteux pouvant affecter ses performances lors des expériences. La majorité des participants âgés a été recrutée dans les clubs ou associations auxquels elle participe ou par annonces locales. A la suite des travaux de Cherry et Stadler (1995), nous savons que le niveau de scolarité et les aptitudes *intellectuelles* ont un effet significatif sur les capacités d'apprentissage. Nous avons ainsi retenu comme critère d'inclusion d'avoir effectué au moins 12 années d'études, c'est à dire le niveau baccalauréat. La majorité des participants à nos études a effectué des études

supérieures et nous avons essayé de retenir une population la plus homogène possible selon ce critère.

Dans chaque catégorie d'âge, les participants ont été répartis en groupes indépendants d'actifs et d'inactifs selon qu'ils pratiquaient ou non une ou des activités physiques de manière régulière (au moins deux fois par semaine) depuis au moins 5 ans. Les participants inactifs ne pratiquaient et n'avaient jamais pratiqué d'activité physique régulière, à part lors de leur scolarité ; ils se déclaraient physiquement sédentaires. La majorité des participants âgés actifs participait à deux séances hebdomadaires de Gymnastique Volontaire (GV) d'une durée d'une heure et pratiquait régulièrement de la marche ou de la randonnée. Les participants jeunes actifs pratiquaient des sports individuels ou collectifs au moins deux fois par semaine. D'après Bouchard, Shephard et Stephens (1990), pour les sujets âgés, un exercice est considéré comme modéré si son intensité absolue est inférieure à 5 METs¹, lourd si son intensité absolue est inférieure à 7 METs et maximal si son intensité absolue est supérieure à 7 METs. Les valeurs énergétiques estimées en METs de la GV, de la marche et de la randonnée, publiées par Ainsworth et ses collaborateurs (Ainsworth, Haskell, Leon *et al.*, 1993 ; Ainsworth, Haskell, Whitt *et al.*, 2000) sont respectivement de 6 METs, 4 METs et 7 METs. Comme nous le détaillerons en présentation de chaque expérience, les participants âgés actifs des expériences 1 et 3 pratiquaient respectivement, en moyenne sur l'année, 4,57 heures et 6,3 heures d'activités physiques par semaine. Les participants jeunes actifs des expériences 1 et 3 pratiquaient respectivement, en moyenne sur l'année, 6,2 et 8,2 heures d'activités physiques par semaine.

La nature des pratiques physiques différait pour les deux groupes d'âge. Cela vient du fait qu'il est difficile de trouver des adultes jeunes qui ne pratiquent que de la GV et des adultes âgés qui pratiquent dans un contexte sportif et en plus qui satisfassent à nos autres critères d'inclusion. Il n'a pas été aisé de trouver une population de participants âgés actifs homogène selon tous les critères définis. De même, il a été très difficile de trouver des personnes âgées "sédentaires" remplissant tous nos critères d'inclusion. De plus, s'agissant d'études portant sur l'apprentissage, il était essentiel que tous les participants soient volontaires et réellement motivés pour participer à des sessions relativement longues dans leur durée. Compte tenu des critères d'inclusion de la population, la passation des différentes expériences s'est étalée sur une longue période.

¹ Le MET (pour Metabolic EquivalenT) est l'équivalent métabolique correspondant à la consommation d'oxygène par unité de masse corporelle au repos et correspond à environ 1 kcal .kg⁻¹ .h⁻¹ ou 3,5 ml d'O₂ .kg⁻¹ .min⁻¹ (Fox & Mathews, 1984).

2.2 Dispositif expérimental

Dans les 3 études que nous allons présenter, les expérimentations se sont déroulées dans une pièce calme et silencieuse où seuls l'expérimentateur et le participant étaient présents. Elles ont été menées dans l'ordre chronologique de leur présentation.

Les 3 expériences que nous avons réalisées étaient contrôlées par un ordinateur Apple™ Macintosh Ici muni d'un moniteur de format A4 (pleine page), connecté à une tablette à digitaliser de type Wacom™ II DIP équipée d'un stylet sans fil. Le mouvement du stylet sur la tablette produisait le déplacement équivalent d'un curseur (un carré de 4 X 4 pixels ; i.e., 1.4 mm X 1.4 mm) sur l'écran de l'ordinateur. Les déplacements du stylet étaient enregistrés avec une fréquence d'échantillonnage de 100 Hz et une précision spatiale supérieure à 0.1 mm.

Comme le montre la figure 4, une matrice de 15 cibles carrées était présentée sur l'écran de l'ordinateur. Les cibles carrées étaient grises sur fond noir. Chaque carré représentait une localisation possible de la cible à pointer. Pour les expériences 1 et 3, en fonction des conditions expérimentales, la largeur des cibles pouvait être de 15 pixels (5,25 mm) ou de 40 pixels (14 mm). Pour l'expérience 2, une troisième condition a été utilisée, dans laquelle la largeur des cibles était de 80 pixels (28 mm). Ces dimensions ont été choisies sur la base de la loi de Fitts (1954) et correspondent à trois ID différents. Dans notre tâche, nous avons manipulé l'ID des mouvements en variant seulement la largeur des cibles et en gardant constante la distance entre deux cibles. Cette distance entre le centre de deux cibles était invariablement de 169 pixels (59,15 mm). Les cibles de 15 pixels de largeur correspondaient à un ID = 4,5 (Condition Difficile). Les cibles de 40 pixels de largeur correspondaient à un ID = 3 (Condition Facile). Les cibles de 80 pixels de largeur correspondaient à un ID = 2 (Condition Très Facile). Plus cet ID est élevé, plus le mouvement à exécuter est difficile.

Les localisations successives des cibles à pointer étaient régies par des probabilités conditionnelles, p , qui pouvaient avoir les valeurs suivantes : $p = .5$; $p = .7$; $p = .8$; $p = .9$; $p = 1$. Pour chaque alternative, l'apparition d'une cible dans un emplacement donné prédisait, selon différents niveaux de probabilités, son apparition à un autre emplacement pour l'alternative suivante. Afin d'illustrer clairement la logique d'apparition des différentes cibles, nous avons numéroté de 1 à 15 ces localisations (les carrés) dans la figure 1. Notons que les 5 positions centrales (1 ; 4 ; 7 ; 10 ; 13) n'étaient pas critiques et ont été utilisées comme des positions-contrôle afin de conserver constante l'amplitude des mouvements de pointage

successifs. Les positions critiques correspondaient aux carrés localisés immédiatement à droite ou à gauche de ces positions centrales. Par exemple, comme illustré sur la figure 4, si la cible de droite (n° 3) était désignée aléatoirement ($p = .5$), la cible suivante la plus probable ($p = .8$), était la cible de gauche (n° 5) et la moins probable ($p = .2$) était celle de droite (n° 6). Supposons que la cible était effectivement apparue dans la position la plus probable (n° 5). Ensuite, la localisation suivante la plus probable ($p = .7$) était celle de droite (n° 9) et la moins probable ($p = .3$) celle de gauche (n° 8), et ainsi de suite jusqu'à la dixième cible à pointer (n° 14 ou 15).

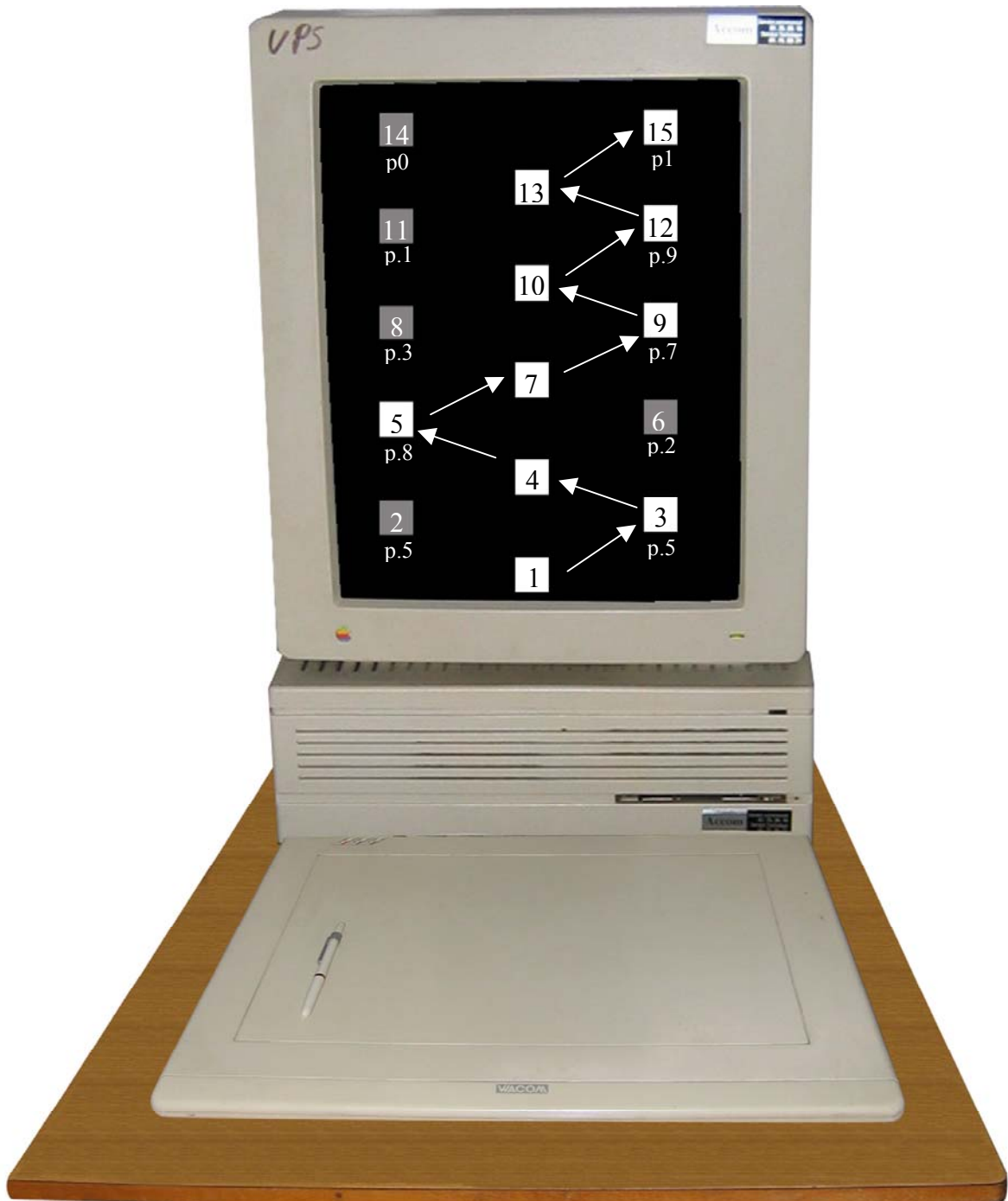


Figure 4 : Schéma du dispositif expérimental, représentant un essai. Les probabilités conditionnelles associées à chaque cible sont indiquées en dessous de la cible. Les flèches indiquent la succession de localisation des cibles les plus probables (colorées en blanc) pour un essai. Un essai commence toujours par la cible n°1 et se termine par l'apparition de la cible n°14 ou n°15. Si la deuxième cible à apparaître est la n°2, la succession de localisation des cibles les plus probables est la symétrique de celle présentée sur l'image.

CHAPITRE IV

EXPERIENCE 1

1. Objectifs

L'objectif de cette expérience est d'examiner systématiquement et conjointement comment la complexité (1) des régularités incluses dans une tâche particulière et (2) des procédures d'exécution des réponses, affecte l'amplitude des différences liées à l'âge et à la pratique d'activité physique dans l'apprentissage de régularités visuo-motrices.

Nous examinerons cette question dans le cadre d'une tâche de pointage sur cibles requérant l'apprentissage implicite d'associations probabilistes. Lors d'une tâche subséquente de rappel, nous examinerons si la nature explicite ou implicite de la connaissance acquise permet de contraster nos groupes de participants.

Nous émettons l'hypothèse générale que les participants âgés et physiquement actifs montreront un meilleur apprentissage des associations probabilistes que leurs homologues inactifs, notamment dans la condition où l'exécution des réponses est difficile (i.e., sur les cibles de petites tailles). Nous faisons également l'hypothèse que les participants jeunes actifs et inactifs ne devraient pas se différencier dans leurs scores d'apprentissage.

2. Méthode

2.1 Participants

Cinquante personnes (25 hommes et 25 femmes) ont participé à cette expérience : 26 adultes âgés ayant en moyenne 66,6 ans (e.t. = 4.2) et 24 adultes jeunes ayant en moyenne 23,5 ans (e.t. = 2.3). Les participants ont été repartis en 4 groupes indépendants (âgés actifs ; âgés inactifs ; jeunes actifs ; jeunes inactifs) sur la base de leur âge et de leurs réponses à un

questionnaire d'identification et portant sur leur activité physique régulière (cf. annexe 1). Le tableau 1 présente les caractéristiques des participants par groupe.

Tableau 1: caractéristiques des participants.

Groupes	Age moyen	Années d'études	Heures d'APS par semaine
Agés actifs (n = 14)	66.8 ±4.7	14.5 ±2.8	4.57 ±2.5
Agés inactifs (n = 12)	66.4 ±3.7	13.4 ±1.5	—
Jeunes actifs (n = 12)	23.2 ±2.1	16.3 ±1.1	6.2 ±2.7
Jeunes inactifs (n = 12)	23.8 ±2.6	15.6 ±1.1	—

Les adultes jeunes ont effectué plus d'années d'études que les adultes âgés ($t(48) = 3.9$; $p < .0001$). Le nombre d'années d'études est équivalent pour les actifs et les inactifs, que ce soit au niveau général ou à l'intérieur de chaque groupe d'âge (tous les $p > .05$). Le nombre d'heures d'activité physique pratiquées par semaine ne se différencie pas significativement entre les participants jeunes et âgés actifs ($p > .05$).

2.2 Matériel et Stimuli

Le dispositif présenté dans l'introduction générale à l'étude empirique (voir p.65) a été utilisé au cours de cette expérience (fig.4, p.67).

Pour cette expérience, la taille des cibles à pointer pouvait être, en fonction des conditions expérimentales, de 15 pixels ou de 40 pixels, correspondant respectivement à un ID de 4,5 ou de 3.

2.3 Tâches

L'expérience était divisée en deux parties : la tâche de pointage suivie d'un questionnaire et de la tâche de rappel.

Tâche de pointage :

Les participants devaient pointer sur la tablette à l'aide du stylet le plus précisément et le plus rapidement possible la cible désignée (colorée en blanc) sur l'écran de l'ordinateur. Le mouvement de pointage nécessitait : (a) de soulever le stylet de la tablette, (b) de le déplacer

en direction de la cible désignée et (c) de pointer le stylet à l'intérieur de la cible. La cible demeurait allumée jusqu'au pointage correct. Une fois le pointage correct effectué, un signal sonore retentissait et la cible s'éteignait. Immédiatement après, une nouvelle cible était désignée dans la position suivante, demandant au participant un nouveau mouvement de pointage, et ainsi de suite. Un essai était constitué de 10 mouvements de pointage successifs à effectuer (sans délai inter stimuli) de la cible n°1 à la cible n°14 ou n°15.

Mesures explicites :

Questionnaire :

Une fois la tâche de pointage terminée, les participants répondaient à un questionnaire (cf. annexe 2). Ce questionnaire post-expérimental avait pour objectif d'examiner si les participants avaient détecté explicitement des régularités dans les localisations successives de la cible, durant la tâche de pointage et de tester une possible verbalisation explicite de ces régularités.

Tâche de rappel :

Les participants observaient, sur l'écran de l'ordinateur, la matrice des 15 cibles grises. Ils étaient informés que leur tâche ne consistait plus à réagir le plus rapidement possible à l'apparition de la cible, mais à désigner l'emplacement le plus probable (selon eux) de la cible suivante. A chaque essai, les participants avaient à pointer sur la tablette la cible de leur choix. La cible choisie ne s'allumait que si elle correspondait à la plus probable. En cas d'erreur, les participants étaient instruits de pointer la cible opposée. Cette tâche de rappel s'effectuait sur 2 essais complets (i.e., 2 séries de 10 mouvements de pointage) correspondant aux probabilités conditionnelles les plus fortes liant deux cibles successives. Les instructions insistaient sur la précision des prédictions et non sur la rapidité des réponses. Cette tâche de rappel avait pour objectif de tester plus directement que le questionnaire, les connaissances explicites qu'avaient les participants des régularités utilisées dans la tâche de pointage.

2.4 Procédure

La moitié des participants de chaque groupe d'âge (jeunes, âgés) et de chaque groupe de niveau d'activité physique (actifs, inactifs) a été assignée aléatoirement à la condition de pointage facile (ID = 3), et l'autre moitié à la condition de pointage difficile (ID= 4.5). Dans

une pièce calme et silencieuse, tous les participants ont successivement réalisé la tâche de pointage, répondu au questionnaire et effectué la tâche de rappel.

Pour tous les participants, la tâche de pointage impliquait 352 essais de 10 mouvements de pointage successifs du bas vers le haut. Un essai commençait par le pointage de la première cible (n°1 sur la fig.4) et se terminait par le pointage sur la cible n°14 ou la cible n°15. L'ordre des probabilités liant les localisations de cible successives a été contrebalancé pour tous les participants et pour toutes les conditions, à l'exception près que les probabilités $p.5$ et $p.1$ concernaient systématiquement la première alternative et la dernière alternative respectivement. Les participants n'étaient informés d'aucune régularité concernant l'ordre d'apparition des cibles. Ils avaient pour seule instruction de pointer précisément et le plus rapidement possible la cible qui se colorait en blanc sur l'écran de l'ordinateur. Dans l'ensemble, la tâche de pointage durait approximativement 90 minutes. Une période de repos de 3 minutes aux alentours de la 40^{ième} minute de pratique était effectuée par tous les participants. Après avoir terminé la tâche de pointage, les participants répondaient au questionnaire et effectuaient la tâche de rappel, qui impliquait la production de deux essais complets.

2.5 Variables dépendantes

Lors de la Tâche de pointage, le matériel permettait de collecter les Temps de Réponse des participants ainsi que les trajectoires des mouvements de pointage. Les Temps de Réponse correspondent au temps (en milliseconde) qui sépare l'apparition de la cible au pointage correct sur celle-ci. Le matériel collectait également durant les mouvements de pointages, les coordonnées en x et en y du stylet. Ces données nous ont permis de calculer un Index de Rectitude, qui correspond au rapport de la distance optimale en pixels (ligne droite entre le point de départ et le point d'arrivée) sur la distance réellement parcourue par le participant lors d'un essai particulier. Plus cet Index de Rectitude est proche de 1, plus le trajet effectué est rectiligne.

Il est important de rappeler que, sur l'ensemble des 352 essais, il y avait une équiprobabilité d'apparition de toutes les cibles. Les participants ont pointé toutes les cibles exactement le même nombre de fois. La probabilité d'apparition d'une cible n'était fonction que du pointage précédent, donc de la localisation de la cible immédiatement précédente. Toute différence dans les performances des participants en fonction des probabilités

d'occurrence accordées aux cibles reflèterait ainsi une utilisation des associations probabilistes.

Les variables dépendantes que nous utiliserons pour analyser nos données sont :

- pour la Tâche de pointage :
 - les Temps de Réponse en milliseconde (ms)
 - l'Index de Rectitude des mouvements de pointage
- pour la Tâche de rappel :
 - la proportion de prédictions correctes
- pour le Questionnaire post-expérimental, nous examinerons les réponses individuelles aux questions. Ensuite, nous comptabiliserons le nombre de participants ayant donné des réponses similaires sur les régularités qu'ils ont détectés.

3. Résultats

3.1 Tâche de pointage

Les mesures de Temps de Réponse et d'Index de Rectitude de chaque participant ont été moyennées en fonction des 5 niveaux de probabilités retenus sur 44 essais constituant un bloc, pour un total de 8 blocs de pratique.

Concernant toutes les analyses statistiques, le seuil de signification α retenu a été fixé à 0,05. Pour les analyses de variance (ANOVAs), lorsque le test de sphéricité n'était pas satisfait, nous avons utilisé les probabilités ajustées de Huynh-Feldt. Compte tenu du faible nombre de participants à l'intérieur de chaque groupe expérimental, nous présenterons également, pour les effets principaux et leurs interactions, l'intensité de l'effet expérimental (η^2). Multiplié par 100, η^2 donne le pourcentage de variance expliquée par les facteurs ou leur interaction (Abdi, 1987). Nous rapporterons également la puissance estimée du test statistique (P) lorsqu'elle est inférieure à 1.

Comme nous l'avons vu dans la partie théorique de ce document, les personnes âgées sont plus affectées par la nouveauté de la tâche que les adultes jeunes (Spiriduso & MacRae, 1990). De plus, une difficulté lorsqu'on veut comparer les capacités d'apprentissage de plusieurs groupes hétérogènes réside dans le fait que leur performance en début de pratique

peut différer considérablement. Il nous est apparu ainsi important, comme le suggèrent Vakil & Agmon-Ashkenazi (1997), de comparer dans un premier temps les performances des participants en début de pratique. Dans un deuxième temps, nous avons analysé l'évolution de ces performances avec la pratique.

3.1.1 Différences initiales

Dans cette analyse, il s'agit de voir si, en début de pratique, les participants réalisaient les mouvements de pointages sur les cibles grandes et petites de manière équivalente. Nous nous attendons à ce que les participants âgés et surtout les participants âgés inactifs montrent plus de difficultés dans l'exécution de ces mouvements de pointage que les participants jeunes.

- **Temps de Réponse**

L'analyse a porté sur les Temps de Réponse des 44 premiers essais (1^{ier} bloc de pratique). Elle consistait en une ANOVA impliquant les facteurs Groupe d'âge (âgés vs. jeunes), Activité physique (actifs vs. inactifs) et Taille des cibles (grande vs. petite) comme facteurs inter-groupe, et Probabilités (*p.5* ; *p.7* ; *p.8* ; *p.9* ; *p.1*) comme facteurs intra-sujet à mesures répétées.

L'analyse a révélé que les participants âgés avaient des Temps de Réponse significativement plus longs que ceux des participants jeunes ($F(1,42) = 129.12$; $p < .0001$; $\eta^2 = .755$). De même, les participants inactifs ont montré des Temps de Réponse plus longs que ceux des participants actifs ($F(1,42) = 9.14$; $p < .005$; $\eta^2 = .179$; $P = .84$). L'effet de la taille des cibles s'est révélé également significatif ($F(1,42) = 30.45$; $p < .0001$; $\eta^2 = .420$), avec des Temps de Réponse plus longs pour les petites cibles ($M = 1252 \pm 283.2$ ms) que pour les grandes cibles ($M = 1025 \pm 316.7$ ms).

L'analyse a révélé une interaction significative entre les facteurs Groupe d'âge et Activité physique ($F(1,42) = 5.69$; $p < .05$; $\eta^2 = .119$; $P = .64$). Comme le montre la figure 5, les participants âgés inactifs avaient, en début de pratique, des Temps de Réponse significativement plus longs que ceux de tous les autres participants. Ceci a été confirmé par des analyses partielles effectuées sur les deux groupes d'âge. Concernant les groupes de participants âgés, l'analyse a confirmé l'effet du facteur Activité physique sur les Temps de Réponse ($F(1,22) = 9.8$; $p < .005$). Les participants âgés actifs ont exécuté les mouvements de

pointage avec des Temps de Réponse plus courts que ceux des participants inactifs. A l'opposé, concernant les participants jeunes, la pratique physique n'a eu aucun effet sur les Temps de Réponse ($F < 1$). Les Temps de Réponse des jeunes actifs et inactifs étaient semblables (fig.5).

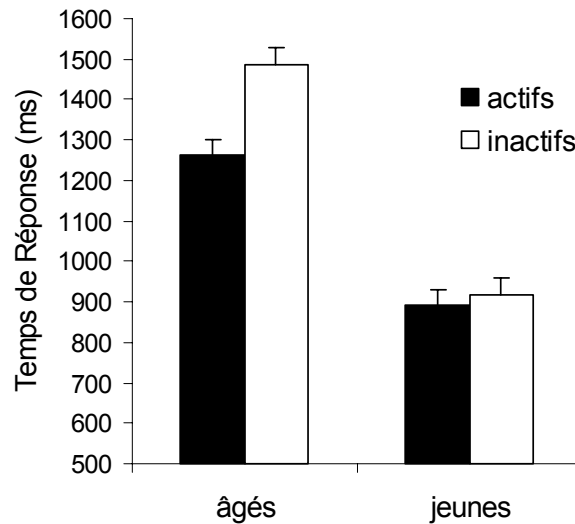


Figure 5 : Temps de Réponse (ms) des participants lors du 1^{ier} bloc de pratique en fonction de l'âge et de l'activité physique. Les barres représentent l'erreur standard.

● **Index de Rectitude**

La même analyse effectuée au niveau des Temps de Réponse a été appliquée à l'Index de Rectitude des mouvements de pointage de tous les participants. Toutefois, s'agissant de données correspondant à des proportions, une transformation en arc-sinus de cet Index de Rectitude a été effectuée². Notons que, pour bien visualiser les résultats, toutes les figures seront présentées avec l'Index de Rectitude brut.

L'analyse n'a révélé aucun effet significatif de quelque facteur de groupe que ce soit. La rectitude des mouvements de pointage, en début de pratique, était similaire pour tous les participants, qu'ils soient jeunes ou âgés, actifs ou inactifs (fig.6). De même, la taille des cibles à pointer n'a pas affecté la rectitude des mouvements de pointage.

² Les données brutes d'Index de Rectitude de chaque participant ont été transformées en arc-sinus. L'arc-sinus d'un nombre x est l'angle y (exprimé en radians) de l'intervalle $[-\pi/2, +\pi/2]$ dont le sinus est x .

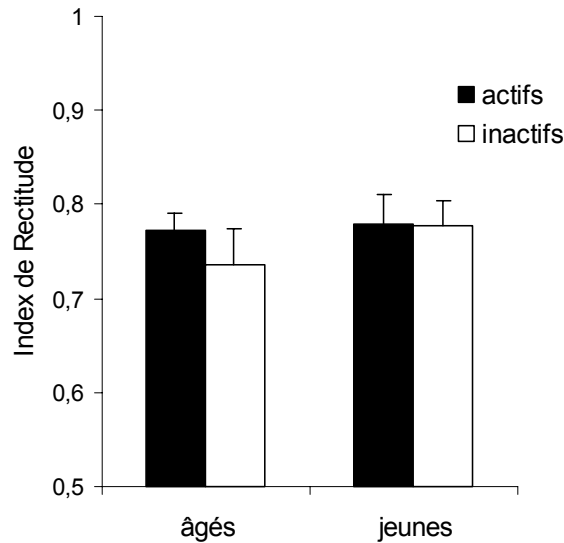


Figure 6 : Index de Rectitude des mouvements de pointage lors du 1^{ier} bloc de pratique en fonction de l'âge et de l'activité physique. Les barres représentent l'erreur standard.

En résumé, les résultats ont révélé que les participants âgés avaient, en début de pratique, des Temps de Réponse plus longs que ceux des jeunes. L'interaction Groupe d'âge X Activité physique indique que les Temps de Réponse des participants âgés actifs étaient significativement plus courts que ceux de leurs homologues inactifs. De plus, concernant la rectitude des mouvements de pointage, les résultats n'ont révélé aucune différence en fonction des groupes ou des conditions. Il semble donc que les Temps de Réponse plus longs de la population âgée, notamment des participants âgés inactifs, reflètent une diminution de la vitesse d'exécution des réponses. Ainsi, le fait de pratiquer une activité physique régulière a entraîné, chez les participants âgés seulement, une plus grande vitesse des réponses en début de pratique.

3.1.2 Mesures de l'apprentissage

Dans ces analyses, il s'agit d'examiner l'effet de la pratique sur l'évolution des performances des participants. Pour les mesures de Temps de Réponse et d'Index de Rectitude nous avons réalisé des ANOVAs impliquant les facteurs Groupe d'âge (âgés vs. jeunes), Activité physique (actifs vs. inactifs) et Taille des cibles (grande vs. petite) comme facteurs inter-groupe, et Blocs de pratique (1 à 8) et Probabilités ($p.5$; $p.7$; $p.8$; $p.9$; $p1$) comme facteurs intra-sujet à mesures répétées.

• Temps de Réponse

L'analyse a révélé un effet significatif des facteurs principaux Groupe d'âge ($F(1,42) = 62.393$; $p < .0001$; $\eta^2 = .598$), Taille des cibles ($F(1,42) = 23.01$; $p < .0001$; $\eta^2 = .354$; $P = .99$) et Blocs de pratique ($F(7,294) = 183.156$; $p < .0001$; $\eta^2 = .813$). Ces résultats indiquent que les Temps de Réponse étaient globalement plus élevés pour les participants âgés ($M = 1006 \pm 158$ ms) que pour les participants jeunes ($M = 731 \pm 80$ ms) et plus élevés pour les petites cibles ($M = 952 \pm 191$ ms) que pour les grandes ($M = 785 \pm 188$ ms). Nous notons une diminution progressive des Temps de Réponse avec la pratique. L'analyse ($F(4,168) = 17.74$; $p < .0001$; $\eta^2 = .297$) a également révélé que les Temps de Réponse étaient d'autant plus courts que la probabilité d'apparition de la cible était élevée (à part pour les cibles d'occurrence $p.7$ et $p.8$ dont les Temps de Réponse ne se différencient pas significativement). La moyenne et l'écart-type des Temps de Réponse en fonction des probabilités sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 2 : moyenne et écart-type des Temps de Réponse (ms) en fonction des probabilités

<i>probabilités</i>	<i>.5</i>	<i>.7</i>	<i>.8</i>	<i>.9</i>	<i>1</i>
moyenne	917,13	872,95	878,93	852,1	820,91
écart-type	166,36	202,82	123,22	154,94	122,16

L'analyse a montré une interaction entre les facteurs Blocs de pratique et Groupe d'âge ($F(7,294) = 20.594$; $p < .0001$; $\eta^2 = .329$), révélant que les participants âgés ont plus diminué leurs Temps de Réponse avec la pratique que les participants jeunes. Cette interaction est due aux Temps de Réponse du groupe âgé très élevés en début de pratique et à leur forte diminution lors des deux premiers blocs de pratique (fig.7). De même, l'analyse a révélé une interaction significative entre les facteurs Blocs de pratique et Activité physique ($F(7,294) = 4.353$; $p < .005$; $\eta^2 = .094$; $P = .87$). Les participants inactifs ont plus diminué leurs Temps de Réponse avec la pratique que les participants actifs. Ceci est également dû aux Temps de Réponse du groupe inactif plus élevés en début de pratique et à leur forte diminution lors des deux premiers blocs de pratique (fig.8).

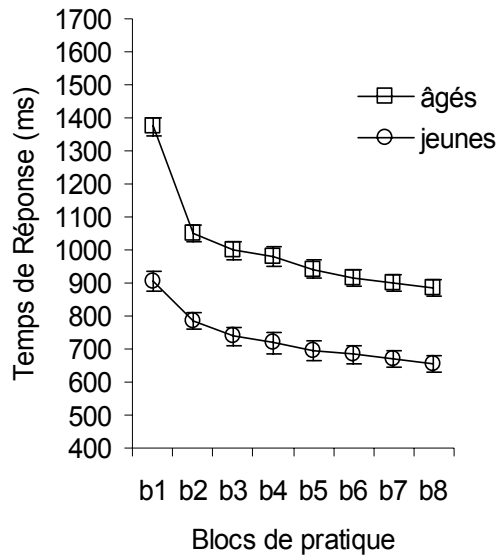


Figure 7: évolution des Temps de Réponse (ms) avec la pratique des participants âgés et jeunes. Les barres représentent l'erreur standard.

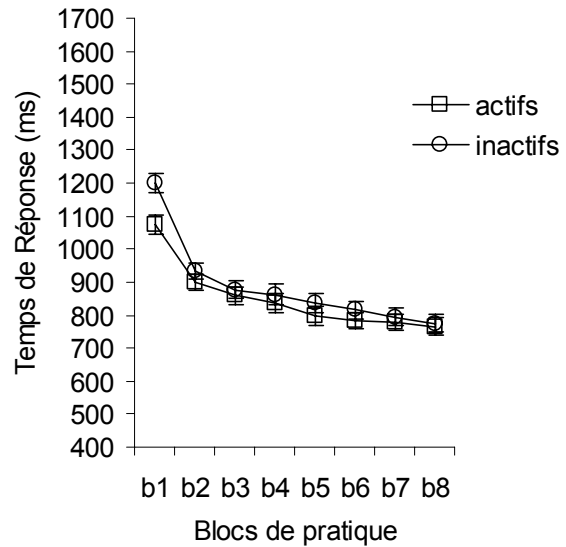


Figure 8: évolution des Temps de Réponse (ms) avec la pratique des participants actifs et inactifs. Les barres représentent l'erreur standard.

L'interaction entre les facteurs Blocs de pratique et Probabilités indique que la réduction des Temps de Réponse avec la pratique était d'autant plus forte que la probabilité était élevée ($F(28,1176) = 3.301$; $p < .0001$; $\eta^2 = .073$).

L'interaction Groupe d'âge X Probabilités ($F(4,168) = 4.709$; $p < .005$; $\eta^2 = .101$; $P = .93$) indique que la différence entre les Temps de Réponse pour chaque probabilité était plus importante pour les participants jeunes que pour les participants âgés. En d'autres termes, les participants jeunes ont plus bénéficié des régularités probabilistes que les participants âgés afin de réduire leurs Temps de Réponse (fig.9). De même, l'interaction Activité physique X Probabilités ($F(4,168) = 2.999$; $p < .05$; $\eta^2 = .067$; $P = .76$) indique que les participants actifs ont plus bénéficié des régularités probabilistes que les participants inactifs afin de réduire leurs Temps de Réponse (fig.10).

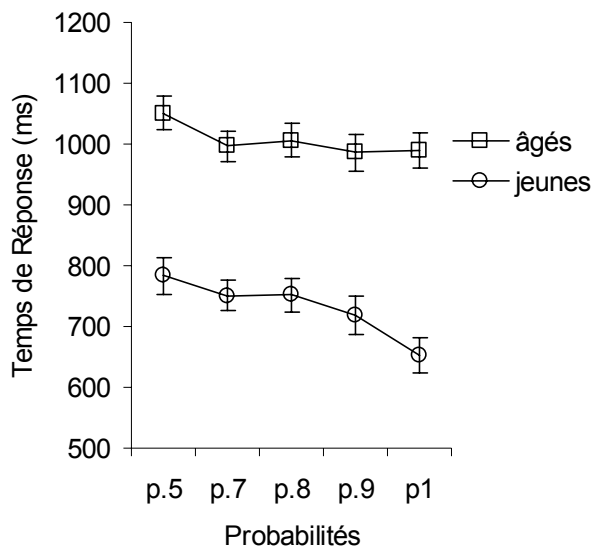


Figure 9 : Temps de Réponse (ms) en fonction des probabilités d'occurrence de la cible pour les participants jeunes et âgés. Les barres représentent l'erreur standard.

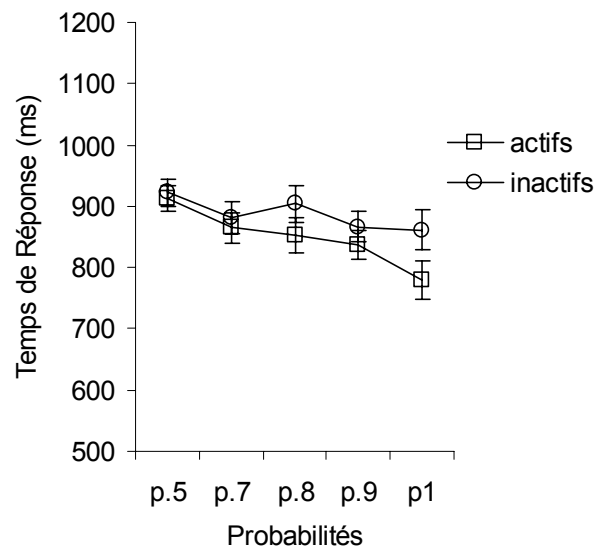


Figure 10 : Temps de Réponse (ms) en fonction des probabilités d'occurrence de la cible pour les participants actifs et inactifs. Les barres représentent l'erreur standard.

La quadruple interaction Blocs de pratique X Probabilités X Pratique physique X Taille des cibles ($28,1176 = 1.653$; $p < .05$; $\eta^2 = .038$; $P = .93$) indique que la difficulté de pointage n'a pas entraîné les mêmes effets dans la diminution des Temps de Réponse avec la pratique en fonction des probabilités, pour les actifs que pour les inactifs (fig.11). Des analyses partielles effectuées sur chaque groupe d'Activité physique ont montré que les Temps de Réponse des participants inactifs ont diminué en fonction des probabilités dans la condition de pointage sur les grandes cibles ($F(28,280) = 1.991$; $p < .05$), mais pas dans la condition de pointage sur les petites cibles ($p > .05$). Par contre, concernant les participants actifs, dans les deux conditions de pointage, la diminution des Temps de Réponse avec la pratique a été d'autant plus grande que la probabilité d'apparition de la cible était élevée ($28,616 = 2.38$; $p < .05$). Ce résultat révèle que les participants actifs n'ont pas été affectés par la difficulté de pointage dans leur apprentissage des associations probabilistes.

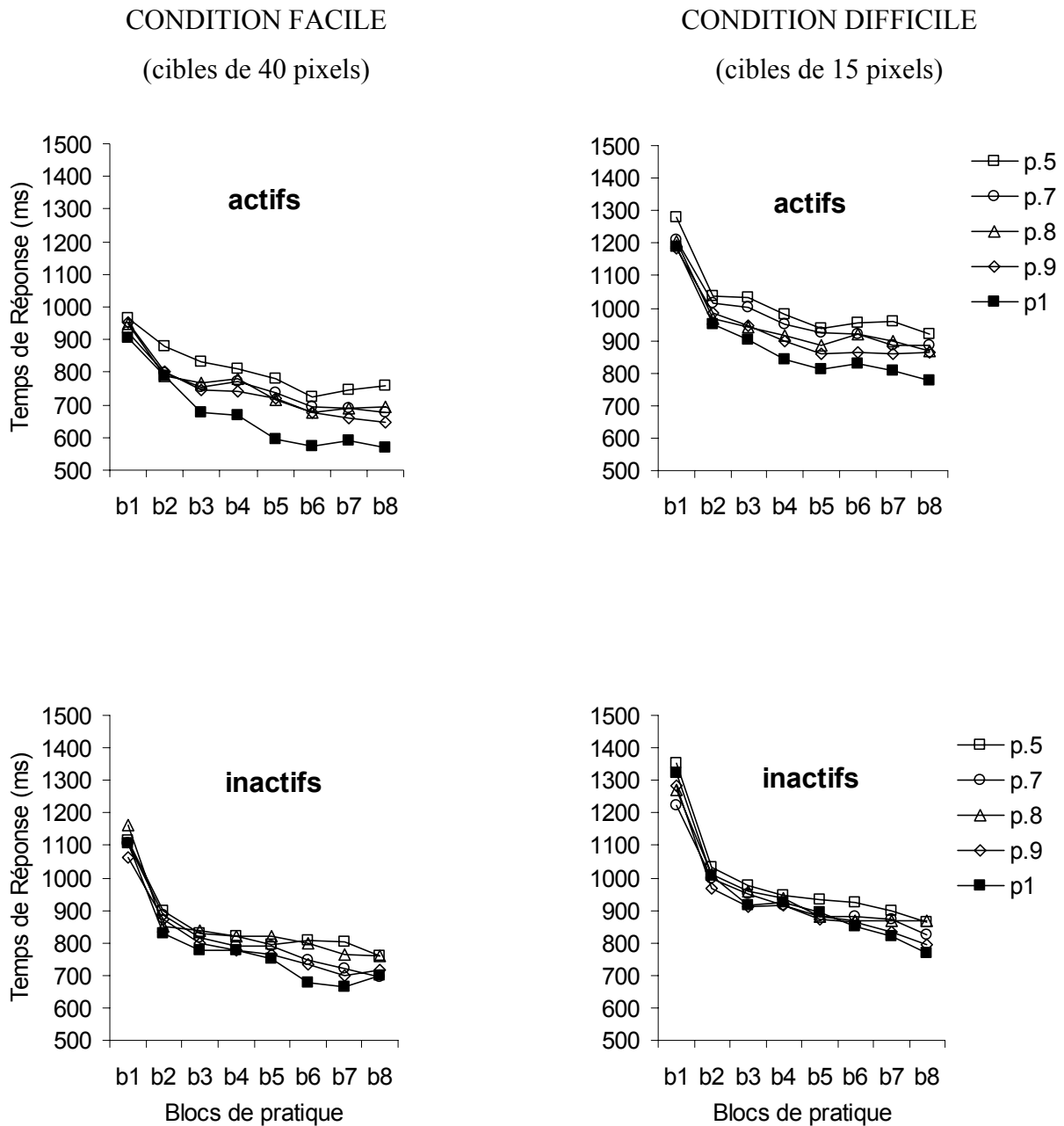


Figure 11: évolution des Temps de Réponse (ms) avec la pratique en fonction des probabilités et de la taille des cibles, pour les participants actifs (en haut) et inactifs (en bas).

Enfin, l'interaction impliquant tous les facteurs Blocs de pratique X Probabilités X Groupe d'âge X Activité physique X Taille des cibles s'est révélée significative ($F(28,1176) = 1.696$; $p < .05$; $\eta^2 = .039$; $P = .94$). Des analyses partielles effectuées sur les deux groupes d'âge ont révélé que la pratique physique a eu un effet sur le taux d'apprentissage des associations probabilistes chez la population âgée ($F(4,88) = 3.67$; $p < .05$), mais pas chez la population jeune ($p > .05$). D'autre part, l'âge a eu un effet sur le taux d'apprentissage des associations

probabilistes chez les participants inactifs ($F(4,80) = 3.73$; $p < .05$), mais pas chez les participants actifs ($p > .05$).

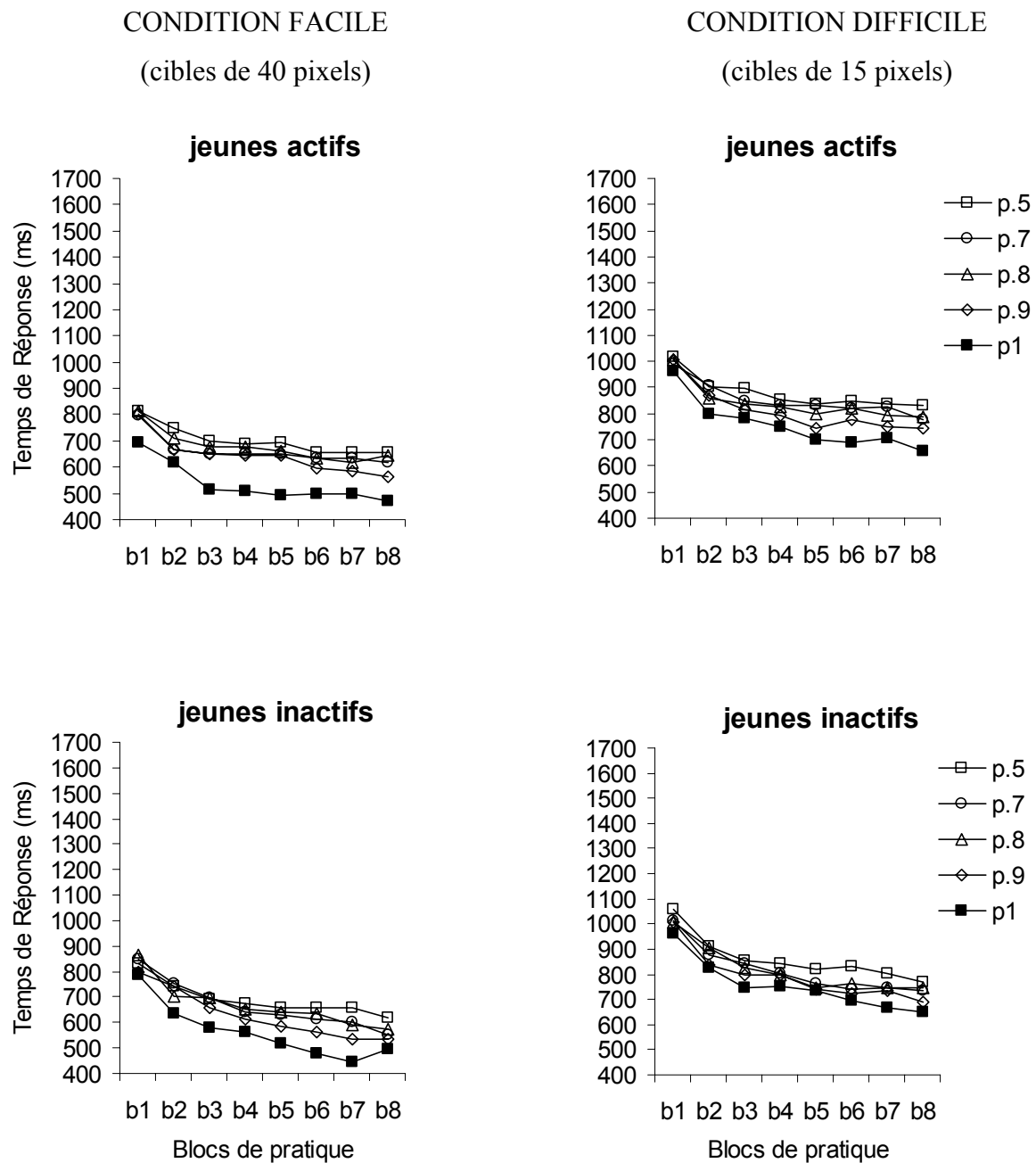


Figure 12a : évolution des Temps de Réponse (ms) avec la pratique en fonction des probabilités et de la taille des cibles, pour les participants jeunes actifs (en haut) et jeunes inactifs (en bas).

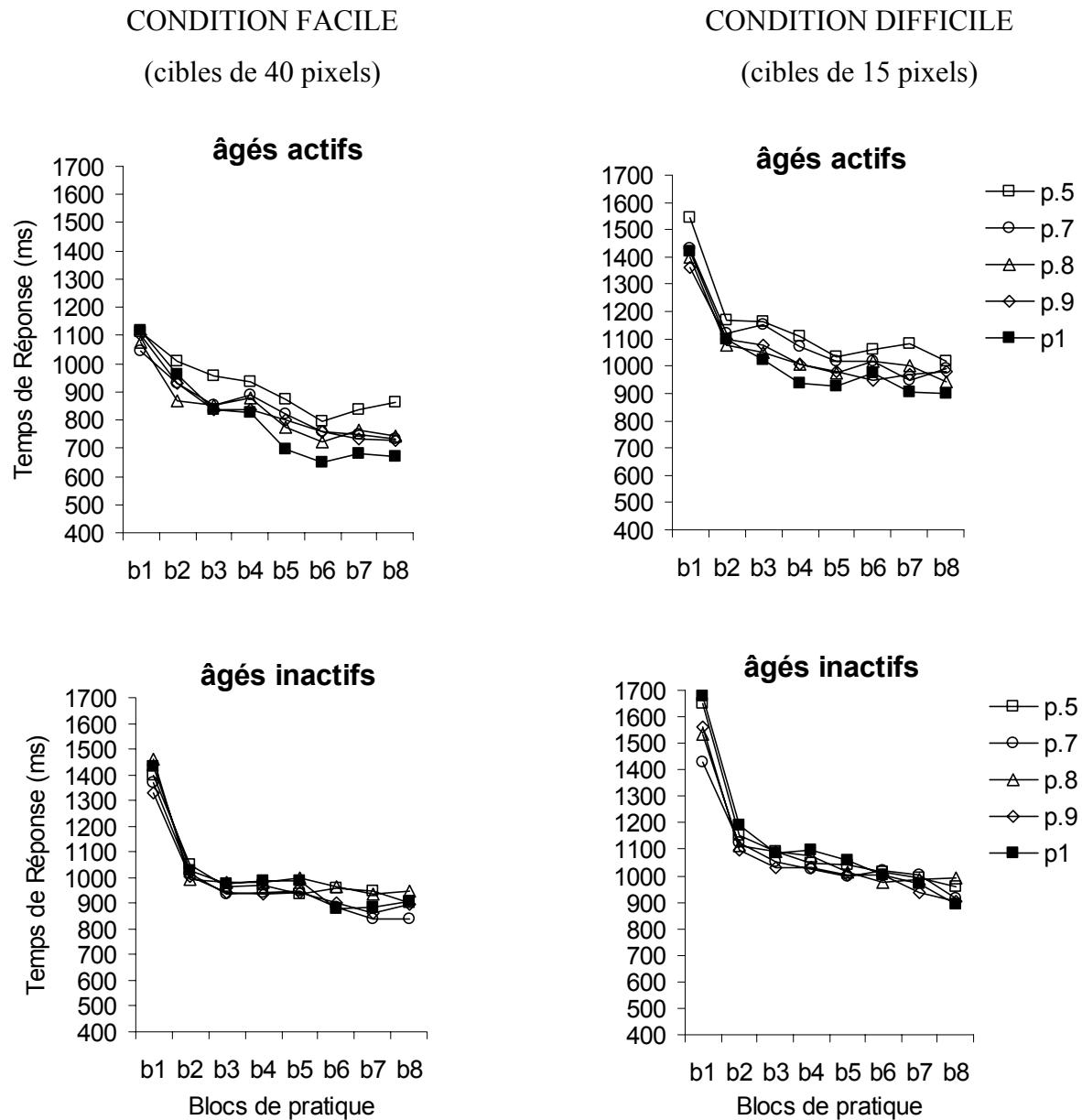


Figure 12b : évolution des Temps de Réponse (ms) avec la pratique en fonction des probabilités et de la taille des cibles, pour les participants âgés actifs (en haut) et âgés inactifs (en bas).

Les analyses groupe par groupe ont révélé que pour les participants âgés inactifs, il n'y avait aucun effet général des probabilités sur les Temps de Réponse, quelle que soit la taille de la cible à pointer (tous les $p > .05$). Cela signifie que les participants âgés inactifs n'ont pas utilisé les associations probabilistes afin de réduire leurs Temps de Réponse. Comme le montre la figure n°12b (en bas), l'évolution des Temps de Réponse avec la pratique était, pour ces participants, tout à fait similaire quelle que soit la probabilité d'apparition de la cible à pointer. De plus, il faut noter que l'effet général de la taille des cibles sur les Temps de Réponse n'était pas significatif pour les groupes de participants âgés inactifs ($p > .05$). Leurs

Temps de Réponse étaient très élevés pour les deux tailles de cible. Ce résultat suggère que même la condition de pointage facile s'est révélée être difficile pour ces participants.

Pour tous les autres groupes de participants, les Temps de Réponse étaient d'autant plus courts que la probabilité d'apparition de la cible était élevée, et ce quelle que soit la taille de la cible à pointer (tous les $p < .05$). Comme nous pouvons le voir sur les figures n° 12a et 12b (en haut), pour ces groupes, avec la pratique, les Temps de Réponse concernant les cibles dont la localisation était fortement probable ont diminué plus que ceux pour lesquels la probabilité d'apparition de la cible était aléatoire ou peu probable.

Pour résumer, ces résultats ont révélé un effet de la pratique régulière d'activité physique sur l'apprentissage des associations probabilistes, sélectif à la population âgée. Les groupes de participants jeunes, actifs et inactifs, et âgés actifs ont démontré une équivalence d'apprentissage des associations probabilistes. Pour ces groupes, la taille des cibles à pointer n'a pas montré d'effet significatif sur cet apprentissage. A l'opposé, les participants âgés inactifs ont révélé un déficit d'apprentissage de ces associations, et ce quelle que soit la condition de pointage (facile et difficile).

- **Index de Rectitude**

L'analyse a montré que l'effet des facteurs Groupe d'âge, Activité physique et Taille des cibles était non significatif. La rectitude des mouvements de pointage n'a pas varié significativement en fonction des groupes de participants et des conditions de pointage.

L'Index de Rectitude des mouvements de pointage s'est amélioré avec la pratique ($F(7,294) = 37.39$; $p < .0001$; $\eta^2 = .471$), entraînant des mouvements de plus en plus rectilignes au fil des essais. Cette amélioration était équivalente quel que soit le groupe de participants et la condition de pointage (fig.13 et 14).

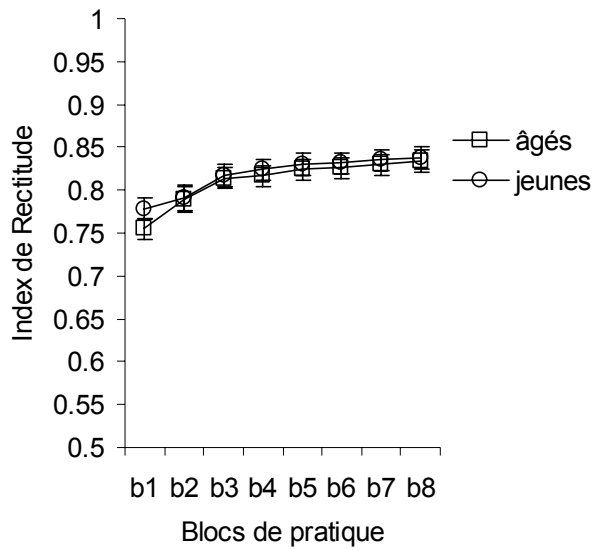


Figure 13 : évolution de l'Index de Rectitude des mouvements de pointage avec la pratique des participants âgés et jeunes. Les barres représentent l'erreur standard.

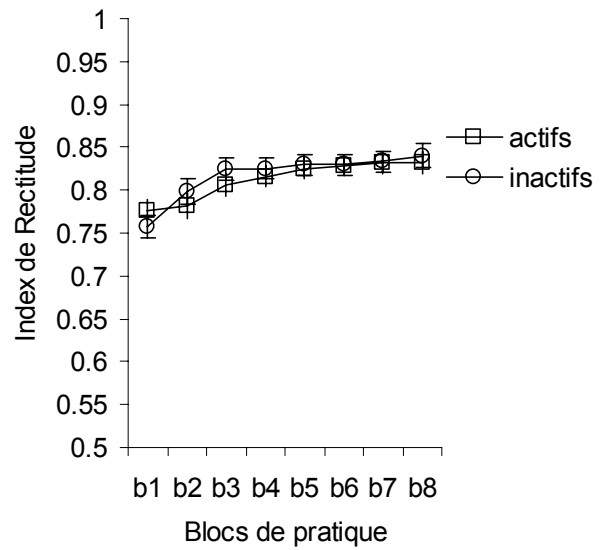


Figure 14 : évolution de l'Index de Rectitude des mouvements de pointage avec la pratique des participants actifs et inactifs. Les barres représentent l'erreur standard.

Comme le montre le tableau 3, les mouvements de pointage des participants étaient d'autant plus rectilignes que la probabilité d'apparition de la cible était élevée ($F(4,168) = 10.39$; $p < .0001$; $\eta^2 = .198$).

Tableau 3 : moyenne et écart-type de l'Index de Rectitude des mouvements de pointage en fonction des probabilités.

<i>probabilités</i>	<i>.5</i>	<i>.7</i>	<i>.8</i>	<i>.9</i>	<i>1</i>
moyenne	0,798	0,806	0,812	0,825	0,842
écart-type	0,019	0,028	0,029	0,034	0,039

L'interaction entre les facteurs Blocs de pratique et Probabilités a confirmé que l'amélioration de cet Index de Rectitude avec la pratique était d'autant plus grande que la probabilité était élevée ($F(28,1176) = 4.03$; $p < .0001$; $\eta^2 = .088$).

L'interaction Groupe d'âge X Probabilités ($F(4,168) = 9.1$; $p < .0001$; $\eta^2 = .178$; $P = .99$) indique toutefois que la rectitude des mouvements de pointage était différenciée en fonction des probabilités pour les participants jeunes mais pas pour les participants âgés. Des analyses partielles effectuées sur les deux groupes d'âge ont confirmé que les mouvements de pointage des participants jeunes étaient d'autant plus rectilignes que la probabilité d'apparition de la

cible était élevée ($F(4,80) = 12$; $p < .0001$). A l'opposé, comme le montre la figure n°15, l'Index de Rectitude des mouvements de pointage des participants âgés n'était pas significativement différent pour chaque probabilité d'apparition de la cible ($p > .05$).

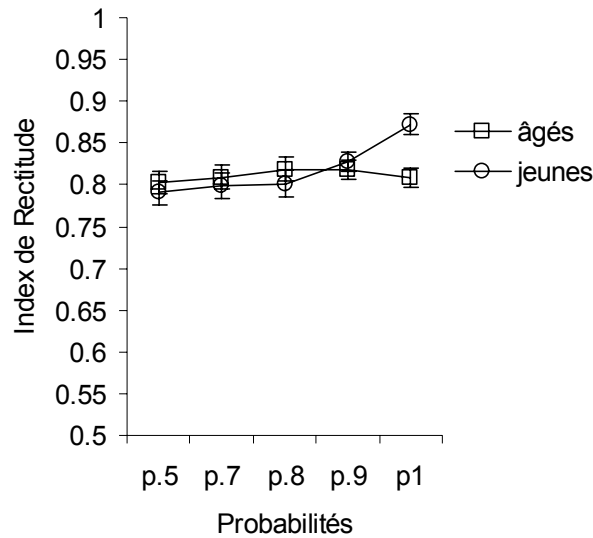


Figure 15 : Index de Rectitude des mouvements de pointages en fonction des probabilités et du Groupe d'âge. Les barres représentent l'erreur standard.

La triple interaction Blocs de pratique X Probabilités X Taille des cibles ($F(28,1176) = 2.21$; $p < .001$; $\eta^2 = .050$; $P = .99$) indique que la difficulté de pointage a eu un effet sur l'utilisation des probabilités afin d'améliorer la rectitude des mouvements de pointage avec la pratique. Comme on peut le voir sur la figure n°16, l'amélioration de l'Index de Rectitude des mouvements de pointage était plus forte pour les grandes cibles que pour les petites cibles, notamment pour les probabilités les plus élevées.

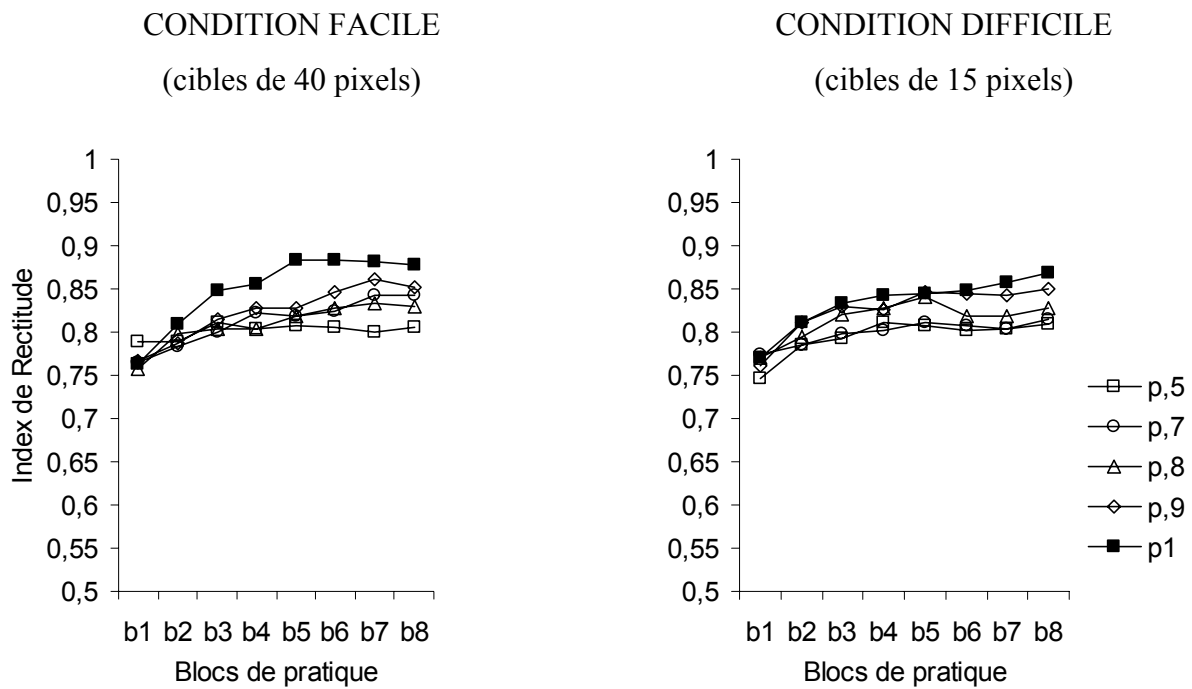
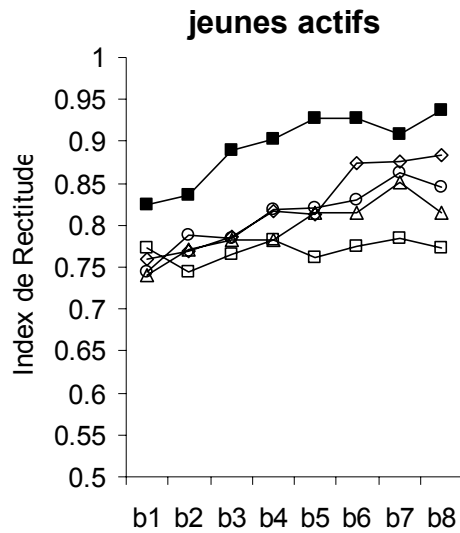


Figure 16 : évolution de l'Index de Rectitude des mouvements de pointage avec la pratique en fonction des probabilités et de la Taille des cibles.

Enfin, il faut noter que l'interaction impliquant tous les facteurs Blocs de pratique X Probabilités X Groupe d'âge X Activité physique X Taille des cibles s'est révélée marginale ($F(28,1176) = 1.5$; $p = .067$; $\eta^2 = .035$; $P = .95$). Son interprétation va dans le même sens que celle concernant les Temps de Réponse. Les figures n°17a et 17b représentent l'illustration de ce résultat.

CONDITION FACILE
(cibles de 40 pixels)



CONDITION DIFFICILE
(cibles de 15 pixels)

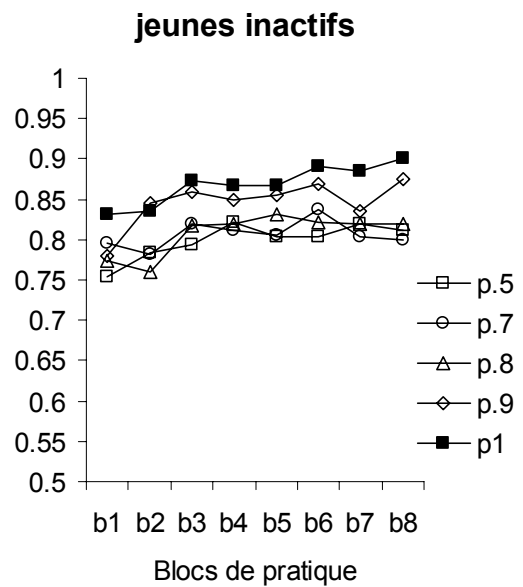
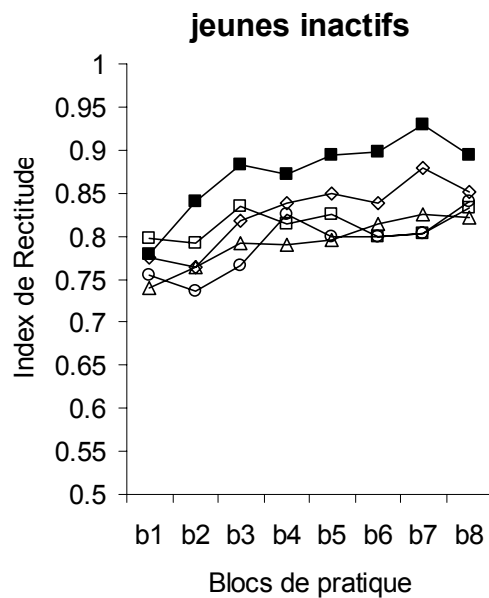
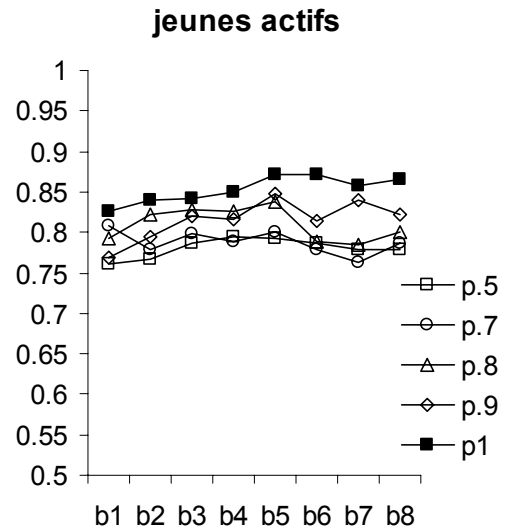


Figure 17a: Evolution de l'Index de Rectitude des mouvements de pointage avec la pratique en fonction des probabilités et de la taille des cibles pour les participants jeunes actifs (en haut) et jeunes inactifs (en bas).

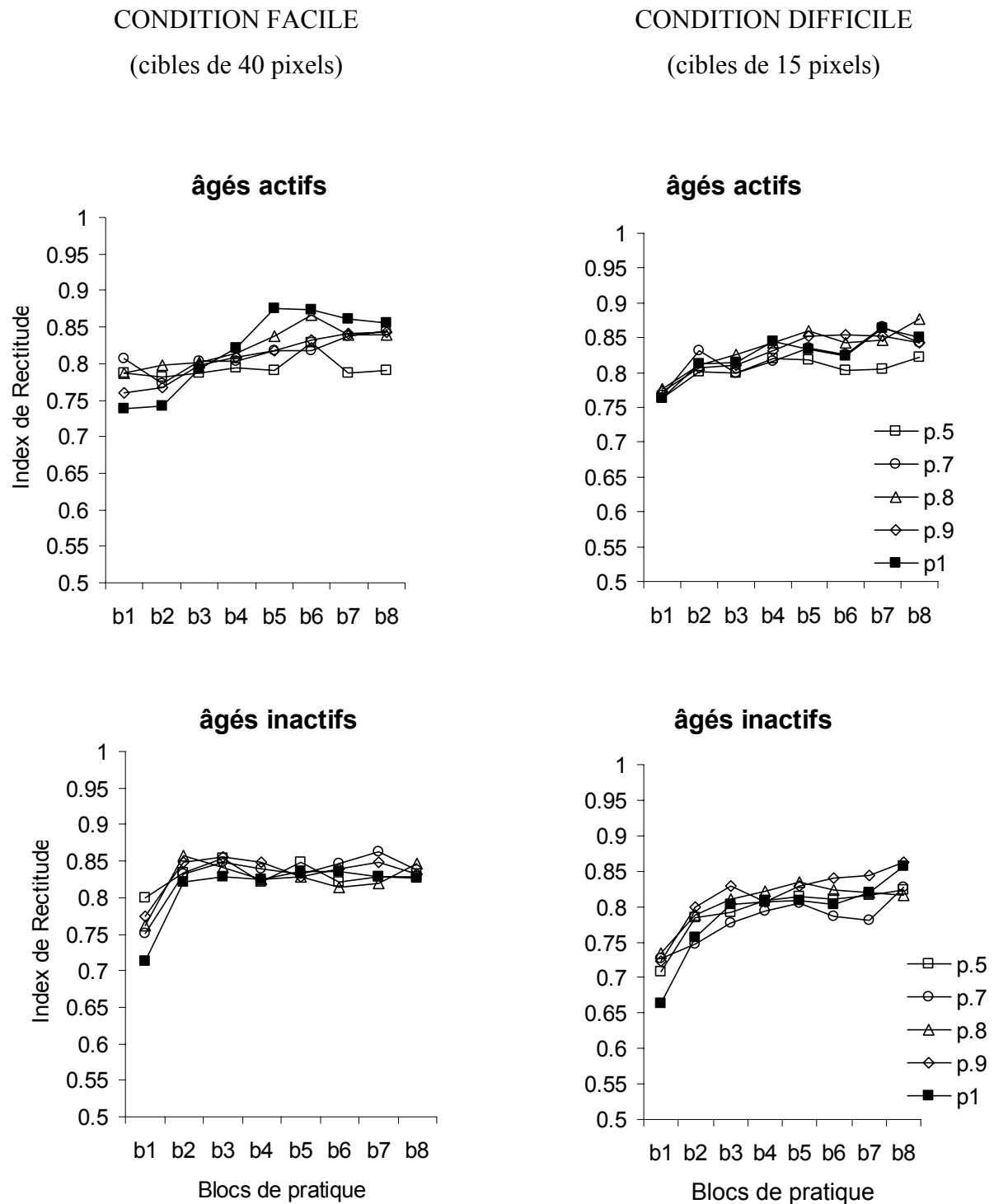


Figure 17b: Evolution de l'Index de Rectitude des mouvements de pointage avec la pratique en fonction des probabilités et de la taille des cibles pour les participants âgés actifs (en haut) et âgés inactifs (en bas).

En résumé, les deux variables expérimentalement manipulées (Probabilités d'occurrence des cibles et Taille des cibles) ont influencé l'évolution de la rectitude des mouvements pointage dans le sens que nous avons prévu. L'Index de Rectitude des mouvements de pointage s'est d'autant plus amélioré avec la pratique que la probabilité d'apparition de la cible à pointer était élevée. De plus il apparaît que l'utilisation de ces probabilités était plus efficace lorsque l'exécution des mouvements était aisée (grandes cibles) que lorsqu'elle était difficile (petites cibles). Les figures n°17a et 17b montrent que les participants jeunes ont semblé plus utiliser les différentes probabilités afin d'améliorer la rectitude de leurs mouvements, que les participants âgés. La rectitude de mouvements de pointage des groupes de participants âgés inactifs, comme pour les mesures de Temps de Réponse, ne se différenciait pas en fonction des probabilités.

3.2 Mesures explicites

3.2.1 Questionnaire

L'analyse du questionnaire post-expérimental avait pour objectif d'évaluer les connaissances explicites des participants concernant les régularités dans les successions de localisation de la cible. Il s'agit de savoir si les groupes de participants diffèrent dans leurs capacités à expliciter les règles régissant l'apparition des cibles.

Aucun participant n'a découvert les règles probabilistes régissant l'apparition des cibles. Cependant, la grande majorité a déclaré avoir perçu des régularités lors de la tâche de pointage, sans toutefois pouvoir les décrire.

Après dépouillement des questionnaires, trois catégories de réponses ont été étudiées :

- perception de régularités (nous avons comptabilisé le nombre de participants ayant déclaré avoir perçu des régularités dans les différentes localisations des cibles)
- verbalisation de la régularité déterministe (*p1*) concernant la dernière cible (nous avons comptabilisé le nombre de participants ayant déclaré que la dernière cible était systématiquement du même côté que l'avant-dernière)
- verbalisations de séquences (nous avons comptabilisé le nombre de participants ayant déclaré avoir perçu les régularités en terme de séquences, de chemins qui se succèdent d'un essai à l'autre)

Un Chi2 a été réalisé sur chaque catégorie de réponses et les résultats sont présentés dans le tableau 4. Une première analyse a été effectuée en fonction de la taille des cibles, et n'a révélé aucun effet de la difficulté des mouvements lors de la tâche de pointage sur les réponses au questionnaire ($p > .05$). En conséquence, ce facteur ne sera pas pris en compte lors des analyses suivantes.

Tableau 4 : résultats des réponses au questionnaire en fonction des groupes expérimentaux

<i>Catégories de réponses</i>	<i>Groupes</i>	<i>OUI</i>	<i>NON</i>
Perception de régularités	âgés actifs	13	1
	âgés inactifs	12	0
	jeunes actifs	12	0
	jeunes inactifs	12	0
Dernière cible	âgés actifs	6	8
	âgés inactifs	5	7
	jeunes actifs	10	2
	jeunes inactifs	5	7
Séquences	âgés actifs	7	7
	âgés inactifs	7	5
	jeunes actifs	5	7
	jeunes inactifs	7	5

Globalement, il n'apparaît pas de différence en fonction des groupes dans les réponses concernant la perception de régularités ($p > .05$), ou de séquences ($p > .05$). Les participants actifs ont eu tendance à être plus nombreux (16/26) que les participants inactifs (10/24) à décrire la régularité déterministe ($p1$) liant les deux dernières cibles, $\chi^2(3) = 7.29$; $p = .06$.

Notons que la moitié des participants a déclaré avoir perçu cette régularité déterministe entre les deux dernières cibles. Il peut être intéressant de regarder s'il y a une relation entre le fait d'avoir perçu cette régularité déterministe et les performances lors de la tâche de pointage. En d'autres termes, est-ce que les participants qui ont perçu cette régularité ont plus amélioré leur performance pour cette régularité que ceux qui n'ont pas déclaré l'avoir perçue ? Afin d'examiner cette question, nous avons refait une analyse sur l'évolution des Temps de Réponse et de l'index de Rectitude lors de la tâche de pointage, en contrastant les

participants qui avaient déclaré avoir perçu la régularité déterministe ($p1$; $n = 26$) et ceux qui n'avaient pas déclaré l'avoir perçue ($n = 24$). Cette analyse a consisté en une ANOVA impliquant le facteur de groupe Perception de la régularité déterministe (oui vs. non) et les facteurs Blocs de pratique (1 à 8) et Probabilités ($p.5$; $p.7$; $p.8$; $p.9$; $p1$) à mesures répétées.

Concernant les Temps de Réponse, cette analyse a révélé une interaction entre les facteurs Perception de la régularité déterministe et Probabilités ($F(4,192) = 5.228$; $p < .005$; $\eta^2 = .098$; $P = .93$). Des contrastes répétés planifiés ont montré que cette interaction provenait spécifiquement de la probabilité $p1$ ($p < .001$). Les Temps de Réponse pour cette alternative étaient significativement plus courts pour le groupe de participants ayant décrit cette régularité lors du questionnaire (738 ms), que pour ceux ne l'ayant pas perçue (919 ms). Concernant les autres niveaux de probabilités ($p.5$; $p.7$; $p.8$; $p.9$), les Temps de Réponse de ces deux groupes ne se différenciaient pas (tous les $F < 1$).

Concernant l'Index de Rectitude des mouvements de pointage, l'analyse n'a révélé aucun effet du facteur de groupe Perception de la régularité déterministe ($p > .05$). Les mouvements de pointage étaient d'autant plus rectilignes que la probabilité d'apparition de la cible était forte, mais ne se différenciaient pas en fonction des groupes de participants.

Il semble ainsi que la moitié des participants a perçu la régularité déterministe la plus facile ($p1$) et que cette connaissance explicite a permis à ses participants de plus réduire leurs Temps de Réponse pour cette régularité que ceux qui ne l'ont pas perçue. Le nombre de participants âgés ayant perçu cette régularité (11/26) n'est pas significativement différent du nombre de participants jeunes (15/24).

3.2.2 Tâche de rappel explicite

Rappelons que ce test de rappel consistait pour les participants, à prédire, sur la base de la cible actuelle, l'emplacement le plus probable de la future cible. Cette tâche avait pour rôle d'estimer les connaissances explicites qu'avaient les participants des régularités utilisées dans la tâche d'apprentissage. Les réponses étaient réalisées avec le même dispositif que celui utilisé dans la tâche de pointage. A l'opposé de la tâche de pointage, la tâche de rappel n'imposait aucune contrainte temporelle. En effet, l'instruction insistait uniquement sur la précision des réponses, et non sur la rapidité d'exécution de ces réponses.

L'analyse de ce test a porté sur les prédictions correctes des participants. Pour chaque alternative, 1 point était accordé si la cible choisie était celle dont la probabilité d'apparition

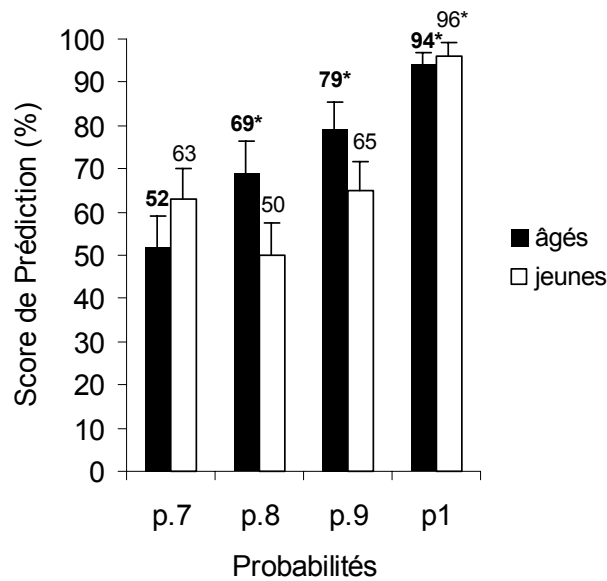
était la plus élevée et 0 point si c'était l'autre. Les scores de prédictions représentent ainsi le pourcentage moyen de prédictions correctes des participants. Les scores de prédictions transformés en arc-sinus ont été analysés par une ANOVA impliquant les facteurs Groupe d'âge (âgés vs. jeunes), Activité physique (actifs vs. inactifs) et Taille des cibles (grande vs. petite) comme facteurs inter-groupe, et Probabilités (*p.7* ; *p.8* ; *p.9* ; *p.1*) comme facteurs intra-sujet à mesures répétées. Les résultats ne comprennent pas les scores de rappel concernant la première cible d'occurrence *p.5* puisqu'elle était parfaitement aléatoire. Notons que toutes les figures seront présentées avec les Scores de prédiction bruts.

Cette analyse a révélé un effet significatif du facteur Probabilités ($F(3,126) = 23.664$; $p < .0001$; $\eta^2 = .360$). Comme le montre le tableau 5, le pourcentage de prédictions correctes augmentait de manière quasi linéaire avec l'augmentation de la force des probabilités. Il est intéressant de noter que l'analyse n'a pas révélé d'effet significatif des facteurs Groupe d'âge, Activité physique, ni Taille des cibles sur ces prédictions.

*Tableau 5 : moyenne et écart-type des scores de prédictions (%) en fonction des Probabilités lors de la Tâche de rappel. Les * signifient que les scores sont significativement différents du hasard (i.e. de 50%).*

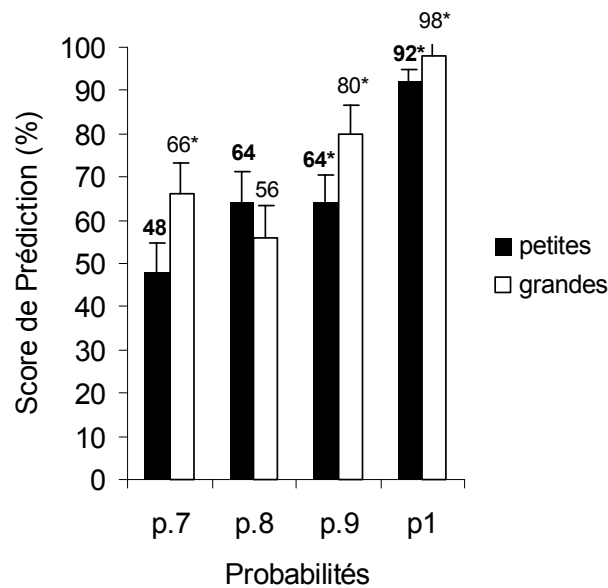
<i>probabilités</i>	<i>.7</i>	<i>.8</i>	<i>.9</i>	<i>1</i>
moyenne	57	60	72*	95*
écart-type	37.8	37.8	33.7	15.2

L'interaction Groupe d'âge X Probabilités ($F(3,126) = 3.433$; $p < .05$; $\eta^2 = .076$; $P = .76$) indique que le taux de prédictions correctes en fonction des probabilités n'a pas été équivalent pour les deux groupes d'âge. Comme le montre la figure n°18, cette interaction vient du mauvais score relatif des participants jeunes à la probabilité *p.8*. Concernant les participants âgés, le pourcentage de prédictions correctes augmentait de manière quasi linéaire avec l'augmentation de la force des probabilités.



*Figure 18 : Scores de prédiction (%) lors de la tâche de rappel en fonction des probabilités, pour les participants âgés (en noir) et jeunes (en blanc). Les barres représentent l'erreur standard. Les * signifient que les scores sont significativement différents du hasard (i.e. de 50%).*

L'interaction Taille des cibles X Probabilités ($F(3,126) = 3.39$; $p < .05$; $\eta^2 = .075$; $P = .75$) indique également que le pourcentage de prédictions correctes en fonction des probabilités n'a pas été équivalent en fonction de la difficulté des mouvements de pointages. Des contrastes répétés planifiés ont révélé que cette interaction était due aux différences en fonction de la taille des cibles entre les probabilités $p.7$ et $p.8$ ($p < .05$) d'une part et $p.8$ et $p.9$ ($p < .05$) d'autre part. Comme le montre la figure n°19, pour les grandes cibles (40 pixels), il y a une diminution des scores de prédiction entre $p.7$ et $p.8$ et une augmentation entre $p.8$ et $p.9$, alors que pour les petites cibles (15 pixels), le pattern de résultat est inversé. Ce résultat, tout comme celui concernant les mauvaises prédictions des participants jeunes pour la probabilité $p.8$, est toutefois difficile à interpréter. En tout état de cause, il ne semble pas que la taille des cibles ait joué un rôle consistant dans le pourcentage de prédictions correctes lors du test de rappel.



*Figure 19 : scores de prédiction (%) lors de la tâche de rappel en fonction des probabilités et de la taille des cibles. Les barres représentent l'erreur standard. Les * signifient que les scores sont significativement différents du hasard (i.e. de 50%).*

En résumé, il ressort de ce test de rappel que les Scores de prédiction étaient liés aux probabilités d'apparition de la cible : plus la cible avait une probabilité élevée d'apparition, meilleurs étaient les Scores de prédiction. Il apparaît toutefois que, globalement, ces prédictions ne dépassaient le seuil de chance que pour les deux niveaux les plus élevés (i.e., *p.9* et *p1*). Il faut noter que ces scores ont montré une forte variabilité (voir tableau 5), probablement due au nombre restreint d'essais et au mode de calcul de ces scores. Enfin, les participants âgés ont montré un *meilleur rappel* que les jeunes et l'analyse n'a révélé aucun effet de l'activité physique sur ces scores. Afin de prendre connaissance des Scores de prédiction en fonction des groupes d'âge et d'activité physique, nous les avons résumés dans le tableau 6.

Tableau 6: moyenne et écart-type des scores de prédictions (%) en fonction des probabilités et des groupes d'âge et d'activité physique lors de la tâche de rappel

<i>Probabilités</i>	<i>p.7</i>	<i>p.8</i>	<i>p.9</i>	<i>p1</i>
<i>Groupes</i>				
Jeunes actifs	62.5±43.3	50±36.9	62.5±37.7	100±0
Jeunes inactifs	62.5±37.7	50±42.6	66.7±38.9	91.7±19.5
Agés actifs	67.9±24.9	82.1±31.7	85.7±23.4	96.4±13.4
Agés inactifs	33.3±38.9	54.2±33.4	70.8±33.4	91.7±19.5

4. Discussion

L'objectif de cette étude était d'examiner l'effet de la pratique régulière d'activité physique chez des individus jeunes et âgés sur l'apprentissage de régularités probabilistes dans une tâche de pointage. Plus précisément, nous voulions vérifier que, dans ce type d'apprentissage, l'effet de l'activité serait plus bénéfique pour les participants âgés que pour les participants jeunes, notamment lorsque les contraintes d'exécution de la tâche étaient fortes (petites cibles vs. grandes cibles). L'apprentissage était évalué à partir de l'analyse de données obtenues dans deux tâches différentes, à savoir, la tâche de pointage et la tâche de rappel.

L'étude que nous avons menée a révélé plusieurs résultats intéressants que nous allons discuter dans trois sections différentes. Premièrement, nous examinerons les résultats concernant les différences initiales lors de la tâche de pointage, en fonction de l'âge des participants et de la pratique ou non d'activité physique. Deuxièmement, nous examinerons l'effet de la complexité de la tâche de pointage sur l'apprentissage des associations probabilistes en fonction de l'âge et de l'activité physique. Enfin, nous discuterons de la nature implicite ou explicite de cet apprentissage et de l'impact de cette dissociation en fonction de nos facteurs de groupe.

Différences initiales en fonction de l'âge et de l'activité physique

Bien que l'intérêt principal de cette étude porte sur le vieillissement des capacités d'apprentissage d'une nouvelle habileté, l'examen de la capacité des participants à répondre aux exigences de la tâche de pointage en début de pratique nous apparaît également important.

L'analyse des 40 premiers essais de pratique a montré que les participants âgés avaient des Temps de Réponse significativement plus longs que ceux des participants jeunes, mais que la rectitude de leurs mouvements de pointage était comparable. Ces résultats confirment que c'est bien la vitesse des réponses des participants âgés qui est responsable de leurs Temps de Réponse plus longs, puisqu'ils parcourent la même distance.

Les Temps de Réponse des participants sont conformes à la loi de Fitts (1954), avec des Temps de Réponse systématiquement plus courts pour les grandes cibles (40 pixels) que pour les petites cibles (15 pixels). Contrairement à des études précédentes (e.g., Goggin & Meeuwsen, 1992 ; Ketcham *et al.*, 2002 ; Liao *et al.*, 1997), dans notre tâche, l'ID des mouvements de pointage n'a pas affecté plus les Temps de Réponse des participants âgés que ceux des jeunes. Il faut noter toutefois que, dans notre étude, nous n'avons utilisé que deux niveaux de difficulté alors que ces études en ont manipulé respectivement six, sept et huit. En effet, l'interaction âge X difficulté du mouvement rapportée par ces études, provient souvent des niveaux de difficulté les plus élevés (au-delà de $ID = 4$). De plus, le nombre d'essais joue certainement un rôle non négligeable. Dans les études citées, la performance des participants était moyennée sur 96 à 264 essais maximum pour tous les niveaux de difficulté, alors que le premier bloc de pratique de notre étude correspond déjà à 440 mouvements de pointage. Il est possible que l'intensité de l'interaction âge X complexité rapportée par les études diminue si l'on accorde plus de pratique aux participants. Il faut également noter que, bien que l'interaction critique âge X activité physique X difficulté du mouvement ne soit pas significative, les Temps de Réponse des participants âgés inactifs, comme nous l'avons vu, ne se différenciaient pas en fonction de la taille des cibles. Pour ces groupes de participants, les Temps de Réponse étaient très élevés même dans la condition de pointage dite facile (cibles de 40 pixels). Nous reviendrons plus tard sur ce résultat qui semble impliquer que même la condition de pointage facile s'est révélée être difficile pour ces participants.

Au-delà de cet effet de la taille des cibles, les participants âgés inactifs ont démontré, en début de pratique, des Temps de Réponse significativement plus longs que ceux de tous les autres groupes de participants. Concernant les groupes de participants jeunes, la pratique d'activité physique n'a pas eu d'effet sur les Temps de Réponse. Les participants jeunes, actifs et inactifs ont montré, en début de pratique, des Temps de Réponses tout à fait similaires (fig. n°5). A l'opposé, chez la population âgée, les participants actifs ont montré des Temps de Réponse significativement plus courts que ceux des participants inactifs. Cet effet bénéfique de la pratique régulière d'activité physique sur la vitesse des réponses, sélectif aux personnes

âgées, conforte le “Modèle Modérateur” de Stones et Kozma (1988) et corrobore les résultats de Spirduso (1975) et Etnier *et al.* (2003) pour des tâches similaires.

Apprentissage des associations probabilistes lors de la tâche de pointage

Lors de la tâche de pointage, tous les participants se sont montrés capables d'améliorer leur contrôle moteur fin en diminuant leurs Temps de Réponse et en augmentant la rectitude de leurs mouvements. Toutefois, au-delà de l'apprentissage du pointage sur les cibles, le principal moyen pour les participants d'améliorer leurs performances était d'arriver à extraire et à utiliser les régularités présentes dans la tâche. L'apprentissage des associations probabilistes était évalué par les différences de performance entre les différents niveaux de probabilités liant la localisation des cibles à pointer. Toute différence dans les performances des participants en fonction des probabilités d'occurrence accordées aux cibles refléterait ainsi une utilisation des associations probabilistes. Nous avons fait l'hypothèse que l'apprentissage de ces associations serait plus facile pour les cibles dont la probabilité de localisation était forte que pour celles dont la localisation était peu probable. De même, nous avons prédit que l'apprentissage de ces régularités probabilistes serait plus difficile dans la condition de pointage difficile sur les cibles petites (15 pixels) que dans la condition de pointage facile sur les cibles grandes (40 pixels), notamment pour les participants âgés inactifs.

Les participants jeunes actifs et inactifs ainsi que les participants âgés actifs ont démontré clairement un apprentissage de ces associations probabilistes. Tous ces participants ont plus amélioré leur performance (en terme de vitesse et de rectitude des mouvements de pointage) pour les cibles dont la localisation était fortement probable que pour les cibles dont la localisation était aléatoire ou peu probable (voir fig. n°12a et 12b et n°17a et 17b). Cet apprentissage des associations probabilistes s'est manifesté dans les deux conditions de pointage difficile et facile. La complexité des mouvements de pointage a tout de même joué un rôle dans l'apprentissage des associations probabilistes, notamment en terme de rectitude des mouvements (voir fig. n°16 et 17). L'utilisation des régularités probabilistes afin d'améliorer la rectitude des mouvements de pointage était plus importante dans la condition de pointage sur les grandes cibles (40 pixels) que dans la condition de pointage sur les petites cibles (15 pixels). Ces résultats confirment que l'augmentation de la complexité des régularités régissant l'apparition des cibles et l'augmentation de la complexité d'exécution des mouvements de pointage ont affecté l'apprentissage de cette tâche. Les participants jeunes, actifs et inactifs ainsi que les participants âgés actifs ont été affectés dans la même mesure par cette manipulation des complexités de la tâche. Ces derniers ont démontré un patron

d'apprentissage des associations probabilistes tout à fait similaire à celui des groupes de participants jeunes, quelles que soient les conditions de pointage, révélant une préservation des capacités d'apprentissage pour cette tâche. Ces résultats confirment notre première hypothèse d'un effet bénéfique de la pratique régulière d'activité physique sur les capacités d'apprentissage moteur. Nous avons vu que cette influence bénéfique de l'activité physique était sélective aux personnes âgées (puisque les participants jeunes ne se différenciaient pas entre eux), confortant ainsi le "Modèle Modérateur" de Stones et Kozma (1988). Ces résultats confirment également ceux de Etnier et Landers (1997) et Etnier *et al.* (2001) sur le rôle bénéfique de l'activité physique sur les capacités d'apprentissage des personnes âgées. En fait dans notre tâche, il apparaît que la pratique régulière d'activité physique permet de compenser les effets négatifs du vieillissement sur ce type d'apprentissage.

Un résultat important de cette étude concerne l'absence d'apprentissage des associations probabilistes révélée par les participants âgés inactifs. Aucun indice comportemental ne semble en effet indiquer qu'ils ont bénéficié de la présence d'associations prévisibles. Leurs Temps de Réponse ainsi que la rectitude de leurs mouvements de pointage en présence d'associations déterministes étaient équivalents à ceux obtenus en présence d'associations purement aléatoires (voir fig. n°12b et n°17b). Cette absence d'apprentissage des régularités présentes dans la tâche (même de la régularité déterministe la plus simple) s'est manifestée dans les deux conditions de pointage (même dans la condition de pointage facile).

Comment expliquer le fait que les participants âgés inactifs ne semblent pas apprendre les associations probabilistes ? Il est possible, comme le suggèrent Curran (1997) et Howard et Howard (1997), que les régularités présentes dans la tâche soient trop ambiguës et que cette complexité des associations entre les différentes localisations des cibles soit responsable de ce déficit d'apprentissage. Toutefois, cette explication ne nous semble pas totalement satisfaisante puisque les participants âgés inactifs n'ont pas montré d'apprentissage même pour la régularité déterministe *p1*, censée être très facile à apprendre.

Il est également possible d'envisager que les Temps de Réponse plus longs des participants âgés inactifs augmentent l'intervalle de temps entre l'apparition d'un stimulus et la présentation du prochain stimulus, interférant ainsi potentiellement avec la capacité d'associer des stimuli consécutifs en mémoire de travail et par conséquent, interférant avec l'apprentissage des associations probabilistes (Howard & Howard, 1997, voir également Frensch, Buchner & Lin, 1994 et Schvaneveldt & Gomez, 1998, pour une explication similaire dans le contexte d'un apprentissage de Temps de Réaction Sériels en condition de

double-tâche avec des adultes jeunes). Toutefois, cette explication ne nous semble pas totalement satisfaisante non plus puisque les participants âgés actifs avaient des Temps de Réponses plus longs que ceux des participants jeunes mais n'ont pas révélé de déficit d'apprentissage des associations probabilistes.

Pour comprendre ce déficit d'apprentissage des participants âgés inactifs, il nous semble important de prendre en compte les résultats qui ont montré que pour cette population, il n'y avait pas d'effet de la taille des cibles sur les mesures générales de Temps de Réponse. Si leurs Temps de Réponse étaient plus élevés pour les petites cibles (1095 ms) que pour les grandes (1001 ms), cette différence n'était pas statistiquement significative. Il apparaît notamment que leurs Temps de Réponse dans la condition facile étaient particulièrement élevés, comparativement aux autres groupes. Ce résultat suggère fortement que même la condition de pointage dite facile (cibles de 40 pixels) s'est révélée être difficile pour ces participants. Ainsi, c'est peut-être cette plus grande difficulté d'exécution réelle qui les a "empêchés" d'utiliser les probabilités afin d'améliorer leur performance lors de la tâche de pointage. Cette hypothèse s'accorderait bien avec les résultats de l'étude de Harrington et Haaland (1992), qui ont montré que la production de mouvements complexes (postures de la main) pouvait rendre compte du déficit d'apprentissage lié à l'âge dans une tâche de Temps de Réaction Sériels. Afin de tester cette possible explication, il conviendrait d'utiliser une condition de pointage plus facile encore pour voir si le déficit d'apprentissage des âgés inactifs vient de cette difficulté d'exécution ou si c'est une limitation fondamentale de leurs capacités à utiliser les régularités présentes dans la tâche afin d'améliorer leur performance.

Dissociation en fonction des deux tâches utilisées

Les résultats issus du questionnaire post-expérimental et de la tâche de rappel sont très sensiblement différents de ceux de la tâche de pointage. Résumons rapidement ces résultats avant d'en discuter la portée.

Lors du questionnaire post-expérimental, la grande majorité des participants a déclaré avoir perçu des régularités lors de la tâche de pointage dans les localisations successives des cibles, sans toutefois pouvoir les décrire réellement. Aucun participant n'a pu explicitement décrire les régularités probabilistes. Cependant, la moitié des participants a pu décrire la régularité déterministe ($p1$) liant les deux dernières cibles. Les participants ayant perçu cette régularité déterministe ont plus diminué leurs Temps de Réponse pour cette alternative lors de la tâche de pointage que ceux qui n'ont pas déclaré l'avoir perçu. Ce dernier résultat permet de penser que ces participants ont appris spécifiquement cette régularité sur le mode de

l'apprentissage explicite et que la connaissance explicite de cette régularité leur a permis de réduire de façon plus importante leurs Temps de Réponse pour cette régularité que ceux qui ne l'avaient pas perçue. Les réponses au questionnaire post-expérimental n'ont toutefois pas permis de différencier les participants en fonction des groupes d'âge ou d'activité physique.

Les résultats de la tâche de rappel ont également produit des résultats différents de ceux de la tâche de pointage. Nous avons vu que les scores de rappel étaient fonction de la probabilité d'apparition des cibles. Plus la cible avait une probabilité élevée d'apparition, meilleurs étaient les scores de prédiction. Nous avons vu également que, pour cette tâche, la taille des cibles ne jouait pas un rôle important sur le pourcentage de prédictions correctes. A l'encontre des résultats de la majorité des études ayant utilisé un test de rappel semblable au notre (e.g., Harrington & Haaland, 1992 ; Howard & Howard, 1989 ; 1992), les participants âgés de notre étude n'ont pas montré de déficit dans le rappel explicite des régularités comparativement aux adultes jeunes. Notons toutefois que Cherry et Stadler (1995 ; expérience 1) avaient rapporté un résultat semblable au notre concernant leur population d'adultes âgés "à grandes aptitudes". Il est ainsi possible que le "niveau intellectuel" représente un facteur critique dans les résultats de ce type de tâche. Les participants âgés de notre étude étaient appariés selon ce critère et étaient probablement assez semblables aux participants "à grandes aptitudes" de l'étude de Cherry & Stadler (1995). Les participants âgés de notre étude ont même montré un meilleur rappel des cibles les plus probables que les participants jeunes. Leurs scores de prédictions correctes étaient au-delà du hasard pour les trois alternatives les plus probables ($p.8$; $p.9$; $p1$; voir fig.18), alors que ceux des participants jeunes ne l'étaient que pour la condition déterministe ($p1$).

Un résultat important concerne l'absence d'effet de la pratique d'activité physique sur ces scores de prédiction, notamment chez les personnes âgées. En effet, à travers cette mesure de l'apprentissage, les participants âgés inactifs ont démontré une connaissance, même partielle, des régularités probabilistes présentes lors de la tâche de pointage (notamment concernant les deux alternatives les plus probables, $p.9$ et $p1$, voir tableau 6). Ce résultat contraste avec celui de l'absence totale de manifestation d'apprentissage de ces associations probabilistes lors de la tâche de pointage. Nous avons en effet vu que, lors de la tâche de pointage, aucun indice comportemental ne semblait révéler un apprentissage des associations probabilistes pour ces participants. La question qui s'impose est alors de savoir quelle est la signification comportementale de cette opposition. En d'autres termes, le déficit d'apprentissage constaté à partir de l'analyse des performances lors de la tâche de pointage

reflète-t-il un blocage profond des processus d'apprentissage ou bien un problème d'incapacité à exprimer cet apprentissage lors de la tâche de pointage ?

Une réponse à cette question peut être obtenue à partir de l'analyse des traits fondamentaux caractérisant les deux tâches utilisées dans cette étude. Nous pensons que les deux tâches peuvent être contrastées notamment par la présence ou non d'une contrainte temporelle sur la production des réponses. En effet, la particularité importante de la tâche de rappel, par rapport à la tâche de pointage, est qu'elle n'impose pas de contraintes temporelles liées à la vitesse de la réponse. Ainsi, dans la tâche de rappel, la cadence était contrôlée par les participants qui pouvaient choisir le moment opportun pour produire une réponse, alors que dans la tâche de pointage la cadence était dictée par la tâche elle-même. L'absence de contrainte temporelle a permis ainsi aux personnes âgées inactives d'exprimer leur apprentissage. Inversement, cela signifie que dans la tâche de pointage, les contraintes imposées sur la rapidité des réponses n'ont pas permis à ces mêmes participants d'utiliser les régularités qu'ils avaient détectées afin d'accélérer leurs Temps de Réponse ou d'améliorer la rectitude de leurs mouvements et, par conséquent, d'exprimer un apprentissage. Il est ainsi possible que la complexité de la tâche de pointage inhérente à la production de mouvements de pointage sur les cibles sous contrainte temporelle forte ait affecté la performance des participants âgés inactifs ou l'expression de l'apprentissage, mais pas l'apprentissage lui-même. Cette possibilité rejoint la conclusion de certaines études sur l'apprentissage de Temps de Réaction Sériels chez des adultes jeunes, ayant montré qu'une condition de double-tâche affecte principalement l'expression de ce qui est appris mais pas l'apprentissage lui-même (e.g., Frensch, Lin & Buchner, 1998). Lors de notre tâche de pointage, s'adapter aux contraintes du compromis vitesse/précision inhérentes aux mouvements de pointage sur les cibles et acquérir les régularités d'apparition des cibles pourrait être apparenté à une double-tâche. Les participants âgés inactifs confrontés à ce problème n'ont pu réaliser en conjonction ces deux tâches, alors que les participants âgés actifs et jeunes en ont été capables.

En conclusion, les résultats de cette première expérience ont montré qu'un style de vie actif, à travers la pratique régulière d'activité physique, joue un rôle positif, chez la personne âgée, sur l'apprentissage d'associations probabilistes. Les personnes âgées actives sont capables, au même titre que les jeunes (actifs et inactifs), d'apprendre des régularités complexes dans une tâche de mouvements de pointages quelle que soit la difficulté d'exécution des réponses exigées. A l'opposé, les personnes âgées sédentaires ont démontré une absence d'apprentissage de ces régularités lors de la tâche de pointage, quelles que soient

les contraintes d'exécution des réponses impliquées. Toutefois, lors de la tâche de rappel, tous les participants, y compris les participants âgés inactifs, ont démontré qu'ils avaient acquis une connaissance, même partielle, des régularités présentes dans la tâche de pointage. Ce dernier résultat pourrait suggérer que les participants âgés inactifs n'ont pas pu exploiter cette connaissance des régularités lors de la tâche de pointage, ou qu'elle n'a pas pu s'exprimer dans leur comportement parce que les contraintes de la tâche de pointage étaient trop importantes. Placer des participants âgés inactifs dans une condition de pointage plus facile (i.e., sur de très grandes cibles), pourrait permettre de vérifier cette possibilité.

CHAPITRE V

EXPERIENCE 2

1. Objectifs

L'expérience précédente a montré que des sujets âgés pratiquant régulièrement des activités physiques démontraient une équivalence avec des adultes jeunes pour l'apprentissage d'associations probabilistes dans une tâche de pointage. Cette équivalence d'apprentissage s'est manifestée quelles que soient les conditions d'exécution des réponses exigées (taille des cibles). A l'opposé, les sujets âgés inactifs ont démontré une absence d'apprentissage de toutes les régularités probabilistes et ce quelles que soient les conditions (faciles ou difficiles) de pointage.

Il apparaît toutefois qu'à travers des mesures différentes de l'apprentissage des associations probabilistes (rappel : Scores de prédiction), les sujets âgés inactifs, comme tous les autres sujets, ont démontré une connaissance explicite, même partielle, de ces régularités.

L'hypothèse que nous émettons est que la complexité d'exécution des réponses a été responsable du déficit d'apprentissage des régularités des participants âgés inactifs lors de la tâche de pointage.

Afin de vérifier cette hypothèse nous avons testé de nouveaux sujets âgés inactifs, semblables aux sujets inactifs de la première expérience, lors de la même tâche d'apprentissage mais en utilisant une taille de cible plus grande (80 pixels, ID = 2). Il s'agit de voir si, dans cette condition de pointage plus facile, les sujets âgés inactifs démontrent une utilisation des régularités présentes dans la tâche afin d'améliorer leur performance lors de la tâche de pointage. Dans ce chapitre, nous présentons les résultats obtenus par ce nouveau groupe de participants et nous les comparons à ceux des deux autres groupes de participants âgés inactifs ayant participé à la première expérience.

2. Méthode

2.1 Participants

Cette expérience impliquait six personnes âgées ($M = 73$ ans ; $e.t. = 4$) n'ayant pas participé à la première expérience, recrutées selon la même procédure. Il s'agit de personnes retraitées ayant un style de vie sédentaire en accord avec leurs réponses au questionnaire d'activité physique (annexe 1). Ces participants ont effectué en moyenne 15,33 années d'études ($e.t. = 3,1$) et sont semblables en tout point aux participants âgés inactifs de la première expérience, à l'exception qu'ils sont significativement plus âgés ($p < .05$).

2.2 Matériel et stimuli

Le matériel et les stimuli utilisés lors de cette expérience étaient les mêmes que ceux de la précédente expérience. La seule différence résidait dans la taille des cibles à pointer. Les nouveaux participants de cette expérience ont effectué des mouvements de pointage sur des cibles de 80 pixels (28 mm) correspondant à un $ID = 2$ (Condition Très Facile).

Nous comparerons les résultats de ce groupe de participants à ceux des deux autres groupes de participants âgés inactifs ayant participé à la première expérience. Rappelons que pour ces participants les cibles pouvaient être de 40 pixels (14 mm) de largeur correspondant à un $ID = 3$ (Condition Facile) ; ou de 15 pixels (5.25 mm) de largeur correspondant à un $ID = 4.5$ (Condition Difficile).

2.3 Tâches et procédure

Les tâches et la procédure utilisées sont en tout point identiques à celles de l'expérience 1.

3. Résultats

3.1 Tâche de pointage

Il s'agit dans ces analyses de comparer l'évolution des performances avec la pratique des participants âgés inactifs en fonction de la taille des cibles. Pour les mesures de Temps de Réponse et d'Index de Rectitude nous avons réalisé des ANOVAs impliquant la Taille des cibles (15 pixels ; 40 pixels ; 80 pixels) comme facteur inter-groupe, et les Blocs de pratique (1 à 8) et les Probabilités ($p.5$; $p.7$; $p.8$; $p.9$; $p.1$) comme facteurs intra-sujet à mesures répétées.

- **Temps de Réponse**

L'analyse a révélé un effet du facteur principal Taille des cibles ($F(2,15) = 10.206$; $p < .005$; $\eta^2 = .576$; $P = .96$) indiquant globalement, comme le montre la figure n°20, que les Temps de Réponse des participants étaient d'autant plus courts que la taille de la cible à pointer était grande. Des analyses post-hoc (Bonferroni) ont montré que seuls les Temps de Réponse concernant les cibles de 80 pixels se distinguaient significativement de ceux des deux autres conditions (tous les $p < .05$). Comme nous l'avons déjà vu lors de la première expérience, les Temps de Réponse concernant les mouvements de pointage sur les cibles de 15 et 40 pixels n'étaient pas significativement différents les uns des autres ($p > .05$).

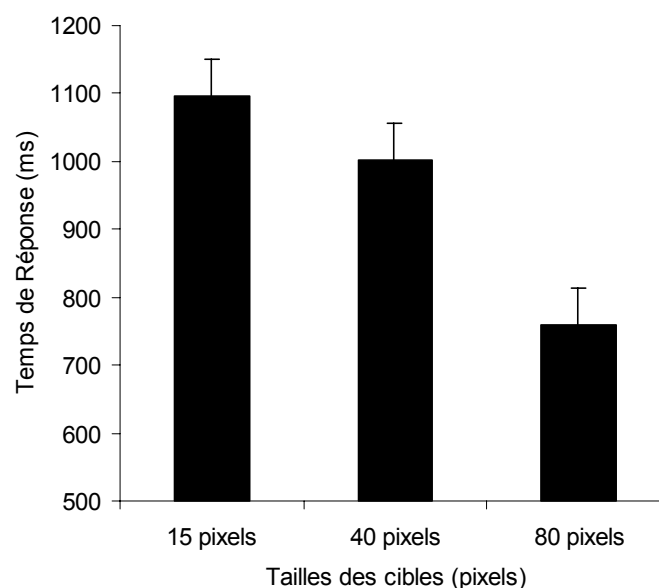


Figure 20: Temps de Réponse (ms) pour les participants âgés inactifs en fonction de la taille des cibles à pointer. Les barres représentent l'erreur standard.

L'analyse a également révélé une diminution significative des Temps de Réponse avec les blocs de pratique ($F(7,105) = 104.547$; $p < .0001$; $\eta^2 = .875$), ainsi qu'une interaction Blocs de pratique X Taille des cibles ($F(14,105) = 2.732$; $p < .005$; $\eta^2 = .267$; $P = .99$). Cette interaction provient, comme on peut le voir sur la figure n°21, des Temps de Réponse concernant les cibles de 15 et 40 pixels très élevés en début de pratique et à leur forte diminution lors des deux premiers blocs de pratique.

L'interaction Blocs de pratique X Probabilités ($F(28,420) = 2.967$; $p < .0001$; $\eta^2 = .165$) indique que la réduction des Temps de Réponse avec la pratique était d'autant plus forte que les niveaux de probabilités étaient élevés. Toutefois, et ceci est essentiel à notre propos, la triple interaction Blocs de pratique X Probabilités X Taille des cibles ($F(56,420) = 1.363$; $p < .05$; $\eta^2 = .154$; $P = .99$) nous indique que ce patron de réduction n'est exact que pour les participants dans la condition de pointage sur les cibles de 80 pixels. Des ANOVAs séparées sur les trois groupes de participants ont révélé une interaction significative entre le facteur Blocs de pratique et le facteur Probabilités ($F(28,140) = 3.237$; $p < .0001$) uniquement pour le groupe en Condition Très Facile (cibles de 80 pixels). Comme le montre la figure n°21C, les Temps de Réponse des participants de ce groupe ont plus diminué pour les cibles dont la localisation était déterministe ($p1$) ou probable ($p.7$; $p.8$ et $p.9$) que pour les cibles dont la localisation était parfaitement aléatoire ($p.5$). Concernant les deux autres groupes (fig. 20 A et B), comme nous l'avons déjà vu lors de la première expérience, l'évolution de leurs Temps de Réponse avec la pratique était tout à fait similaire quelle que soit la probabilité d'apparition de la cible (tous les $p > .05$). Il apparaît ainsi que seuls les participants âgés inactifs placés dans la Condition Très Facile (cibles de 80 pixels) ont utilisé les probabilités afin de diminuer, avec la pratique, leurs Temps de Réponse.

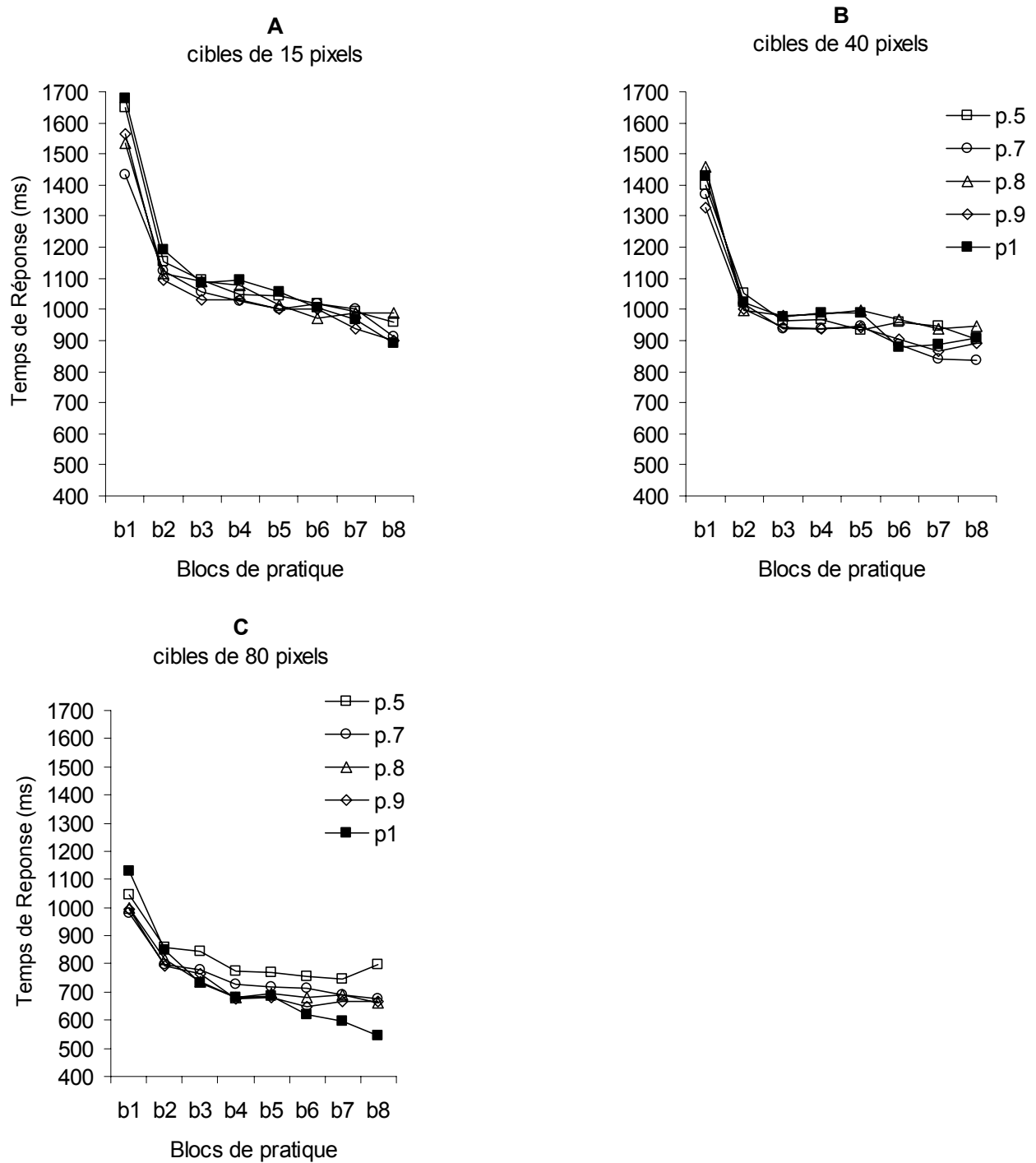


Figure 21: évolution des Temps de Réponse (ms) avec la pratique en fonction des probabilités, pour les participants âgés inactifs en Condition Difficile (A), en Condition Facile (B) et en Condition Très Facile (C).

● Index de Rectitude

L'analyse a révélé un effet significatif du facteur principal Blocs de pratique ($F(7,105) = 15.451$; $p < .0001$; $\eta^2 = .507$), indiquant que les mouvements de pointage étaient de plus en plus rectilignes au fil des essais.

L'interaction entre les facteurs Blocs de pratique et Probabilités indique que l'amélioration de cet Index de Rectitude avec la pratique n'était pas équivalent en fonction des probabilités d'apparition des cibles ($F(28,420) = 1.528$; $p < .05$; $\eta^2 = .092$; $P = .98$). Comme nous pouvons le voir sur la figure n° 22, pour tous les groupes de participants, la rectitude des mouvements de pointage sur la cible d'occurrence *p1* était plus faible en début de pratique que celle des autres niveaux de probabilités et s'est sensiblement plus améliorée avec la pratique. Toutefois, des contrastes répétés planifiés ont révélé que cette interaction provenait d'une part, de l'évolution différente de l'Index de Rectitude pour les cibles d'occurrence *p.8* et *p.9* entre les blocs 5 et 6 et, d'autre part, de l'évolution différente de l'Index de Rectitude pour les cibles d'occurrence *p.7* et *p.8* entre les blocs 6 et 7.

L'analyse n'a révélé aucun autre effet significatif. Dans l'ensemble, la rectitude des mouvements de pointage était similaire pour tous les groupes de participants. Bien que l'interaction entre les facteurs Blocs de pratique et Probabilités soit significative, il n'apparaît pas que les participants aient réellement utilisé les probabilités afin d'améliorer la rectitude de leurs mouvements de pointage.

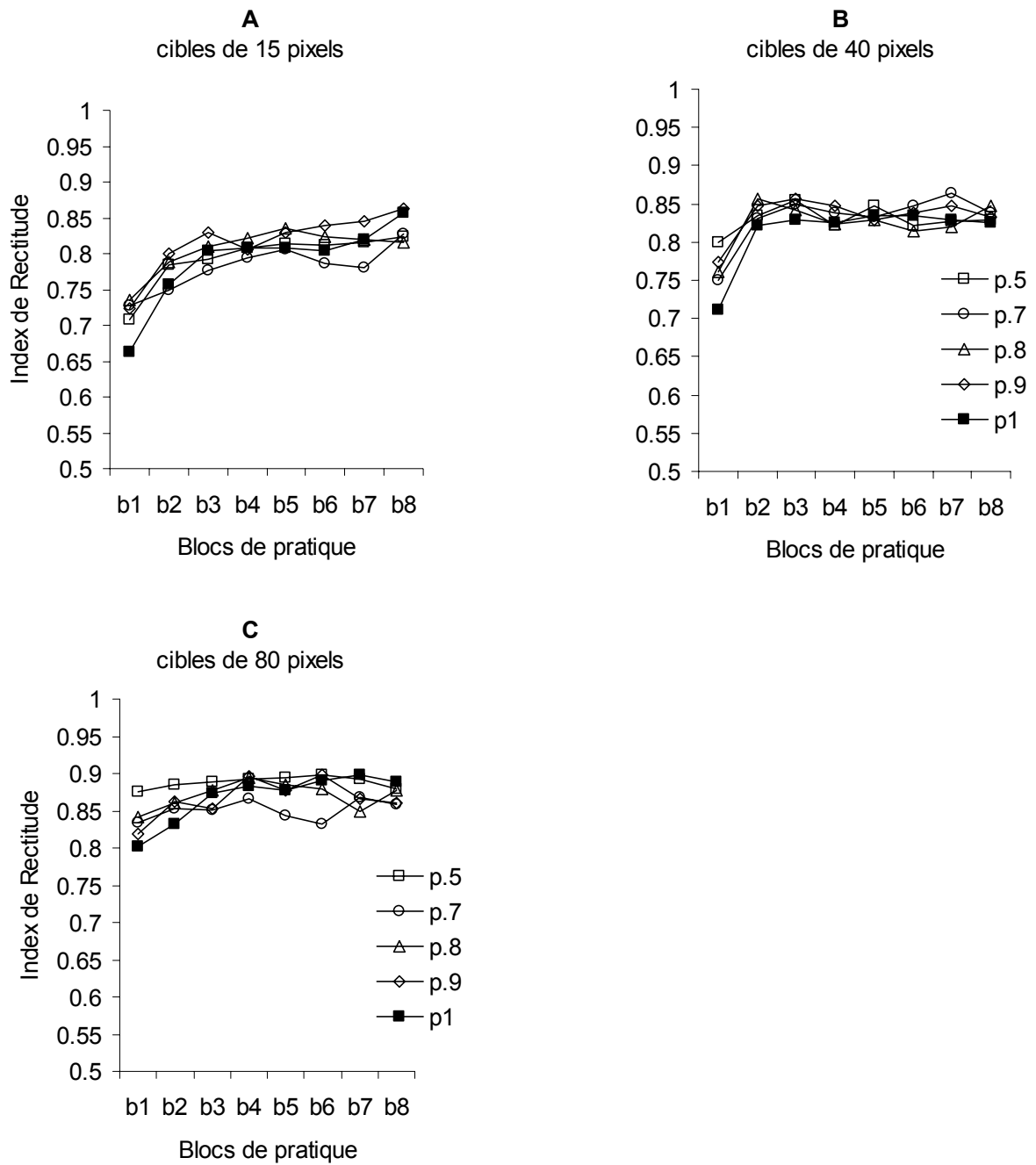


Figure 22 : évolution de l'Index de Rectitude des mouvements de pointage avec la pratique pour les participants âgés inactifs en Condition Difficile (A), en Condition Facile (B) et en Condition Très Facile (C).

3.2 Mesures explicites

3.2.1 Questionnaire

Comme lors de la première expérience, l'analyse du questionnaire post-expérimental avait pour objectif d'évaluer les connaissances explicites des participants concernant les régularités dans les successions de localisation de la cible.

Si tous les participants de cette expérience ont déclaré avoir perçu des régularités lors de la tâche de pointage, aucun n'a découvert les règles probabilistes régissant l'apparition des cibles. Les participants en Condition Très Facile (cibles de 80 pixels) n'ont pas semblé capables de mieux décrire les régularités présentes dans la tâche que leurs homologues en Condition Facile (cibles de 40 pixels) et en Condition Difficile (cibles de 15 pixels). Comme le montre le tableau 7, les résultats sont similaires pour tous les groupes de participants.

Tableau 7: résultats des réponses au questionnaire en fonction des conditions de pointage.

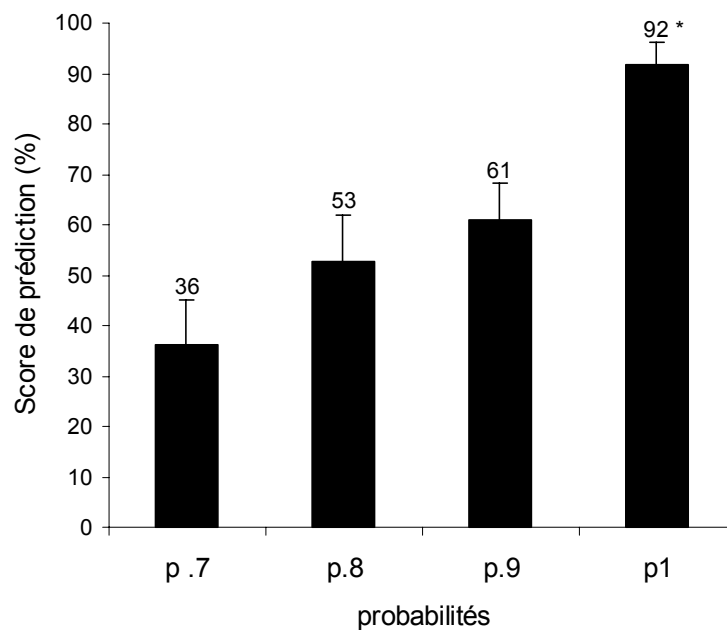
<i>Catégories de réponses</i>	<i>Taille des cibles</i>	<i>OUI</i>	<i>NON</i>
Perception de régularités	15 pixels	6	0
	40 pixels	6	0
	80 pixels	6	0
Dernière cible	15 pixels	2	4
	40 pixels	3	3
	80 pixels	2	4
Séquences	15 pixels	3	3
	40 pixels	4	2
	80 pixels	3	3

3.2.2 Rappel

Comme lors de la première expérience, cette tâche avait pour rôle d'estimer les connaissances explicites qu'avaient les participants des régularités utilisées dans la tâche de pointage. L'analyse de ce test a porté sur les prédictions correctes des participants. Les scores de prédictions transformés en arc-sinus ont été analysés par une ANOVA impliquant le

facteur Taille des cibles (15 pixels ; 40 pixels ; 80 pixels) comme facteur inter groupe et le facteur Probabilités ($p.7$; $p.8$; $p.9$; $p1$) comme facteur intra-sujet à mesures répétées.

Cette analyse a révélé un effet significatif du facteur Probabilités ($F(3,45) = 10.907$; $p < .0001$; $\eta^2 = .421$; $P = .99$). Comme le montre la figure n°21, le pourcentage de prédictions correctes des participants de cette expérience augmentait avec l'augmentation de la force des probabilités. Toutefois, les participants n'ont prédit correctement de manière consistante que la probabilité $p1$. Les scores de prédiction des autres probabilités ne se différencient pas significativement les uns des autres.



*Figure 23 : Scores de prédiction (%) lors de la tâche de rappel en fonction des probabilités, pour les participants âgés inactifs. Les barres représentent l'erreur standard. L' * signifie que le score est significativement différent du hasard (i.e. de 50%).*

Notons que les scores de prédiction en fonction des probabilités ne se différencient pas en fonction des groupes de participants ($p > .05$). Ainsi, la taille des cibles à pointer n'a pas eu d'effet significatif sur le pourcentage de prédictions correctes. Nous présentons dans le tableau 8 les Scores de prédiction en fonction des probabilités pour les 3 groupes de participants.

Tableau 8 : moyenne et écart-type des scores de prédictions (%) en fonction des probabilités et de la taille des cibles, lors de la tâche de rappel.

<i>Probabilités</i>	<i>p.7</i>	<i>p.8</i>	<i>p.9</i>	<i>p1</i>
<i>Conditions de pointage</i>				
Difficile (15 pixels)	8.33±20.4	58.33±37.6	50±31.6	83.33±25.8
Facile (40 pixels)	58.33±37.6	50±31.6	91.67±20.4	100±0
Très Facile (80 pixels)	41.67±49.1	50±44.7	41.67±37.6	91.66±20.4

4. Discussion

L'objectif de cette expérience était de déterminer si la complexité d'exécution des réponses lors de la tâche de pointage était responsable de l'absence d'apprentissage des associations probabilistes des participants âgés inactifs manifestée au cours de la première expérience. En d'autres termes, il s'agissait de vérifier si des personnes âgées sédentaires pouvaient manifester un apprentissage lors de la tâche de pointage dans des conditions où l'exécution des mouvements de pointage était très facile. Afin de répondre à cette question, de nouveaux participants âgés inactifs ont réalisé la même tâche d'apprentissage que lors de la première expérience, mais la taille des cibles qu'ils devaient pointer était 2 fois plus grande que celle de la condition dite facile de la première expérience (i.e., 80 pixels).

Dans cette condition, dite très facile, de pointage sur des cibles très grandes, les participants âgés inactifs ont clairement montré un apprentissage des associations probabilistes, notamment en terme de vitesse des réponses. Avec la pratique, leurs Temps de Réponse se sont considérablement plus améliorés pour les cibles dont la localisation était déterministe (*p1*) que pour les cibles dont la localisation était probable (dont les Temps de Réponse ne se différenciaient pas entre eux). La diminution des Temps de Réponse pour ces cibles probables était également supérieure à celle concernant les cibles dont la probabilité d'apparition était purement aléatoire (*p.5*, fig. 21). A l'opposé, et comme nous l'avons déjà vu, les participants âgés inactifs placés en condition facile (cibles de 40 pixels) ou difficile (cibles de 15 pixels) n'ont manifesté aucun apprentissage de ces associations probabilistes lors de la tâche de pointage (fig. 21).

Ce résultat implique que si les conditions d'exécution des réponses lors de la tâche d'apprentissage sont très faciles, les personnes âgées sédentaires manifestent un apprentissage des associations probabilistes. A l'inverse, lorsque ces conditions d'exécution sont plus difficiles, cet apprentissage ne peut pas se manifester. Une telle interprétation confirme notre hypothèse et apporte une validation empirique au postulat défendu par Harrington et Haaland (1992). Rappelons que dans leur étude, Harrington et Haaland (1992) n'avaient pas manipulé directement la complexité des réponses lors de la tâche d'apprentissage. Dans notre expérience, différents niveaux de complexité des réponses (définie objectivement à travers l'Indice de Difficulté de Fitts, 1954) ont permis de rendre compte de l'importance de la complexité des réponses à fournir dans le vieillissement des capacités d'apprentissage d'une nouvelle habileté. Il semble bien que la complexité d'exécution des réponses soit responsable de l'utilisation ou non des régularités probabilistes lors de la tâche de pointage. Ce résultat nous paraît très important car, d'un point de vue théorique, il suggère que le problème fondamental des difficultés d'apprentissage liées au vieillissement n'est pas confiné à la complexité du contenu à apprendre mais est également en relation avec les contraintes d'exécution de la tâche à travers lesquelles cet apprentissage doit se manifester. D'un point de vue plus pratique, il permet d'envisager que l'aménagement des conditions d'exécution d'une tâche particulière pourrait permettre de réduire considérablement les difficultés qu'éprouvent les personnes âgées dans l'apprentissage d'une nouvelle habileté. Il est ainsi plausible de penser que les personnes âgées sont capables, au même titre que des adultes jeunes, de tirer bénéfice des régularités présentes dans l'environnement, mais que cette connaissance ne se manifeste pas dans leur comportement parce que les conditions de réalisation de la tâche sont trop contraignantes.

Les résultats au questionnaire post-expérimental et à la tâche de rappel nous ont permis de voir que tous les participants, quelle que soit leur condition de pointage, ne se différenciaient pas dans les mesures explicites de l'apprentissage. Si tous les participants ont déclaré avoir *perçu* des régularités dans l'apparition des cibles lors de la tâche de pointage, aucun n'a été en mesure de pouvoir les décrire. Il apparaît que leur connaissance à ce sujet était très limitée et impossible à verbaliser. Néanmoins, lors de la tâche de rappel, les scores de prédiction des participants étaient d'autant meilleurs que la probabilité d'apparition de la cible était élevée (fig. 23). Ces scores de prédictions n'étaient toutefois supérieurs au hasard que pour la dernière alternative la plus simple ($p1$). Encore une fois, aucune différence en fonction des groupes n'est apparue. Dans cette tâche de rappel, où les contraintes temporelles

liées à la production de la réponse étaient absentes, la taille des cibles à pointer n'a joué aucun rôle sur les scores de prédiction. Ce résultat semble conforter l'hypothèse que les contraintes d'exécution des mouvements lors de la tâche de pointage étaient bien responsables des différences d'apprentissage obtenues.

Les résultats de cette deuxième expérience ont donc montré que, chez des personnes âgées sédentaires, l'apprentissage des régularités probabilistes lors de la tâche de pointage est fortement dépendant de la complexité des procédures d'exécution des réponses à fournir. L'apprentissage ne peut s'exprimer que si les conditions de réalisation de la tâche sont très faciles (i.e., sur des cibles de très grande taille ; 80 pixels). Il est plausible que les fortes contraintes qu'impose la difficulté d'exécution des mouvements de pointage sur les cibles petites (15 pixels) et grandes (40 pixels), augmentent les demandes attentionnelles nécessaires à la réussite de l'action et limitent ainsi leur capacité à utiliser des informations pertinentes d'une autre nature, même après une pratique intensive. Cette interprétation est en conformité avec plusieurs études ayant montré que le contrôle moteur des personnes âgées est attentionnellement plus coûteux que celui des adultes jeunes (e.g., Chen *et al.*, 1996 ; Maylor & Wing, 1996 ; Sparrow *et al.*, 2002). Par exemple, comme nous l'avons vu, Li *et al.* (2001) ont montré que les personnes âgées avaient plus de difficulté que des adultes jeunes à mémoriser une liste de mots tout en effectuant un parcours pédestre, notamment lorsque la tâche motrice était complexe. Dans cette condition, les sujets âgés accordaient une priorité à la tâche motrice au détriment de la tâche de mémorisation. Il est possible que le même processus se soit mis en place lors de notre tâche de pointage. Enfin, dans notre étude, lors de la tâche de rappel, l'absence de réelles contraintes liées à la production de la réponse, a permis à tous les participants d'exprimer une connaissance, même partielle, de ces régularités probabilistes. Dans cette condition, les participants inactifs placés en conditions facile et difficile (alors qu'ils n'avaient démontré aucun apprentissage lors de la tâche de pointage) ne se différenciaient pas des participants inactifs placés en condition très facile.

Dans l'ensemble, les résultats de cette expérience s'accordent avec le point de vue de Salthouse (1991 ; 1996) et Willingham (1998) qui stipulent que lorsque les conditions d'exécution ne contraignent pas la cadence des réponses, les personnes âgées ne révéleraient pas de difficultés particulières d'apprentissage. Nous pouvons rajouter que, dans des conditions où la vitesse des réponses est exigée, réduire fortement la complexité d'exécution de la tâche, permettrait également de réduire les difficultés d'apprentissage éprouvées par les personnes âgées.

Pour conclure, la confrontation des résultats de nos deux premières expériences révèle que la pratique régulière d'activité physique a une influence bénéfique sur le vieillissement des capacités d'apprentissage d'une nouvelle habileté motrice à fortes contraintes spatio-temporelles. Les participants âgés actifs ont démontré un apprentissage des associations probabilistes équivalent à celui d'adultes jeunes dans des conditions où les participants âgés inactifs n'y parvenaient pas. Pour démontrer un tel apprentissage, les participants âgés inactifs devaient être placés dans des conditions où l'exécution des réponses requises était très facile. Toutefois, lorsque l'on supprime la contrainte temporelle liée à la production de la réponse (comme lors de la tâche de rappel), l'effet de l'activité physique disparaît. Ce constat semble indiquer que la relation entre l'activité physique et le vieillissement des fonctions cognitives et sensori-motrices est dépendante de la tâche utilisée. Pour Chodzko-Zajko et Moore (1994) et Hawkins *et al.* (1992), les effets de l'activité physique sont plus susceptibles d'apparaître dans des tâches qui requièrent des traitements rapides ou "cognitivement coûteux" que dans des tâches qui peuvent être exécutées à allure personnelle. Dans ce sens, Kramer *et al.* (2002) proposent d'examiner cette question dans de futures études en variant la priorité accordée à la précision ou à la vitesse des réponses exigées. C'est ce que nous nous proposons de faire dans la prochaine expérience.

CHAPITRE VI

EXPERIENCE 3

1. Objectifs

Les deux premières expériences du présent travail ont montré que la pratique régulière d'activité physique chez la personne âgée avait une influence bénéfique sur les capacités d'apprentissage d'une nouvelle habileté motrice. Cet effet bénéfique de l'activité physique était sélectif aux personnes âgées et s'exprimait lorsque les conditions de réalisation de la tâche étaient particulièrement contraignantes (exécution motrice difficile ou pression temporelle). Comme le proposent Chodzko-Zajko et Moore (1994) et Hawkins *et al.* (1992), il est possible que la relation entre l'activité physique et le vieillissement des fonctions cognitives et sensori-motrices soit restreinte à ce type de situations où la cadence des réponses est exigée. Nous pensons également que la complexité d'exécution des mouvements de pointage lors de l'expérience 1 a joué un rôle fondamental dans le blocage de l'expression de l'apprentissage des associations probabilistes concernant la population d'adultes âgés inactifs. Lors des deux premières expériences, l'expression de cet apprentissage était fortement dépendante de l'exécution motrice de la tâche. Les participants âgés actifs, certainement moins affectés par la difficulté des mouvements de pointage que leurs homologues inactifs, ont pu exprimer cet apprentissage dans des conditions pour lesquelles les participants âgés inactifs n'y parvenaient pas. L'objectif de cette nouvelle expérience est d'examiner si les résultats obtenus lors de nos précédentes expériences peuvent être généralisés à une situation d'apprentissage de type résolution de problème sans pression temporelle.

Afin de répondre à cet objectif, nous avons utilisé le même dispositif expérimental que lors des deux premières expériences présentées. Toutefois, dans cette expérience, les participants ne devaient plus répondre le plus rapidement et le plus précisément possible à l'apparition de la cible, mais ils devaient prédire sa localisation future sur la base de sa localisation actuelle. Ils étaient ainsi placés dans une situation de type résolution de problème (Newell & Simon, 1972). Dans cette tâche, les participants étaient explicitement informés de

l'objectif de l'expérience et de la nature des connaissances à acquérir. Ce contexte correspond à un mode d'apprentissage dit sélectif (explicite) proposé par Hayes et Broadbent (1988), au sens où les participants opéreraient consciemment une sélection de variables et formuleraient des hypothèses sur leurs co-variations. Ainsi, les participants étaient confrontés à une situation dans laquelle ils devaient émettre et tester explicitement des hypothèses afin de trouver la localisation de la cible prévue à un essai. Ce contexte d'apprentissage s'oppose à celui des deux premières expériences où ni l'objectif direct de la tâche, ni la présence de régularités n'étaient communiqués aux participants. Dans ce contexte, les participants étaient alors engagés dans un mode d'apprentissage dit non-sélectif (Hayes & Broadbent, 1988), basé sur l'extraction non dirigée des régularités présentes dans la tâche. Ce type d'apprentissage était alors qualifié d'implicite (Seger, 1994). Nous avons vu dans le chapitre I.2.2.1 (p. 26 à 29) que les tâches impliquant un apprentissage explicite s'accompagnent généralement d'un déficit d'apprentissage lié à l'âge (voir Howard & Howard, 2001 ; Kausler, 1994). Ces tâches, qui impliquent la mémoire déclarative et requièrent un souvenir conscient et explicite dépendant de stratégies de recherche active en mémoire, sont particulièrement sensibles aux effets de l'âge. Parallèlement, nous avons vu que le bénéfice de la pratique d'activité physique est particulièrement prononcé pour ce type de tâche (Chodzko-Zajko, 1991 ; Chodzko-Zajko *et al.*, 1992 ; Clarkson-Smith & Hartley, 1989 ; 1990 ; Elsayed *et al.*, 1980). Dans cette logique, les participants âgés de cette expérience devraient démontrer un déficit d'apprentissage pour cette tâche comparativement aux adultes jeunes mais la pratique d'activité physique devrait réduire ce déficit lié à l'âge.

Dans cette expérience, la tâche des participants consistait à prédire et désigner la future localisation spatiale de la cible sans qu'aucune pression temporelle quant à la décision à prendre ne leur soit imposée. A partir de leur emplacement actuel sur une cible centrale (voir fig. 24, p. 120), les participants devaient décider quelle des deux cibles placées immédiatement après à droite ou à gauche était la cible correcte pour cette alternative. Une fois leur choix fait, ils devaient pointer cette cible avec le stylet sur la tablette graphique. L'apprentissage des associations probabilistes était principalement mesuré par un score de prédiction, indépendant de la rapidité de la réponse. Nous faisons l'hypothèse que, dans cette tâche, l'apprentissage des associations probabilistes sera essentiellement indépendant de la complexité d'exécution des réponses (i.e., de la taille des cibles) puisque l'extraction des régularités (et donc le choix de la cible à prédire) se produira avant l'exécution du mouvement de pointage. Comme nous l'avons rappelé plus haut, nous pensons que cette complexité

d'exécution des réponses motrices représentait le principal facteur responsable des différences liées à la pratique d'activité physique chez les participants âgés lors de la tâche de pointage de la première expérience. Si les effets de la pratique d'activité physique concernent principalement l'efficacité des processus sensori-moteurs, alors nous pouvons faire l'hypothèse que, dans cette nouvelle expérience, son influence se manifestera sur l'exécution des mouvements de pointage, mesurée par les TM mais pas sur l'apprentissage des associations probabilistes, mesuré par les scores de prédiction.

Il s'agit donc dans cette expérience, d'examiner si les participants se différencient, en fonction de l'âge et de la pratique d'activité physique, dans leur capacité à apprendre les associations probabilistes afin de prédire avec de plus en plus de précision la cible correcte. L'analyse des scores de prédictions correctes nous permettra d'apprécier le degré d'apprentissage de ces associations probabilistes ainsi que les stratégies utilisées par les participants. La manipulation de la taille des cibles à pointer nous permettra d'apprécier l'effet de la complexité des réponses à produire sur l'évolution des performances des différents groupes de participants, notamment en terme de vitesse des réponses (Temps de Décision et Temps de Mouvement).

2. Méthode

2.1 Participants

Quarante-huit personnes (25 hommes et 23 femmes) n'ayant participé à aucune des deux premières expériences ont été recrutées : 24 adultes âgés ayant en moyenne 68,4 ans (e.t. = 4,2) et 24 adultes jeunes ayant en moyenne 21,8 ans (e.t. = 2,6). Les participants ont été repartis en 4 groupes indépendants (âgés actifs ; âgés inactifs ; jeunes actifs ; jeunes inactifs) sur la base de leur âge et de leurs réponses au Questionnaire d'identification et à la version française du questionnaire d'activité physique MAQ (Modifiable Activity Questionnaire ; Kriska, 1997 ; Vuillemin *et al.*, 1999 ; voir annexe 3). Le tableau 9 présente les caractéristiques des participants par groupe d'âge et d'activité.

Tableau 9: caractéristiques des participants. APS : Activités Physiques et Sportives ; MET : Metabolic EquivalenT ; WAIS III : Weschler Adult Intelligence Scale version III.

<i>Caractéristiques</i>	<i>Agés actifs (n=12)</i>	<i>Jeunes actifs (n=12)</i>	<i>Agés inactifs (n=12)</i>	<i>Jeunes inactifs (n=12)</i>
âge (années)	69.1 ±5.3	22.3 ±3.3	68 ±5	21.2 ±1.8
études (années)	13.58 ±1.7	14.9 ±0.5	13.92 ±1.7	15.4 ±1.2
h. d'APS/semaine	6.3 ±3.6	8.2 ±2.9	—	—
METs	35.6 ±19.7	65.8 ±19.8	—	—
Mill-Hill (partie B)	39.4 ±3.4	32.1 ±3.7	37.9 ±3.9	35.8 ±2.5
Code (WAIS III)	63.6 ±11.1	88.2 ±13.9	59.1 ±14.1	90.2 ±7.2

Lors d'une première session, tous les participants ont répondu au Questionnaire d'identification ainsi qu'au questionnaire d'activité physique MAQ. Dans cette expérience, nous avons utilisé la version française du questionnaire MAQ. L'intérêt de ce questionnaire est que sa validité et sa fiabilité ont été déjà démontrées par ailleurs (voir Kriska, 1997 ; Vuillemin *et al.*, 1999). De plus il offre l'opportunité de pouvoir quantifier plus précisément l'activité physique pratiquée régulièrement par les participants que celui que nous avons développé pour les deux premières expériences. Les heures par semaine pour toutes les activités physiques pratiquées au cours de l'année passée ont été additionnées pour obtenir un indicateur exprimé en heures d'APS pratiquées par semaine. Après avoir multiplié le nombre d'heures par semaine pour chaque activité pratiquée par son coût énergétique estimé (en MET), un indicateur de dépense énergétique est obtenu, exprimé en METs- heure par semaine. Pour estimer les valeurs énergétiques en METs de chaque activité physique pratiquée par nos participants actifs, nous avons utilisé les valeurs publiées par Ainsworth et ses collaborateurs (Ainsworth, Haskell, Leon *et al.*, 1993 ; Ainsworth, Haskell, Whitt *et al.*, 2000).

A la fin de la deuxième session d'expérimentation, les participants ont réalisé le test du Code (Digit Symbol Substitution Test, DSST) de la WAIS- III (Weschler Adult Intelligence Scale ; Wechsler, 2000) et ont ensuite rempli la partie B du test de vocabulaire du Mill-Hill. Le test du Code fait appel à la vitesse de traitement, la coordination motrice, la mémoire à court terme ainsi que la perception visuelle. Il consiste en une série de 12 chiffres, associés chacun à un symbole simple. En utilisant un stylo, le sujet remplit une feuille en faisant correspondre les symboles avec les chiffres. Le sujet doit recopier le maximum de symboles

en 2 minutes. Le test de vocabulaire du Mill-Hill est un test standard de vocabulaire reflétant fidèlement les capacités d'intelligence cristallisée. Dans ce test, le sujet doit souligner, dans une liste de 6 mots, celui qui a la même signification que le mot cible. Ce test n'est pas chronométré. Les données issues de ces tests nous permettront d'estimer l'intégrité et l'homogénéité du fonctionnement neuropsychologique des participants.

Il apparaît que les adultes jeunes ont effectué plus d'années d'études que les adultes âgés ($F(1,44) = 13.3$; $p < .001$; $\eta^2 = .232$; $P = .95$). Le nombre d'années d'études est équivalent pour les actifs et les inactifs, que ce soit au niveau général ou à l'intérieur de chaque groupe d'âge (tous les $p > .05$). Comme on peut le voir dans le tableau 9, les participants âgés avaient un meilleur score de vocabulaire que les participants jeunes ($F(1,44) = 23.907$; $p < .0001$; $\eta^2 = .352$; $P = .99$). De plus, les participants âgés actifs ont montré de meilleurs scores de vocabulaire que les participants âgés inactifs, alors que pour les groupes de participants jeunes ce patron de résultats est inversé ($F(1,44) = 7.175$; $p < .01$; $\eta^2 = .14$; $P = .75$). Les participants jeunes ont recopié plus de symboles dans le temps imparti que les participants âgés ($F(1,44) = 65.686$; $p < .0001$; $\eta^2 = .599$). Pour ces deux tests, les résultats de chaque participant sont dans la norme et les différences entre jeunes et âgés sont conformes à celles rapportées dans la littérature (Grégoire, 1993 ; Lupinacci *et al.*, 1993). Enfin, en ce qui concerne les groupes de participants actifs, il n'apparaît pas de différence dans le nombre d'heures d'APS pratiquées par semaine en fonction de l'âge ($p > .05$). Toutefois, ces activités physiques étaient énergétiquement plus coûteuses (METs) pour les participants jeunes que pour les participants âgés ($F(1,22) = 19.973$; $p < .001$; $\eta^2 = .388$; $P = .95$).

2.2 Matériel et stimuli

Le matériel et les stimuli utilisés lors de cette expérience étaient les mêmes que ceux de l'expérience 1 (voir fig.4, p.64). La seule différence résidait dans le mode d'apparition des stimuli. Comme pour l'expérience 1, la taille des cibles à pointer pouvait être (en fonction des conditions) de 15 pixels (ID = 4.5) ou de 40 pixels (ID = 3). Les localisations successives des cibles à pointer étaient régies selon exactement les mêmes conditions que lors des deux précédentes expériences.

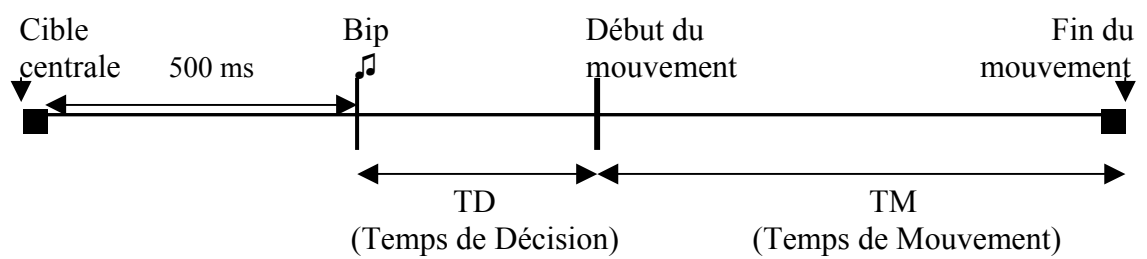
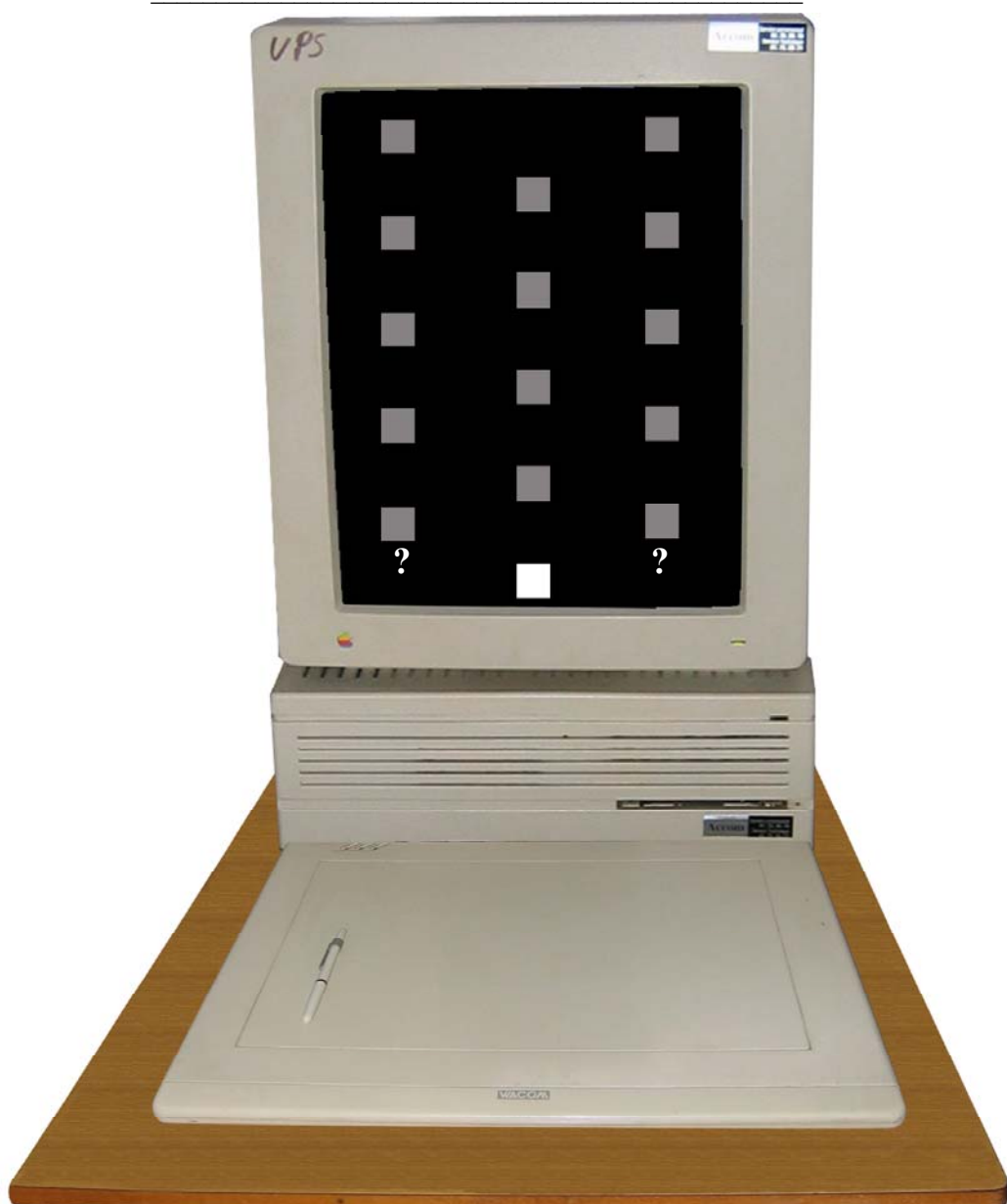


Figure 24 : Schéma du dispositif expérimental (en haut) et représentation schématique d'une réponse (en bas).

2.3 Tâches

L'expérience était divisée en deux parties : la tâche de prédiction, suivie d'un questionnaire post-expérimental.

Tâche de prédiction :

La tâche des participants consistait à deviner la localisation dans laquelle la cible devait apparaître sur la base de son emplacement actuel (cible centrale). La tâche est apparentée à un jeu, dans lequel il s'agit de chercher où est cachée la cible. Les participants étaient instruits qu'ils devaient trouver quelle des deux cibles situées immédiatement après à droite ou à gauche de la cible centrale sur laquelle ils sont va s'allumer. Les participants désignaient la localisation qu'ils pensaient être la bonne en la pointant sur la tablette selon les mêmes modalités que lors des deux expériences précédentes. La cible désignée par les participants ne s'allumait que si c'était celle effectivement prévue. Une fois la bonne cible pointée, la cible centrale suivante s'allumait et les participants devaient la pointer et garder le stylet à l'intérieur. Après un délai de 500 ms, un bip sonore leur signalait alors qu'ils devaient choisir entre les deux cibles suivantes, immédiatement à droite ou à gauche de la cible centrale, quelle était la cible prévue, et ainsi de suite jusqu'à la dixième cible à choisir (n°14 ou 15).

Questionnaire post-expérimental :

Une fois la tâche de prédiction terminée, lors de la deuxième session, les participants répondaient à un questionnaire post-expérimental (annexe 4). Ce questionnaire avait pour objectif d'apprécier le degré de verbalisation des régularités découvertes ainsi que les stratégies de résolution du problème employées.

2.4 Procédure

La moitié des participants de chaque groupe d'âge (jeunes, âgés) et de chaque groupe de niveau d'activité physique (actifs, inactifs) a été assignée aléatoirement à la condition de pointage facile (ID = 3), et l'autre moitié à la condition de pointage difficile (ID= 4.5).

L'expérience était répartie sur deux sessions. La seconde session se déroulait 24 heures ou 48 heures après la première. Nous avons séparé l'expérience en deux sessions compte tenu de la durée, très longue, de l'expérience. Chaque session durait entre 70 et 100 minutes en fonction des participants. Lors de la première session, les participants répondaient au questionnaire d'identification ainsi qu'au questionnaire d'activité physique MAQ. Ensuite l'expérimentateur leur expliquait la tâche et leur lisait les consignes. Les participants exécutaient alors les 176 premiers essais de la tâche de prédiction. Lors de la seconde session, les participants exécutaient les 176 derniers essais de la tâche de prédiction après que l'expérimentateur leur ait relu les consignes. Une fois la tâche de prédiction terminée, les participants répondaient au questionnaire post-expérimental. Ensuite ils réalisaient successivement le test du Code et la partie B du test de vocabulaire du Mill-Hill.

Pour tous les participants, la Tâche de prédiction impliquait exactement les mêmes séquences d'apparition des cibles que lors des deux expériences précédentes. Les participants devaient pointer la première cible centrale illuminée (colorée en blanc sur la figure n ° 24). Après un délai de 500 ms, un signal sonore (bip) retentissait et les participants devaient choisir et pointer une des deux cibles situées immédiatement à gauche (n°2) ou à droite (n°3) de la cible centrale. Une fois la cible correcte pointée, elle s'allumait et immédiatement après, la cible centrale suivante (n°4) s'allumait. Les participants devaient pointer le stylet dessus et attendre le signal sonore (500 ms après le pointage) pour prendre leur décision et pouvoir pointer la cible suivante de leur choix (n°5 ou n° 6), et ainsi de suite jusqu'à la dernière cible (n°14 ou n°15). Si les participants quittaient la cible centrale avant le signal sonore, la cible suivante prévue ne s'allumait pas. Ils devaient alors re-pointer le stylet sur la cible centrale et attendre le bip.

Les participants étaient instruits que les successions d'apparition des cibles suivaient une règle logique qu'ils devaient découvrir afin d'améliorer leurs prédictions. Ils étaient informés que leur tâche consistait à faire le moins d'erreur de prédiction possible et qu'ils n'avaient aucune contrainte de temps pour faire leur choix. Simplement, une fois leur choix fait, ils devaient pointer la cible choisie le plus vite et le plus précisément possible.

2.5 Mesures et analyses :

Lors de la Tâche de prédiction, le matériel permettait de collecter les Temps de Décision (TD) et les Temps de Mouvement (TM) des participants, ainsi que les trajectoires

des mouvements de pointage. Les TD correspondent au temps (en ms) qui sépare le retentissement du signal sonore (bip) et l'initiation du mouvement (soulever du stylet et parcours de 10 pixels). Notons que ces TD ne correspondent pas réellement à des TR puisque les participants n'ont pas pour instruction de réagir le plus rapidement possible au retentissement du bip. Ils correspondent au temps alloué par le participant à la prise de décision de la cible à pointer ainsi qu'au déclenchement du mouvement. De plus, il faut tenir compte du fait que chaque bip était précédé d'une "période préparatoire" fixe de 500 ms. Nous avons imposé cette période de 500 ms parce que, dans ce genre de tâche, les sujets ont tendance à ne pas arrêter leur mouvement sur la cible centrale et à effectuer les différents pointages sur les cibles successives de manière continue. Les TM correspondent au temps (en ms) qui sépare la fin du TD et le pointage correct de la cible choisie par les participants, que cette cible soit effectivement celle prévue à cet essai ou pas. Afin d'illustrer clairement le mode de recueil des données, nous avons représenté sur la figure 24 le schéma type d'une réponse. Le matériel collectait également durant les mouvements de pointages les coordonnées en x et en y du stylet. Cependant, des problèmes techniques ne nous ont pas permis de pouvoir exploiter les données de positions en fonction du temps.

Nous avons calculé, pour chaque participant, un Score de prédiction, qui correspond à la proportion de choix d'une cible en fonction de sa probabilité absolue d'apparition. Notre intérêt se porte ici, non pas sur la réussite ou l'échec lors d'un essai n , mais sur le choix du participant en fonction de la probabilité absolue d'apparition de la cible choisie. Nous considérons ainsi une prédiction correcte lorsque le participant a choisi la cible la plus probable (i.e., celle dont la probabilité absolue d'apparition est la plus élevée), et une prédiction incorrecte lorsqu'il a choisit la cible la moins probable.

Le mode de calcul des Scores de prédiction était le suivant:
pour chaque alternative,

- 1 point si la cible choisie était la plus fréquente (i.e., celle dont la probabilité absolue d'apparition était la plus élevée : $p.7$ ou $p.8$, ou $p.9$ ou $p1$)
- 0 point si la cible choisie était la moins fréquente (i.e. celle dont la probabilité absolue d'apparition était la plus faible : $p.3$ ou $p.2$, ou $p.1$ ou $p0$)

Concernant la première alternative ($p.5$ vs. $p.5$), nous avons arbitrairement choisi la cible n°2 (gauche) comme référence (1 point si cette cible était choisie, 0 si c'était la n°3) afin de pouvoir caractériser si le choix du participant était aléatoire ou s'il avait tendance à "préférer" une cible plutôt qu'une autre. Nous avons ensuite moyenné ces scores en fonction de chaque

probabilité par bloc de 44 essais, obtenant ainsi la proportion de choix du participant pour chaque cible (i.e., Score de prédiction compris entre 0 et 1).

Concernant les TD et les TM, comme pour les Scores de prédiction, nous sommes intéressés par le temps mis par le participant pour décider quelle cible il choisit et par le temps mis pour la pointer, indépendamment du fait que cette cible soit celle effectivement apparue à cet essai ou pas. Ainsi, pour le mode de calcul des TD et des TM, nous avons tout d'abord regroupé les données pour chaque alternative (i.e. *p.1* et *p.9* ; *p.2* et *p.8* ; *p.3* et *p.7* ; *p.0* et *p.1* ; *p.5* et *p.5*). Nous avons ensuite filtré ces données afin d'exclure celles qui étaient supérieures de 3 écart-types à la moyenne des TD ou des TM du bloc concerné. Nous avons enfin moyenné les TD et les TM en fonction de chaque "niveau de probabilité" (i.e. *p.5* ; *p.7* ; *p.8* ; *p.9* ; *p.1*) par bloc de 44 essais.

Les variables dépendantes que nous avons utilisées pour analyser nos données étaient :

- pour la Tâche de prédiction :
 - les TD en ms
 - les TM en ms
 - les Scores de prédictions (proportion ; de 0 à 1)
- pour le Questionnaire post-expérimental :
 - nous examinerons les réponses des participants, concernant la description des régularités lors de la tâche de prédiction et les stratégies de résolution de problème qu'ils ont utilisées.

Comme nous l'avons mentionné, à la différence des deux expériences précédentes, cette expérience s'est déroulée en deux sessions sur 2 jours. Nous n'avons pas d'hypothèse spécifique concernant l'effet de la session sur les différences d'apprentissage en fonction des groupes expérimentaux. Une question qui peut être posée consiste à savoir si le facteur session (session 1 ; session 2) a eu un effet différent sur l'évolution des performances avec la pratique en fonction des groupes de participants. Dans une première analyse nous avons ainsi examiné si l'effet du facteur session sur l'évolution des performances (scores de prédiction, TD, TM) en fonction des blocs de pratique était équivalent pour tous les participants. Cette analyse a consisté, pour chaque variable dépendante, en une ANOVA impliquant les facteurs Groupe d'âge (âgés vs. jeunes), Activité physique (actifs vs. inactifs) et Taille des cibles (grande vs. petite) comme facteurs inter-groupe, et Session (session 1 ; session 2), Blocs de pratique (1 à 8) et Probabilités (*p.5* ; *p.7* ; *p.8* ; *p.9* ; *p.1*) comme facteurs intra-sujet à mesures

répétées. Cette analyse n'a révélé aucune interaction impliquant les facteurs Session, Blocs de pratique et groupes de participants (tous les $F < 1$). L'effet du facteur session sur l'évolution des performances en fonction des blocs de pratique était équivalent pour tous les groupes expérimentaux. En conséquence, les analyses que nous allons présenter dans ce chapitre ne prennent pas en compte le facteur Session.

Les mesures de Scores de prédiction, de TD et de TM de chaque participant ont été moyennées en fonction des 5 niveaux de probabilités retenus sur 44 essais constituant un bloc, pour un total de 8 blocs de pratique.

Concernant toutes les analyses statistiques, le seuil de signification α retenu a été fixé à 0,05. Pour les analyses de variance, lorsque le test de sphéricité n'était pas satisfait, nous avons utilisé les probabilités ajustées de Huynh-Feldt.

3. Résultats

3.1 Tâche de prédiction

3.1.1 Scores de prédiction

Les Scores de prédiction transformés en arc-sinus ont été analysés avec une ANOVA impliquant les facteurs Groupe d'âge (âgés vs. jeunes), Activité physique (actifs vs. inactifs) et Taille des cibles (grande vs. petite) comme facteurs inter-groupe, et Blocs de pratique (1 à 8) et Probabilités ($p.5$; $p.7$; $p.8$; $p.9$; $p.1$) comme facteurs intra-sujet à mesures répétées. Notons que toutes les figures seront présentées avec les Scores de prédiction bruts.

Dans l'ensemble, comme le montre la figure 25, les participants jeunes ont obtenu des Scores de bonnes prédictions supérieurs à ceux des participants âgés ($F(1,40) = 5.372$; $p < .05$; $\eta^2 = .118$; $P = .62$).

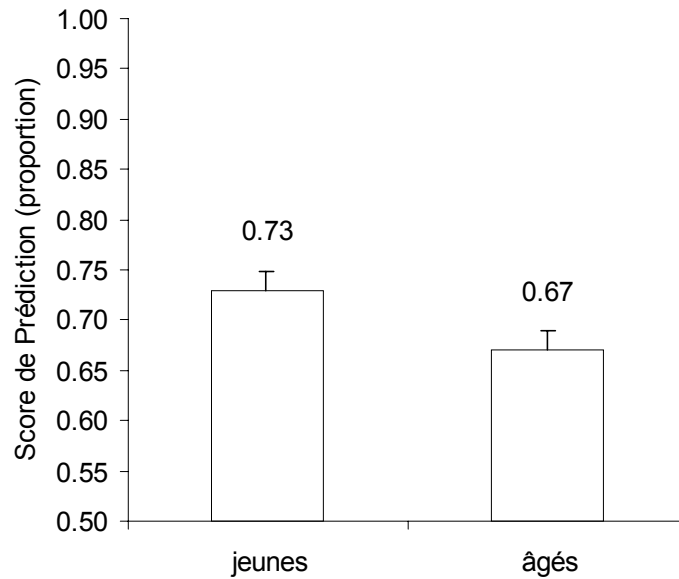


Figure 25. Scores de prédiction (proportion) pour les participants jeunes et âgés. Les barres représentent l'erreur standard.

L'analyse a révélé un effet du facteur Blocs de pratique ($F(7,280) = 77.04$; $p < .0001$; $\eta^2 = .658$), indiquant que les Scores de prédiction s'amélioraient au cours des essais. Il apparaît également que la proportion de prédictions correctes augmentait de manière quasiment linéaire avec l'augmentation de la probabilités d'apparition de la cible ($F(4,160) = 120.798$; $p < .0001$; $\eta^2 = .751$). Comme le montre la figure 26, tous les participants prédisaient d'autant mieux la cible correcte que sa probabilité d'apparition était élevée. Des contrastes planifiés ont montré que tous les scores de prédiction en fonction des probabilités se différencient les uns des autres (tous les $p < .05$).

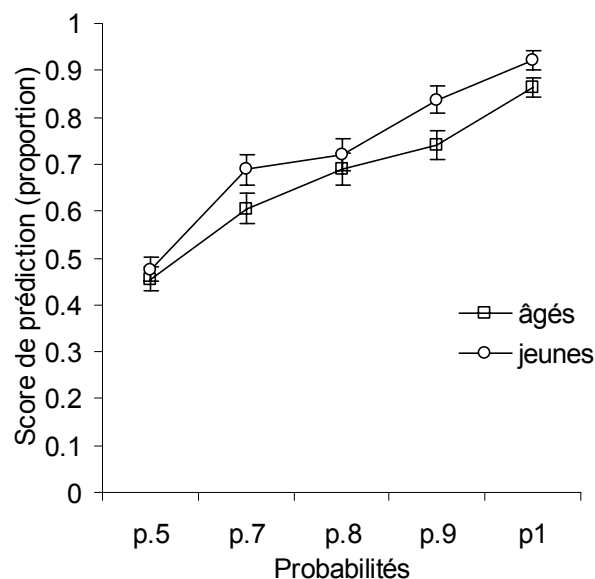


Figure 26. Scores de prédiction (proportion) en fonction des probabilités pour les participants jeunes et âgés. Les barres représentent l'erreur standard.

L'analyse a montré une interaction entre les facteurs Blocs de pratique et Groupe d'âge ($F(7,280) = 3.834$; $p < .005$; $\eta^2 = .087$; $P = .92$), indiquant que, dans l'ensemble, les participants jeunes ont plus amélioré leurs Scores de prédiction avec la pratique que les participants âgés. Les écarts entre jeunes et âgés augmentaient avec la pratique. L'analyse a également révélé une interaction entre les facteurs Blocs de pratique et Probabilités ($F(28,1120) = 17.509$; $p < .0001$; $\eta^2 = .304$), confirmant que l'amélioration des Scores de prédiction avec la pratique était d'autant plus forte que la probabilité d'apparition de la cible était élevée. Il apparaît notamment qu'il n'y avait aucune évolution des Scores de prédiction avec la pratique pour la condition aléatoire ($p.5$). Les scores de prédiction concernant cette alternative sont restés stables tout au long de la pratique autour de 50% de prédictions correctes.

L'évolution des scores de prédiction avec la pratique en fonction des probabilités d'apparition de la cible a varié en fonction des deux groupes d'âge ($F(28,1120) = 2.859$; $p < .0001$; $\eta^2 = .067$). Comme le montre la figure n° 27, les scores de prédiction des participants âgés ont atteint une asymptote assez rapidement notamment pour les niveaux de probabilités les plus faibles ($p.7$ et $p.8$). Leurs Scores de prédiction pour ces alternatives se sont stabilisés dès le troisième ou le quatrième bloc de pratique. En revanche, les Scores de prédiction des participants jeunes continuaient de s'améliorer tout au long de la pratique, pour tous les niveaux de probabilités (sauf pour $p.5$ bien entendu). Il semble également que les participants jeunes aient détecté plus rapidement la régularité déterministe ($p1$) que les participants âgés.

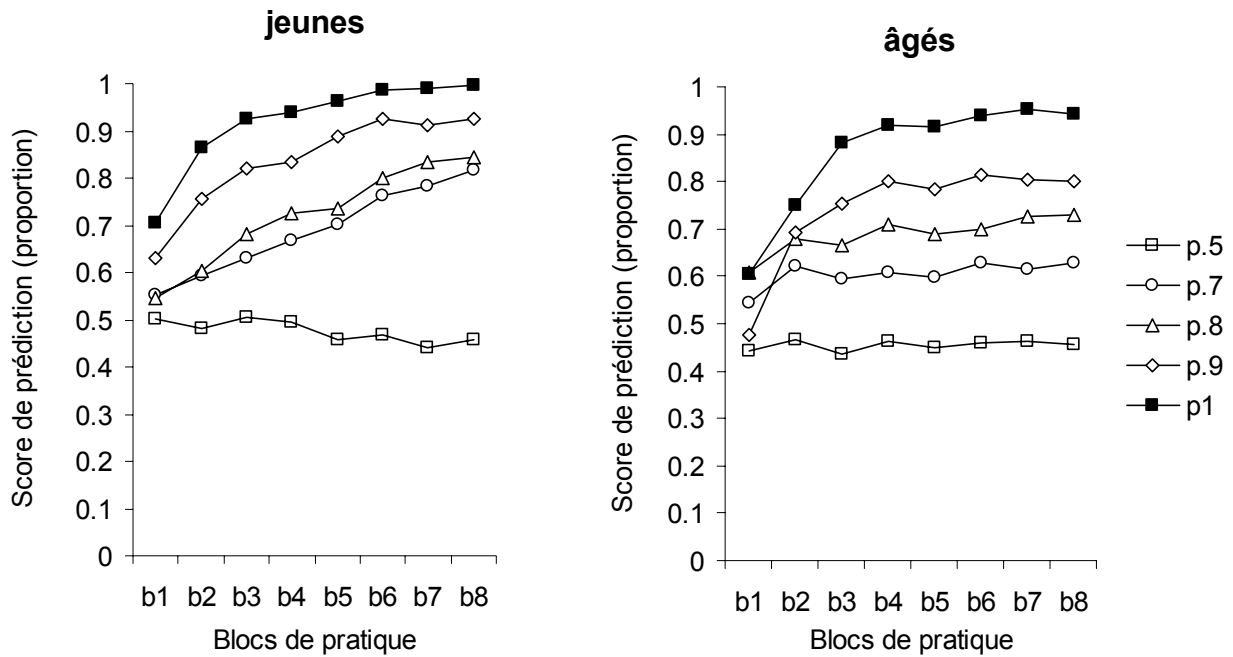


Figure 27 : évolution des Scores de prédiction (proportion) avec la pratique en fonction des probabilités pour les participants jeunes (à gauche) et âgés (à droite).

L'analyse n'a révélé aucun autre effet significatif des facteurs manipulés. Il faut noter que les facteurs Taille des cibles et Activité physique n'ont eu aucun effet sur les Scores de prédiction ou sur leur évolution avec la pratique. A titre indicatif nous avons représenté sur les figures n° 28a et 28b, l'évolution des Scores de prédiction avec la pratique en fonction des probabilités, pour tous les groupes de participants en fonction de la taille des cibles.

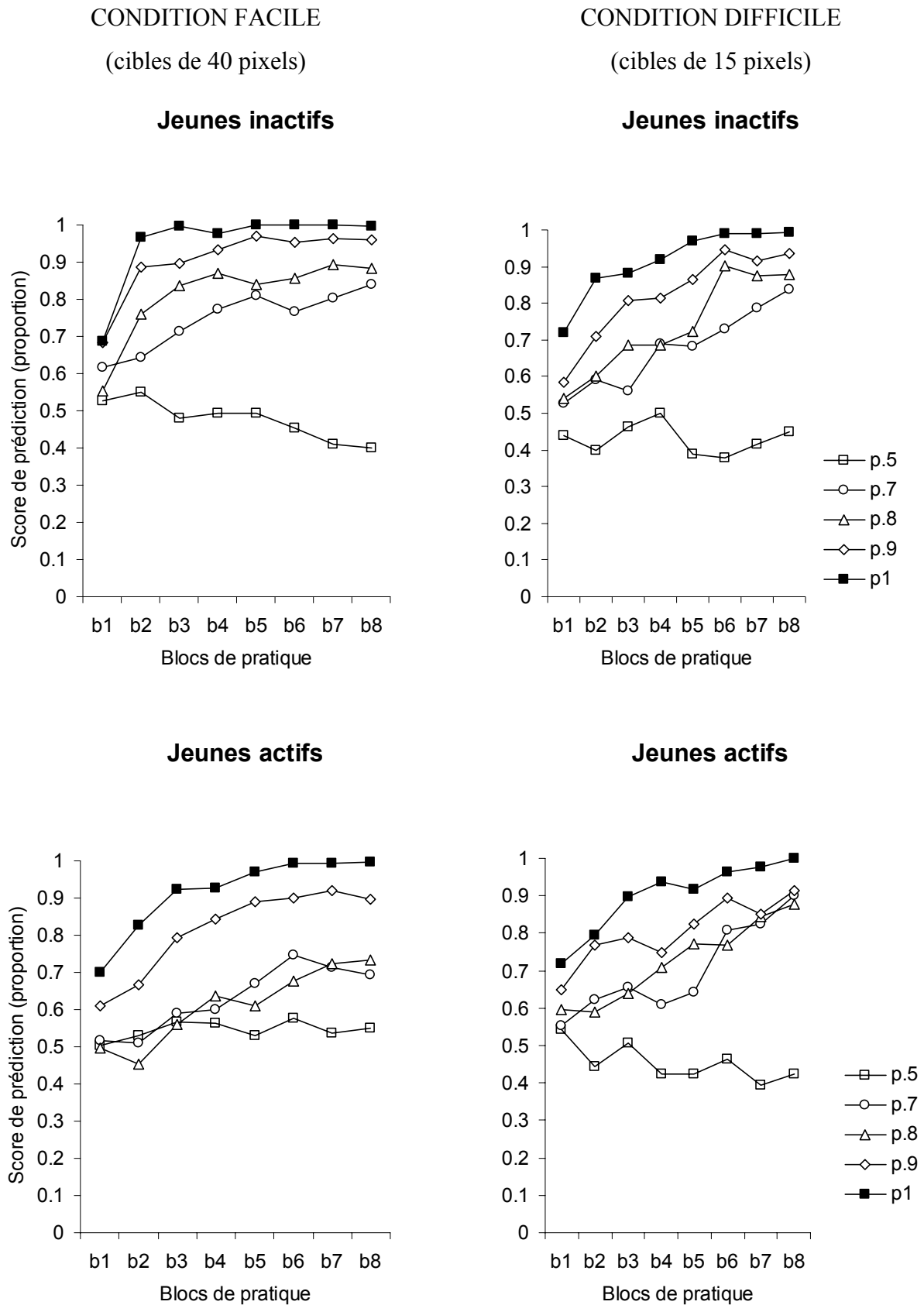


Figure 28a : évolution des Scores de prédiction avec la pratique en fonction des probabilités et de la taille des cibles, pour les participants jeunes inactifs (en haut) et jeunes actifs (en bas).

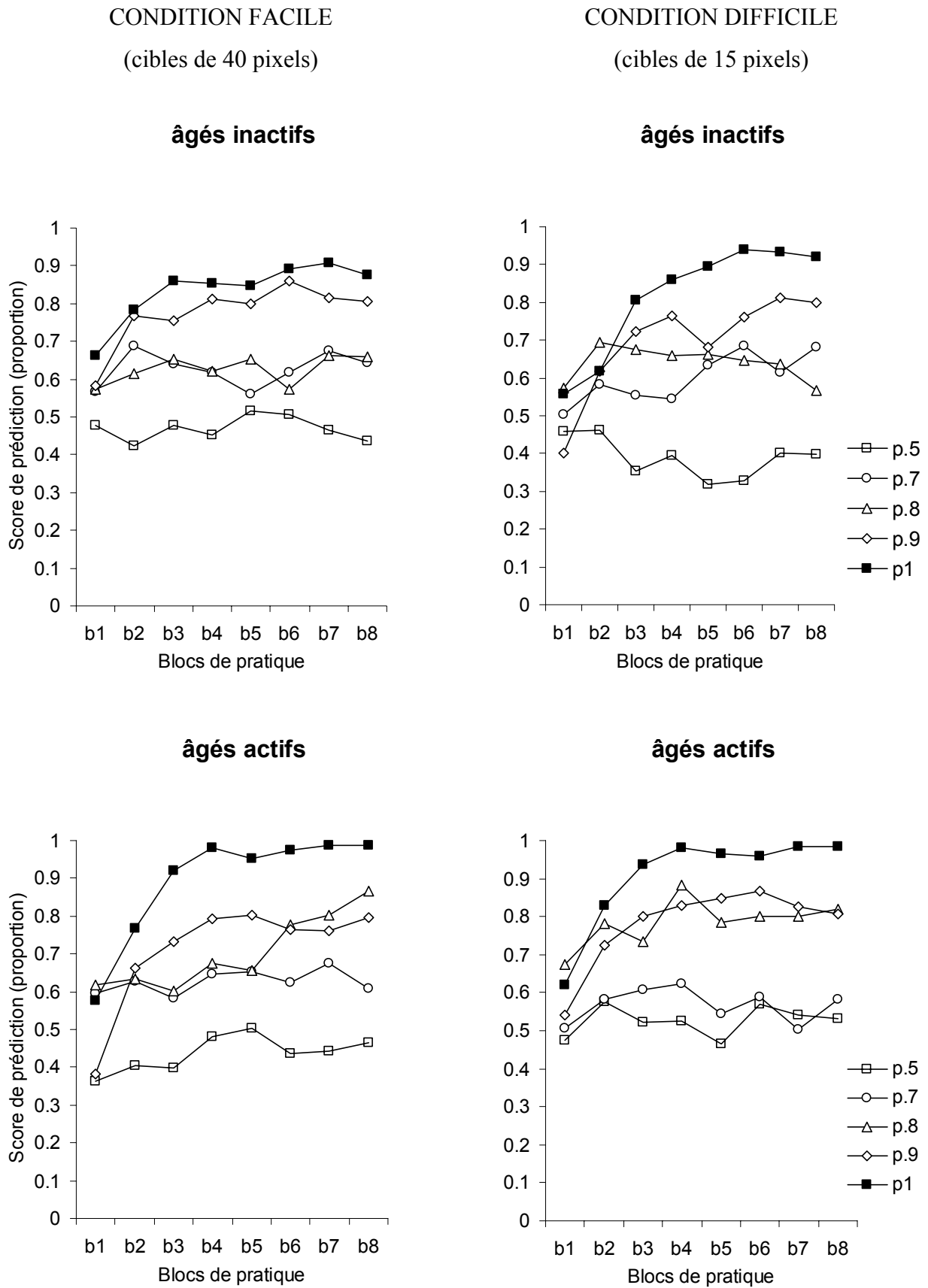


Figure 28b: évolution des Scores de prédiction avec la pratique en fonction des probabilités et de la taille des cibles, pour les participants âgés inactifs (en haut) et âgés actifs (en bas).

Pour résumer, les résultats ont montré que les Scores de prédiction des participants s'amélioraient d'autant plus que la cible à prédire avait une probabilité élevée d'apparition. Les participants jeunes ont continuellement amélioré leurs prédictions tout au long de la pratique alors que les participants âgés ont assez rapidement stabilisé leurs performances à un niveau inférieur à celui des jeunes, notamment pour les probabilités faibles (*p.7* et *p.8*). La difficulté des mouvements de pointage ainsi que le fait de pratiquer ou non une activité physique régulière n'ont eu aucun effet sur les scores de prédiction.

Le fait que les participants jeunes ne cessent d'augmenter leurs scores de prédictions correctes (tendant ainsi à choisir systématiquement la cible la plus probable), alors que les participants âgés ont plus ou moins stabilisé leur scores de prédiction à certaines valeurs, reflète peut-être une différence de stratégie entre les deux groupes d'âge. En effet, dans ce type de tâche, un participant qui a détecté les régularités dans les différentes localisations des cibles, peut décider de choisir systématiquement la plus probable, adoptant ainsi une stratégie *maximaliste*. Par exemple, pour la cible d'occurrence *p.7*, il peut décider de choisir systématiquement la plus probable, acceptant de "se tromper" 3 fois sur 10. Il est également possible, qu'ayant détecté que certaines cibles apparaissent plus souvent que d'autres, il adapte sa réponse, il ajuste son choix à la probabilité réelle d'apparition de la cible. Autrement dit, il ne choisit pas systématiquement la cible la plus probable, mais le plus souvent, adoptant ainsi une stratégie *optimale*. Dans ce cas, pour la cible d'occurrence *p.7*, il aura tendance à choisir la cible la plus probable 7 fois sur 10 et donc à choisir la moins probable 3 fois sur 10. Nous allons examiner cette question dans la prochaine section.

3.1.2 Ecart relatif à la probabilité réelle d'apparition

Afin d'examiner si les participants avaient tendance à choisir systématiquement la cible la plus probable ou s'ils ajustaient leur choix en fonction de sa probabilité d'apparition, nous avons analysé, pour chaque probabilité, les écarts entre la proportion de choix du participant et la probabilité réelle d'apparition de la cible. Pour cela, nous avons fait la différence entre la proportion de choix du participant et la probabilité réelle d'apparition de la cible. Nous nommerons cette différence écart relatif. Un écart négatif signifie que le participant a choisi une cible moins souvent que sa fréquence d'apparition réelle. Un écart positif, à l'inverse, signifie que le participant a choisi une cible plus souvent que sa fréquence

d'apparition réelle. Un écart nul (0) signifie que le participant a parfaitement ajusté son choix à la fréquence d'apparition de la cible.

L'analyse des écarts relatifs a consisté en une ANOVA impliquant les facteurs Groupe d'âge (âgés vs. jeunes), Activité physique (actifs vs. inactifs) et Taille des cibles (grande vs. petite) comme facteurs inter-groupe, et Blocs de pratique (1 à 8) et Probabilités ($p.5$; $p.7$; $p.8$; $p.9$; $p.1$) comme facteurs intra-sujet à mesures répétées.

Dans l'ensemble, les participants jeunes ont produit des écarts relatifs ($M = -0,051 \pm 0,09$) plus proches de 0 que ceux des participants âgés ($M = -0,11 \pm 0,08$), $F(1,40) = 4.591$; $p < .05$; $\eta^2 = .103$; $P = .55$. Les écarts relatifs de tous les participants se sont rapprochés de 0 avec la pratique ($F(7,280) = 59.252$; $p < .0001$; $\eta^2 = .597$). L'analyse a également révélé que les écarts relatifs par rapport à 0 étaient d'autant plus grands que la probabilité d'apparition de la cible était élevée ($F(4,160) = 4.068$; $p < .005$; $\eta^2 = .092$; $P = .91$). Ce résultat est normal puisqu'en début de pratique, ils répondaient "au hasard".

L'interaction Blocs de pratique X Probabilités ($F(28,1120) = 10.822$; $p < .0001$; $\eta^2 = .213$) indique que l'évolution avec la pratique des écarts relatifs n'était pas équivalente en fonction des différentes probabilités d'apparition de la cible. Comme on peut le voir sur la figure 29, dans l'ensemble, les écarts relatifs étaient en début de pratique, d'autant plus éloignés de 0 que la probabilité de la cible était élevée (ce qui est normal), et ont eu tendance à s'homogénéiser autour de 0 en fin de pratique.

L'analyse a également révélé une triple interaction Blocs de pratique X Probabilités X Groupe d'âge ($F(28,1120) = 3.052$; $p < .0001$; $\eta^2 = .071$), indiquant que l'évolution avec la pratique des écarts relatifs en fonction des probabilités d'apparition de la cible n'était pas équivalente pour les deux groupes d'âge.

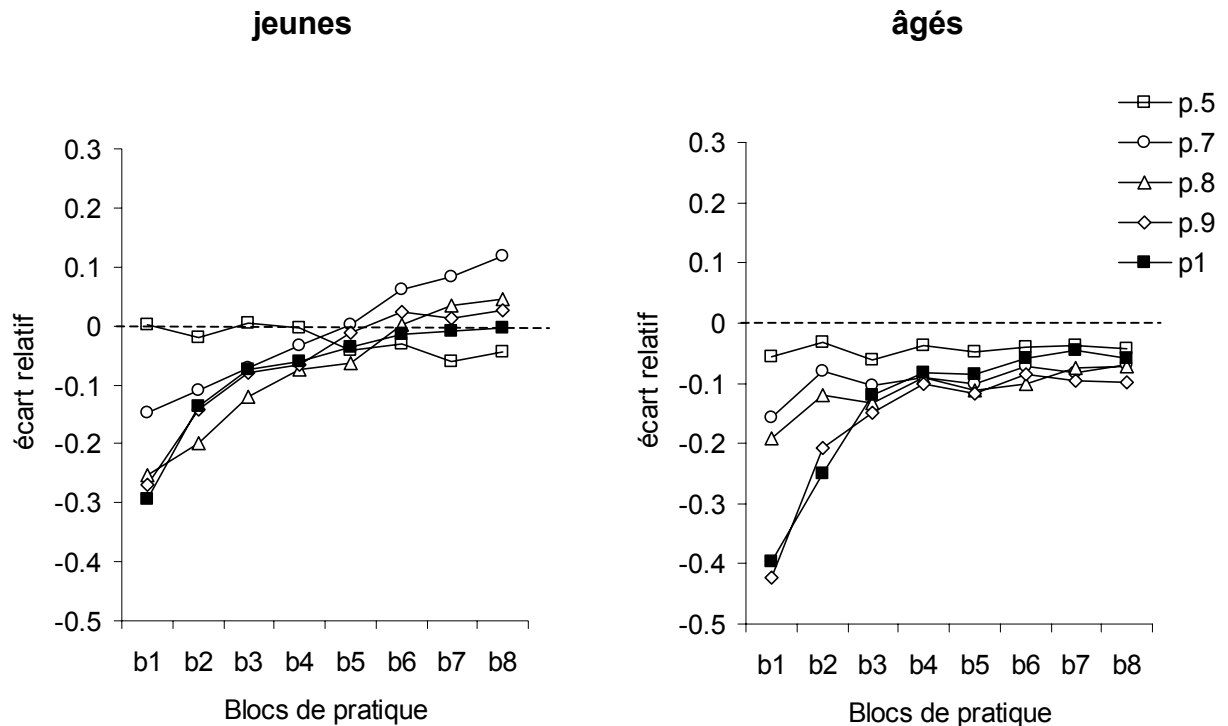


Figure 29 : Evolution des écarts relatifs avec la pratique en fonction des probabilités pour les participants jeunes (à gauche) et âgés (à droite).

La figure 29 montre que les écarts relatifs par rapport à 0 des participants jeunes pour les cibles probables diminuaient tout au long de la pratique pour devenir positifs en fin de pratique. En d'autres termes, il semble que les participants jeunes avaient tendance, avec la pratique, à choisir de plus en plus systématiquement la cible la plus probable, s'approchant ainsi de la logique *maximaliste*. Par exemple, au dernier bloc de pratique, ils ont choisi près de 9 fois sur 10 la cible dont la probabilité d'apparition était de *p.7*. Les participants âgés avaient, en début de pratique, des écarts relatifs absolus pour les deux alternatives les plus probables (*p.9* et *p.1*) plus élevés que ceux des participants jeunes. Avec la pratique, leurs écarts relatifs pour tous les niveaux de probabilité se sont stabilisés entre - 0,1 et - 0,05. Leurs écarts relatifs n'ont jamais été positifs. Même en fin de pratique, ils n'ont jamais choisi aussi souvent une cible que sa probabilité réelle d'apparition.

L'analyse n'a révélé aucun autre effet significatif.

3.1.3 Temps de Décision et Temps de Mouvement

Une première analyse des résultats concernant les mesures de TD et de TM des participants a montré que les variances étaient très hétérogènes. De plus, l'inspection graphique des données a montré que la variance ainsi que l'écart-type des données étaient

proportionnels à la moyenne des données. Ce genre de problème se rencontre fréquemment, notamment lorsque l'on compare l'évolution des performances de participants dont le niveau de performance initial est très différent. Suite aux recommandations de Roberts et Russo (1999), une transformation logarithmique des TD et des TM afin d'égaliser les variances des groupes de participants, a été utilisée dans l'analyse des données (voir Harrington & Haaland, 1992 pour une procédure identique). Les $\log$ TD ainsi que les $\log$ TM ont été analysés avec une MANOVA impliquant les facteurs Groupe d'âge (âgés vs. jeunes), Activité physique (actifs vs. inactifs) et Taille des cibles (grande vs. petite) comme facteurs inter-groupe, et Blocs de pratique (1 à 8) et Probabilités ($p.5$; $p.7$; $p.8$; $p.9$; $p1$) comme facteurs intra-sujet à mesures répétées. Notons que nous présenterons les graphiques des données brutes.

- **Temps de Décision**

L'analyse a révélé un effet significatif des facteurs principaux Groupe d'âge ($F(1,40) = 50.362$; $p < .0001$; $\eta^2 = .557$), Probabilités ($F(4,160) = 51.037$; $p < .0001$; $\eta^2 = .561$) et Blocs de pratique ($F(7,280) = 98.968$; $p < .0001$; $\eta^2 = .712$). Ces résultats indiquent que les TD étaient globalement plus élevés pour les participants âgés ($M = 493 \pm 280$ ms) que pour les participants jeunes (222 ± 87 ms) et qu'ils ont diminué avec la pratique pour tous les participants. De plus, les TD étaient d'autant plus courts que la probabilité d'apparition de la cible était élevée. Des comparaisons par paires (Bonferroni) ont révélé que les TD pour les conditions aléatoire ($p.5$) et déterministe ($p1$) étaient significativement différents des TD de toutes les autres alternatives. Les TD des conditions probabilistes ne se différenciaient pas entre eux ($p > .05$). La moyenne et l'écart-type des TD en fonction des probabilités sont présentés dans le tableau 10.

Tableau 10 : moyenne et écart-type des TD (ms) en fonction des probabilités.

<i>probabilités</i>	<i>.5</i>	<i>.7</i>	<i>.8</i>	<i>.9</i>	<i>1</i>
moyenne	424.66	370.33	363.14	342.10	288.18
écart-type	320.23	248.11	246.74	216.21	164.82

Notons que l'analyse a révélé une interaction marginale entre les facteurs Groupe d'âge et Activité physique ($F(1,40) = 3.525$; $p = .068$; $\eta^2 = .081$; $P = .45$), indiquant que les TD des participants âgés inactifs étaient plus longs que ceux de leurs homologues actifs alors que les TD des participants jeunes actifs et inactifs ne se différenciaient pas entre eux.

L'interaction Blocs de pratique X Groupe d'âge ($F(7,280) = 5.199$; $p < .001$; $\eta^2 = .115$; $P = .96$) indique que les participants âgés ont globalement plus diminué leurs TD avec la pratique que les participants jeunes. L'interaction Blocs de pratique X Probabilités ($F(28, 1120) = 3.631$; $p < .0001$; $\eta^2 = .083$) indique que les TD ont plus diminué pour les cibles dont la localisation était probable que pour les cibles dont la localisation était aléatoire.

La figure n° 30, montre que la différence dans les TD en fonction des probabilités était plus prononcée pour les participants âgés que pour les participants jeunes ($F(4,160) = 7.66$; $p < .0001$; $\eta^2 = .161$; $P = .99$), notamment pour les deux conditions extrêmes ($p.5$ et $p1$). En d'autres termes, les participants âgés ont plus réduit leurs TD en fonction des probabilités que les participants jeunes. Les TD des participants jeunes étaient très courts pour tous les niveaux de probabilités. Ce résultat suggère que les participants jeunes prenaient certainement leur décision concernant la cible à pointer avant même que ne retentisse le bip. Toutefois, pour les deux groupes d'âge, les TD étaient significativement plus longs pour la condition aléatoire ($p.5$) que pour toutes les autres conditions et plus courts pour la condition déterministe ($p1$) que pour toutes les autres conditions. Il apparaît ainsi que plus l'incertitude concernant la localisation de la cible était grande, plus les différences dans les TD entre jeunes et âgés étaient importantes.

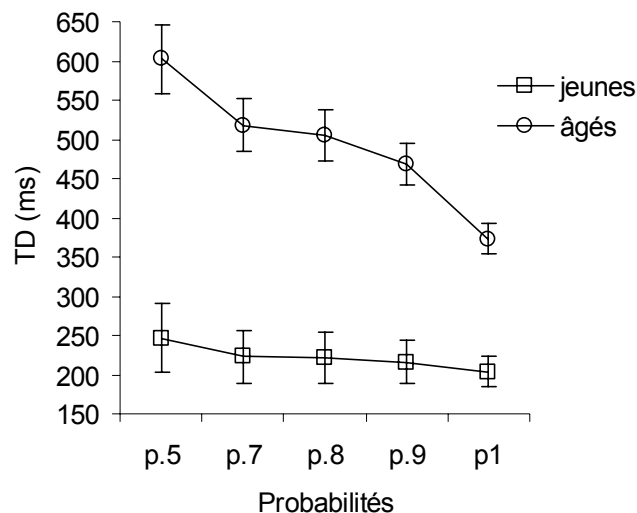


Figure 30. TD (ms) en fonction des probabilités d'occurrence de la cible pour les participants jeunes et âgés. Les barres représentent l'erreur standard.

Enfin, la triple interaction Blocs de pratique X Probabilités X Groupe d'âge indique que l'évolution des TD avec la pratique en fonction des probabilités d'apparition de la cible

n'était pas équivalente pour les deux groupes d'âge ($F(28, 1120) = 2.518$; $p < .005$; $\eta^2 = .059$; $P = .99$).

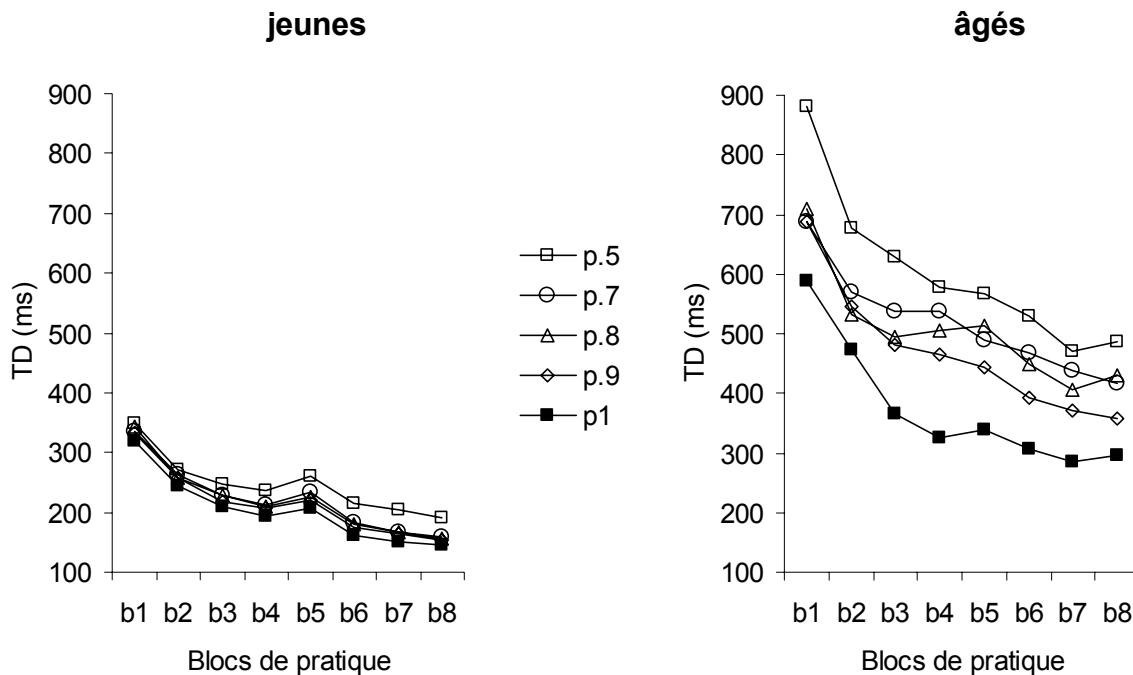


Figure 31 : évolution des TD (ms) avec la pratique en fonction des probabilités pour les participants jeunes (à gauche) et âgés (à droite).

La figure 31 montre que les TD des participants jeunes étaient similaires pour tous les niveaux de probabilités en début de pratique mais qu'ils ont plus diminué avec la pratique pour les cibles dont la probabilité d'apparition était déterministe ou probable que pour les cibles dont la probabilité d'apparition était aléatoire ($F(28,560) = 2.476$; $p < .0001$). Concernant les participants âgés, les TD étaient différentes en fonction des probabilités dès le début de pratique. On peut s'interroger sur un éventuel effet d'ordre pour expliquer ce résultat. En effet, les cibles dont la localisation était aléatoire (pour lesquelles les TD étaient les plus élevées) et les cibles dont la localisation était déterministe (pour lesquelles les TD étaient les plus courtes) correspondaient systématiquement aux première et dernière alternatives respectivement. Bien que l'interaction Blocs de pratique X probabilités soit significative pour ce groupe ($F(28,560) = 2.004$; $p < .05$), il n'apparaît pas, sur la figure n° 31, que les TD de ces participants se soient réellement plus améliorés pour les cibles probables que pour les cibles aléatoires.

L'analyse n'a révélé aucun autre effet significatif. À titre indicatif nous avons représenté sur les figures n° 32a et 32b, l'évolution des TD avec la pratique en fonction des probabilités, pour tous les groupes de participants en fonction de la taille des cibles.

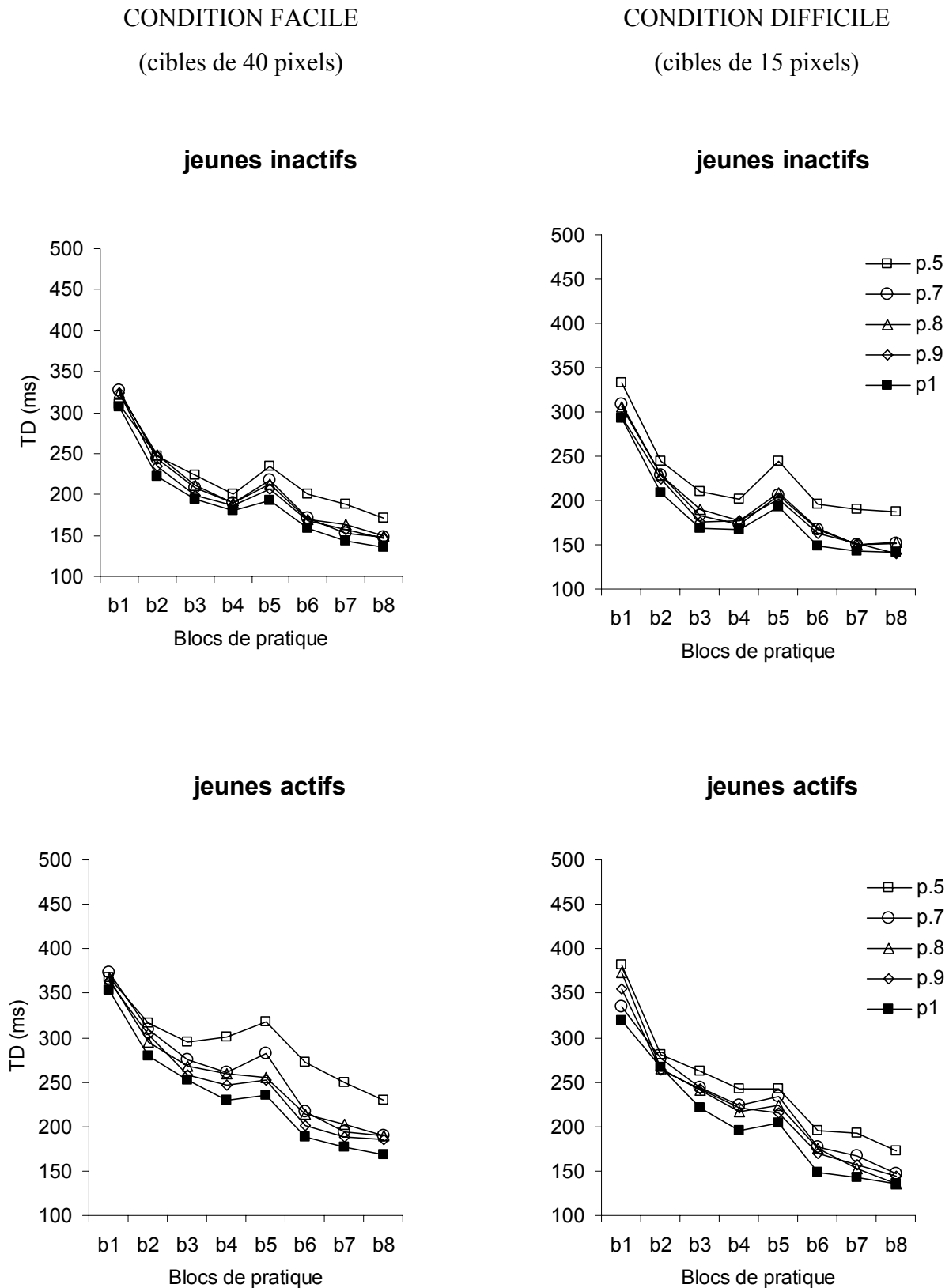


Figure 32a : évolution des TD (ms) avec la pratique en fonction des probabilités et de la taille des cibles, pour les participants jeunes inactifs (en haut) et jeunes actifs (en bas).

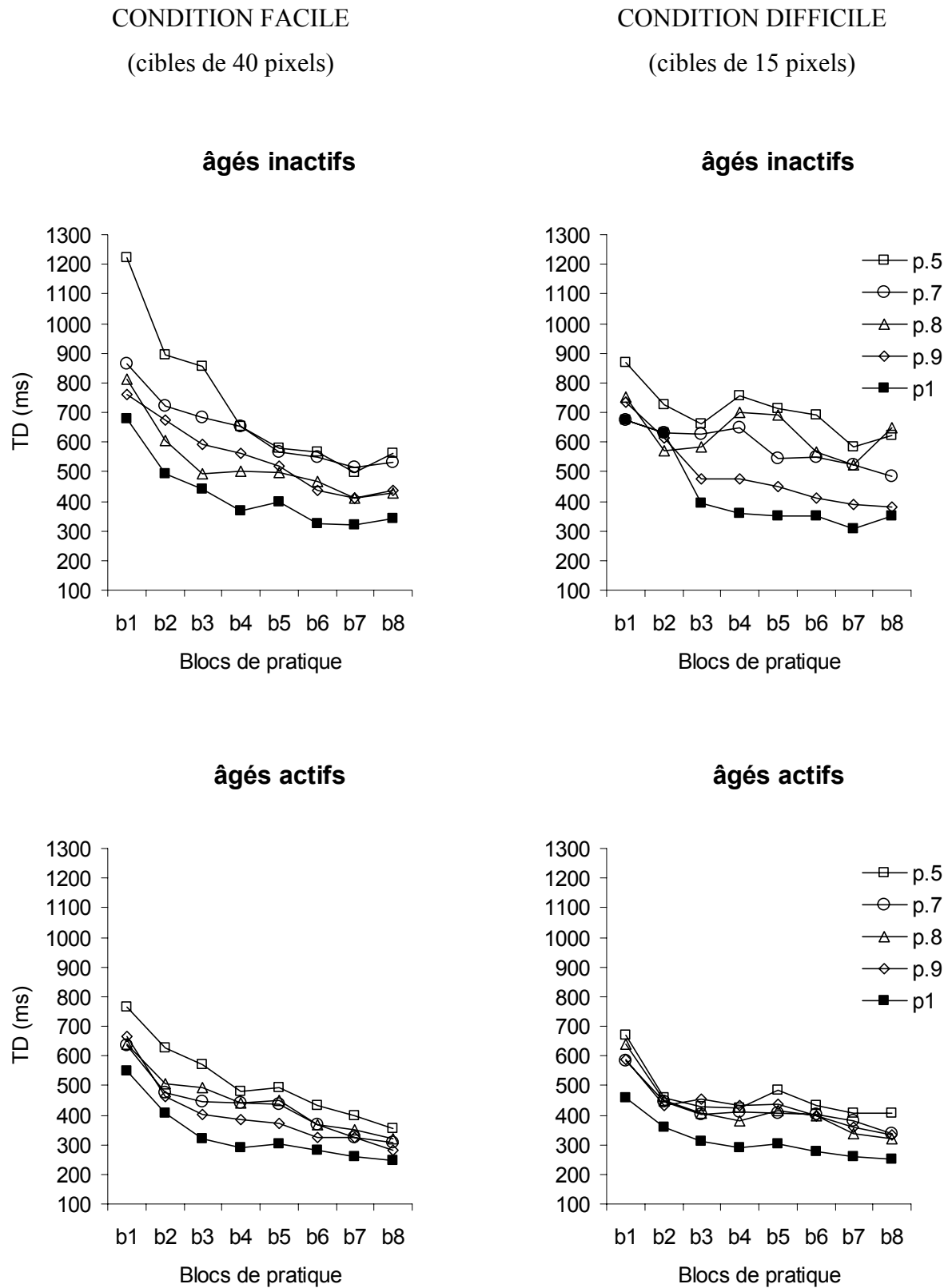


Figure 32b.: évolution des TD (ms) avec la pratique en fonction des probabilités et de la taille des cibles, pour les participants âgés inactifs (en haut) et âgés actifs (en bas).

Pour résumer, les résultats ont montré que les TD des participants étaient d'autant plus courts que la probabilité d'apparition de la cible à pointer était élevée. Les TD des participants âgés étaient particulièrement plus courts pour les cibles probables et surtout déterministes que ceux de la condition aléatoire (voir fig. 30). La diminution des TD des participants jeunes était similaire pour tous les niveaux de probabilités mais plus importante que pour la condition aléatoire (voir fig. 31). Les TD des participants âgés étaient plus courts pour les cibles dont la probabilité d'apparition était déterministe ($p1$) et, dans une moindre mesure, pour les cibles ayant une probabilité d'apparition de $p.9$ que pour les autres conditions, et le restaient tout au long de la pratique. La difficulté des mouvements de pointage n'a eu aucun effet sur les TD. Enfin, les participants âgés inactifs ont eu tendance à avoir des TD plus longs que ceux de tous les autres participants ($p=.068$).

• Temps de Mouvement

L'analyse a révélé un effet significatif des facteurs principaux Groupe d'âge ($F(1,40) = 46.953$; $p<.0001$; $\eta^2=.540$), Taille des cibles ($F(1,40) = 22.348$; $p<.0001$; $\eta^2=.358$; $P=.99$) et Blocs de pratique ($F(7,280) = 94.172$; $p<.0001$; $\eta^2=.702$). Ces résultats indiquent que les TM étaient globalement plus élevés pour les participants âgés ($M = 788 \pm 284$ ms) que pour les participants jeunes ($M = 509 \pm 169$ ms) et plus élevés pour les petites cibles ($M = 722 \pm 244$ ms) que pour les grandes cibles ($M = 575 \pm 280$ ms). Les TM de tous les participants ont diminué avec la pratique. Il apparaît également que les TM des participants étaient significativement plus longs pour les cibles dont la probabilité d'apparition était aléatoire ($p.5$) que pour toutes les autres cibles et significativement plus courts pour les cibles dont la probabilité d'apparition était déterministe ($p1$) que pour toutes les autres cibles ($F(4,160) = 38$; $p<.0001$; $\eta^2=.487$). Les TM pour les autres conditions ne se différencient pas entre eux. La moyenne et l'écart-type des TM en fonction des probabilités sont présentés dans le tableau 11.

Tableau 11 : moyenne et écart-type des TM (ms) en fonction des probabilités.

<i>probabilités</i>	<i>.5</i>	<i>.7</i>	<i>.8</i>	<i>.9</i>	<i>1</i>
moyenne	719.90	639.93	643.23	635.73	603.51
écart-type	328.89	263.09	262.55	257.37	231.46

L'interaction Blocs de pratique X Groupe d'âge ($F(7,280) = 3.491$; $p<.02$; $\eta^2=.080$; $P=.83$) indique que les participants âgés ont globalement plus diminué leurs TM avec la pratique que les participants jeunes, notamment lors des deux premiers blocs de pratique.

L'interaction Blocs de pratique X Probabilités ($F(28, 1120) = 1.977$; $p < .02$; $\eta^2 = .047$; $P = .97$) indique que les TM des participants n'ont pas diminué de manière équivalente pour toutes les probabilités. La figure 33 montre que l'évolution des TM des participants était similaire pour tous les niveaux de probabilités mais sensiblement plus grande que pour la condition aléatoire.

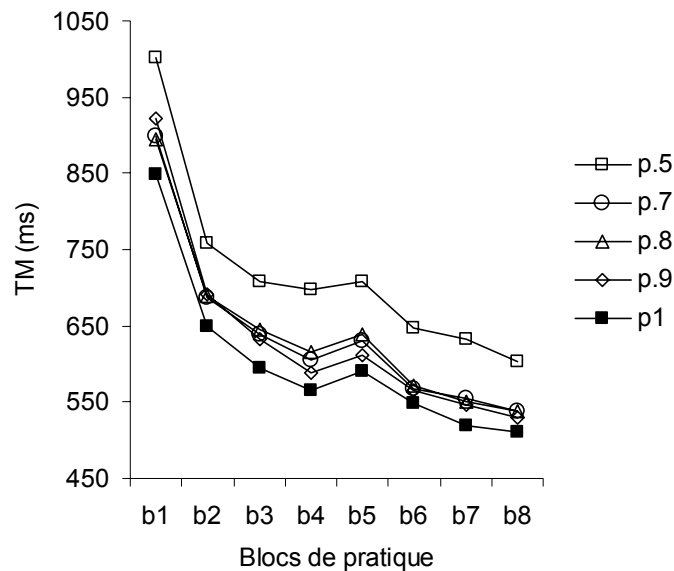


Figure 33 : évolution des TM (ms) avec la pratique en fonction des probabilités d'apparition des cibles.

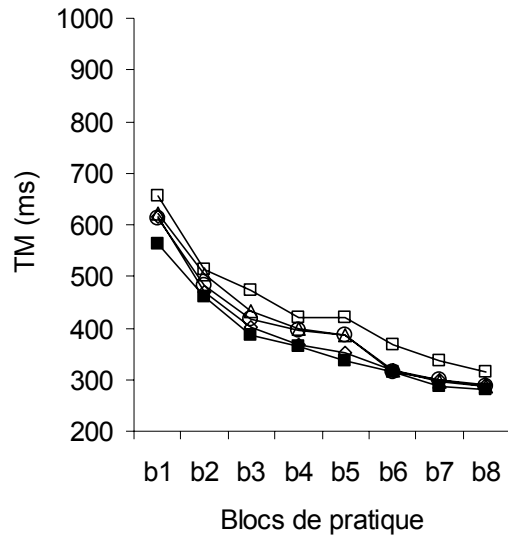
Enfin, l'analyse a révélé une quadruple interaction Blocs de pratique X Groupe d'âge X Activité physique X Taille des cibles ($F(7,280) = 4.059$; $p < .005$; $\eta^2 = .092$; $P = .82$). Il apparaît que les TM de tous les groupes de participants étaient plus courts pour la condition facile (cibles de 40 pixels) que pour la condition difficile (cibles de 15 pixels) et le restaient tout au long de la pratique, sauf pour les groupes de participants âgés inactifs. Comme on peut le voir sur les figures n° 34a et 34b, les TM des participants âgés inactifs étaient très élevés en début de pratique, comparativement aux autres groupes, pour les deux conditions de pointage. De plus, ces TM restaient très élevés en fin de pratique, notamment ceux pour les grandes cibles qui ne se différenciaient pas de ceux des petites cibles. Des analyses partielles effectuées sur chaque groupe de participants ont révélé un effet de la taille des cibles sur les TM pour tous les groupes de participants ($p < .05$), sauf pour les groupes de participants âgés inactifs ($F < 1$).

L'analyse n'a révélé aucun autre effet significatif. Il apparaît notamment que l'évolution des TM en fonction des probabilités était similaire pour tous les groupes d'âge. De plus, les facteurs Taille des cibles et Activité physique n'ont eu aucun effet sur l'évolution des TM en fonction des probabilités d'apparition de la cible (fig. 34a et 34b).

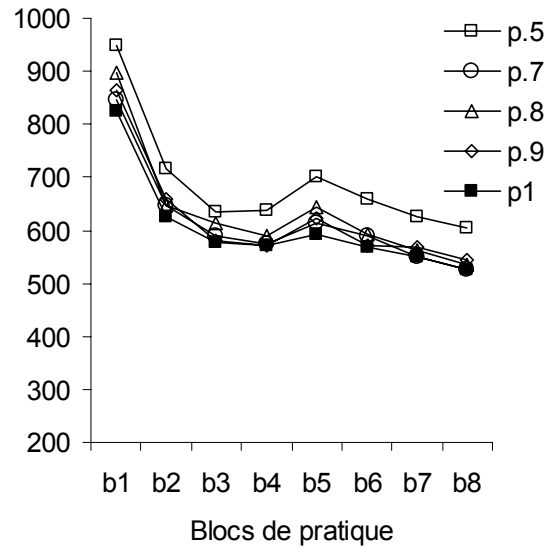
CONDITION FACILE
(cibles de 40 pixels)

CONDITION DIFFICILE
(cibles de 15 pixels)

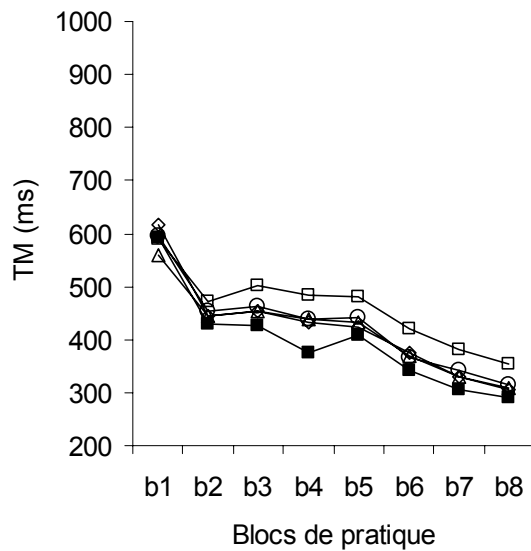
jeunes inactifs



jeunes inactifs



jeunes actifs



jeunes actifs

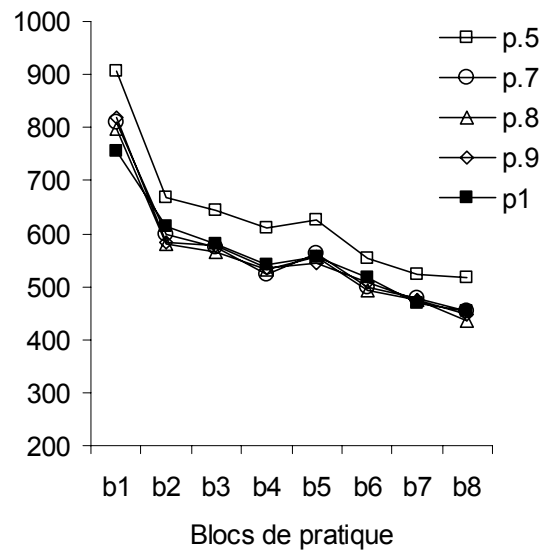


Figure 34a : évolution des TM (ms) avec la pratique en fonction des probabilités et de la taille des cibles, pour les participants jeunes inactifs (en haut) et jeunes actifs (en bas).

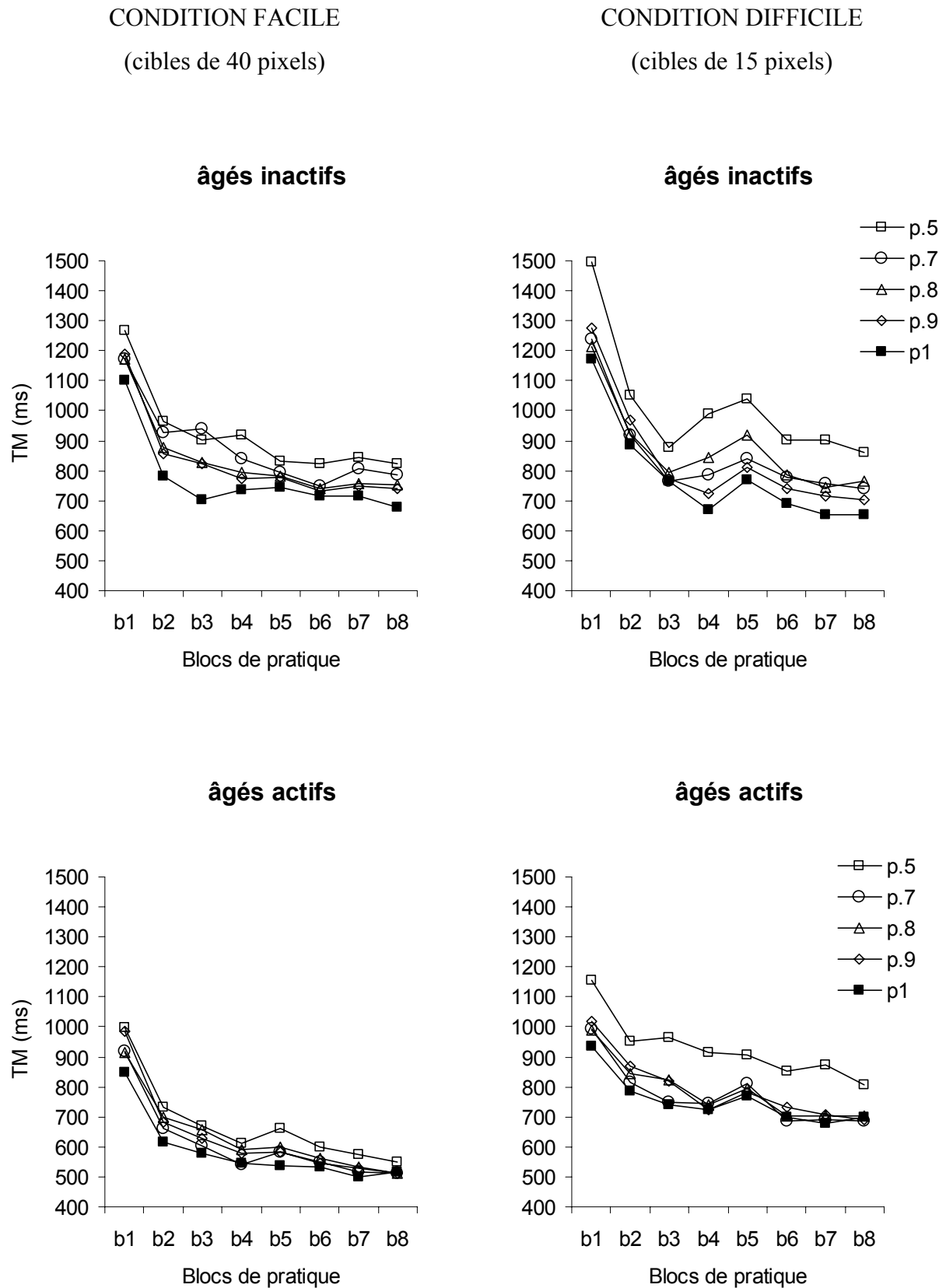


Figure 34b : évolution des TM (ms) avec la pratique en fonction des probabilités et de la taille des cibles, pour les participants âgés inactifs (en haut) et âgés actifs (en bas).

Pour résumer, les résultats ont montré que les TM des participants ont été affectés par la taille des cibles à pointer sauf pour les groupes de participants âgés inactifs. Les TM des participants âgés inactifs sont restés plus élevés que ceux des autres participants et ne se différenciaient pas en fonction des conditions de pointage. Les TM des participants ont été affectés par la probabilité d'apparition de la cible à choisir. Cet effet des probabilités d'apparition de la cible n'était pas très important mais il apparaît que les TM étaient significativement plus longs et plus variables pour les cibles aléatoires ($p.5$) et plus courts et moins variables pour les cibles déterministes ($p1$) que pour toutes les autres conditions (voir tableau 11). Les TM des cibles probables et déterministes diminuaient avec la pratique de manière relativement similaire et restaient plus courts que ceux des cibles dont la probabilité d'apparition était parfaitement aléatoire. Enfin, il faut noter que l'évolution des TM avec la pratique et en fonction des probabilités d'apparition des cibles était similaire quel que soit le groupe d'âge ou d'activité physique et quelle que soit la condition de pointage (taille des cibles).

3.2 Questionnaire post-expérimental

L'objectif de ce questionnaire post-expérimental était d'évaluer dans quelle mesure les participants pouvaient décrire verbalement les régularités dans les successions de localisation de la cible, ainsi que d'examiner les différentes stratégies employées pour résoudre la tâche.

Nous avons demandé aux participants s'ils avaient découvert les règles qui régissaient l'apparition des cibles et/ou s'ils pouvaient décrire précisément les régularités d'apparition des cibles. Aucun participant n'a déclaré avoir trouvé les règles puisqu'ils continuaient à faire des erreurs de prédiction même en toute fin de pratique. Toutefois, tous ont déclaré avoir trouvé une partie de ces règles (pour quelques cibles) ou avoir trouvé des régularités qu'ils pouvaient décrire plus ou moins précisément. Dans l'ensemble ces régularités étaient décrites en terme de "chemins", de "séquences", de "figures géométriques" qui revenaient plus souvent que d'autres. Nous avons recensé le nombre de participants ayant déclaré avoir découvert que la dernière cible ($p1$) apparaissait systématiquement du même côté que l'avant-dernière, ainsi que le nombre de participants ayant décrit précisément les deux séquences symétriques d'apparition des cibles les plus fréquentes. Ce recensement est résumé dans le tableau 12.

Ni la taille des cibles à pointer, ni le fait de pratiquer ou pas régulièrement une activité physique ont eu un effet sur la précision des descriptions des participants. Cependant, comme le montre le tableau 12, des différences apparaissent en fonction de l'âge des participants.

Tableau 12 : résultats des réponses au questionnaire en fonction des groupes expérimentaux

<i>Catégories de réponses</i>	<i>Groupes</i>	<i>OUI</i>	<i>NON</i>
Dernière cible	âgés actifs	9	3
	âgés inactifs	7	5
	jeunes actifs	12	0
	jeunes inactifs	12	0
Description de la séquence	âgés actifs	5	7
	âgés inactifs	5	7
	jeunes actifs	11	1
	jeunes inactifs	10	2

Les participants âgés ont été significativement moins nombreux (16/24) à décrire la régularité déterministe (pI) liant les deux dernières cibles que les participants jeunes (24/24), $\chi^2(1) = 9.6$; $p < .01$. De même, les participants âgés ont été significativement moins nombreux (10/24) que les participants jeunes (21/24) à décrire correctement les deux séquences d'apparition des cibles les plus fréquentes ($\chi^2(1) = 11.02$; $p < .001$). Il semble ainsi que les personnes âgées ont eu plus de mal à décrire verbalement les régularités présentes dans la tâche que les adultes jeunes, bien qu'elles aient montré clairement un apprentissage de ces régularités lors de la tâche de prédiction.

Dans leur majorité, les participants ont émis les mêmes hypothèses et utilisé les mêmes stratégies afin d'améliorer leurs Scores de prédiction lors de la tâche de prédiction. En général, les participants ont commencé par compter le nombre de fois où la cible apparaissait à droite ou à gauche lors de la première alternative ($p.5$), et/ou lors de la dernière alternative (pI). Leur stratégie consistait à vérifier si la règle d'apparition des cibles était fonction de la localisation de la première cible ou de la dernière cible de l'essai. Ils ont également cherché à compter si chaque séquence (essai) ne revenait pas de manière régulière ou si la localisation de la première cible ne prédisait pas la localisation de la dernière cible et inversement. Ces

stratégies s'avérant inefficaces, ils les ont abandonnées plus ou moins rapidement. Notons que 1 participant âgé inactif a déclaré avoir choisi systématiquement la première cible de droite (n°3) parce qu'elle "apparaissait plus souvent que l'autre". Notons également que 1 participante jeune active a focalisé sa stratégie sur la localisation de la première cible ($p.5$) de chaque essai durant toute la première session (jour 1), afin "de trouver au moins celle là". Il est intéressant de noter que lors de cette première session, cette participante n'a absolument pas amélioré ses scores de prédiction (même pour la dernière alternative déterministe $p1!$). Lors de la deuxième session, elle a abandonné cette stratégie et ses scores de prédiction se sont améliorés, d'autant plus que la probabilité d'apparition de la cible était élevée.

En fait, la majorité des participants a déclaré avoir assez rapidement cessé de chercher une règle fixe basée sur le comptage des cibles ou de séquences ou sur la répétition de l'essai précédent parce que c'était difficile et inefficace. La majorité des participants a trouvé explicitement la *règle* d'apparition de la dernière cible et était capable de décrire très précisément toutes les régularités. La stratégie la plus commune semblait être de "refaire la séquence ou la figure qui apparaît le plus souvent". Enfin, notons que l'ensemble des participants (sauf un participant âgé et deux jeunes) a estimé avoir amélioré ses performances avec la pratique lors de la tâche de prédiction.

4. Discussion

L'objectif de cette expérience était d'examiner les effets de l'âge et de la pratique régulière d'activité physique sur l'apprentissage d'associations probabilistes, dans le contexte d'une tâche explicite de prédiction. Plus précisément, nous voulions vérifier si les résultats de nos premières expériences pouvaient être généralisés à une tâche de type résolution de problème, où la pression temporelle liée à la décision à prendre était éliminée. Dans cette tâche, les participants étaient instruits, préalablement à la pratique, que les successions d'apparition des cibles suivaient une règle logique. Ils devaient alors découvrir cette règle afin de deviner l'emplacement prévu de la cible qui devait apparaître.

Afin de répondre à cette question, nous avons utilisé comme principale mesure de l'apprentissage, les scores de prédictions correctes. Il s'agissait de voir si, avec la pratique, les participants choisissaient la cible qui avait la plus forte probabilité d'apparition. Nous avons émis l'hypothèse que, dans cette tâche, l'apprentissage des associations probabilistes mesuré

par les scores de prédiction, serait indépendant de l'exécution motrice de la tâche. De plus, nous avons examiné les TD et les TM des participants afin de voir s'ils adaptaient leur comportement aux différents niveaux de probabilité d'apparition des cibles. Il s'agissait ici de voir si les participants réduisaient avec la pratique leurs temps de réponse (TD et TM) en fonction des probabilités et pour toutes les tailles de cible. Si l'activité physique régulière entraîne principalement une amélioration des processus sensori-moteurs, son effet devrait se manifester essentiellement sur les mesures de TM et pas sur les scores de prédiction. Nous discuterons successivement les résultats de cette expérience pour ces trois types de mesure.

Apprentissage probabiliste mesuré par les scores de prédiction :

Les résultats concernant les scores de prédiction ont révélé que la proportion de prédictions correctes de tous les participants était d'autant plus forte que la probabilité d'apparition de la cible était élevée (voir fig. 26). Rappelons que nous considérons une prédiction correcte lorsque les participants choisissent la cible dont la probabilité d'apparition est la plus élevée. Ce premier résultat atteste que les participants ont bien appris les associations probabilistes et que leurs réponses étaient d'autant plus correctes que la régularité était saillante, c'est à dire facile. Les courbes d'apprentissage de la figure 27 confirment bien l'effet de la complexité des régularités sur l'évolution des performances avec la pratique. L'apprentissage était d'autant plus rapide et les performances d'autant meilleures que la probabilité d'apparition de la cible était élevée.

Dans une première analyse, nous avons vu que les participants jeunes ont continuellement amélioré leurs prédictions correctes tout au long de la pratique alors que les participants âgés ont assez rapidement stabilisé leurs performances à un niveau inférieur à celui des jeunes. Pour tous les niveaux de probabilité, mais particulièrement pour les plus faibles, les participants âgés ont atteint plus rapidement que les jeunes une asymptote, et cette asymptote se situait à un niveau inférieur de celui des jeunes (voir fig. 27). Les scores de prédiction des participants âgés en fonction des probabilités en fin de pratique étaient au niveau qu'atteignaient les jeunes au deuxième ou au troisième bloc de pratique. A ce niveau, nos résultats s'accordent avec ceux de Strayer et Kramer (1994) qui ont examiné l'effet de l'âge dans une tâche d'apprentissage de recherche en mémoire ("memory search task"). Ces auteurs attribuaient le déficit d'apprentissage lié à l'âge à la fois à une différence dans la vitesse de l'apprentissage associatif et à une différence dans le niveau asymptotique de la performance. Cette différence entre les participants jeunes et âgés dans l'apprentissage des régularités probabilistes est peut-être liée à la nature de la tâche et à l'effet des instructions

données. En effet, dans une étude récente, Howard et Howard (2001) ont montré que des instructions explicites fournies préalablement à la pratique avaient un effet négatif sur l'apprentissage d'une nouvelle habileté pour des sujets âgés (65-80 ans) mais pas pour des adultes jeunes (20-23 ans). Utilisant la même tâche d'apprentissage de Temps de Réactions Sériels qu'ils avaient développée dans une précédente étude (e.g., Howard & Howard, 1997), ces auteurs ont montré qu'inciter explicitement les sujets à découvrir les régularités présentes dans l'environnement affectait négativement l'apprentissage des patterns sériels pour les participants âgés, alors que c'était bénéfique pour les adultes jeunes. Howard & Howard (2001) concluaient que, parfois, essayer d'apprendre produit des effets négatifs et qu'apprendre de manière relativement passive à travers la pratique et la répétition est sans doute plus efficace pour les personnes âgées que d'utiliser des stratégies conscientes de test d'hypothèse (p.805).

Nous pensons toutefois que ces différences entre participants jeunes et âgés ne reflètent pas simplement un déficit lié à l'âge dans l'apprentissage des associations probabilistes mais plutôt une différence de stratégie entre les deux groupes d'âge. En effet, comme nous l'avons dit dans la présentation des résultats, l'apprentissage dans ce type de tâche peut s'exprimer par le choix systématique de la cible la plus probable ou par l'ajustement du choix en fonction de la valeur de la probabilité associée à l'apparition de la cible. Il est possible que les participants jeunes aient choisi la première possibilité, que nous avons nommée stratégie *maximaliste* et que les participants âgés aient choisi la seconde possibilité, que nous avons nommée stratégie *optimale*. L'analyse des écarts relatifs (qui représentent la différence entre la proportion de choix des participants et la probabilité réelle d'apparition de la cible) a montré que les participants jeunes avaient tendance, avec la pratique, à choisir de plus en plus systématiquement la cible la plus probable. Les écarts relatifs pour cette population étaient, en fin de pratique, positifs pour tous les niveaux de probabilité (voir fig. 29). Ce résultat révèle que ces participants avaient tendance à choisir les cibles les plus probables plus souvent que leur probabilité réelle d'apparition. En ce sens, il est possible que les participants jeunes aient plutôt adopté la stratégie *maximaliste*. Les écarts relatifs des participants âgés sont toujours restés négatifs (même en fin de pratique), mais se sont rapprochés de la valeur 0, de manière uniforme pour tous les niveaux de probabilité. Il apparaît ainsi que les participants âgés n'ont jamais choisi les cibles les plus probables aussi souvent que leur probabilité réelle d'apparition. Toutefois, leurs choix ont eu tendance à s'ajuster à la probabilité d'apparition de la cible puisque leurs écarts relatifs se sont stabilisés, pour toutes les probabilités, proches de 0. En ce sens, il est possible que les participants âgés

aient plutôt adopté la stratégie *optimale*. En tout état de cause, nos résultats invitent à penser que les personnes âgées sont capables, dans ce type de tâche, d'adapter leurs prédictions aux différents niveaux de probabilité d'apparition de la cible. Nous n'avons pas trouvé, dans la littérature, d'étude ayant examiné l'apprentissage probabiliste en utilisant un paradigme comme le nôtre. Nous ne savons donc pas dans quelle mesure ces résultats sont consistants et peuvent être généralisés. Toutefois, nous avons connaissance des travaux de Chasseigne et collaborateurs (Chasseigne, 1996 ; Chasseigne, Grau, Mullet & Cama, 1999 ; Chasseigne, Mullet & Stewart, 1997), qui ont examiné l'effet du vieillissement dans des tâches d'apprentissage probabiliste à multiples indices (Multiple Cue Probability Learning task). Ces auteurs ont montré que les personnes âgées apprennent aussi bien que des adultes jeunes les relations probabilistes qui lient des indices à un critère de décision, lorsque ces relations sont directes mais pas lorsqu'elles sont inversées.

Un résultat important de cette expérience concerne l'absence d'effet de la taille des cibles et surtout l'absence d'effet de la pratique d'activité physique sur l'apprentissage des associations probabilistes, mesuré par les scores de prédiction. La complexité d'exécution des mouvements de pointage n'a pas interféré avec l'apprentissage. Confirmant notre hypothèse de départ, il s'est avéré que le choix de la cible qui a la plus forte probabilité d'apparition était indépendant de la taille des cibles à pointer. De plus, l'apprentissage des associations probabilistes a été équivalent pour les participants actifs et inactifs. Ce résultat confirme ainsi notre hypothèse et montre que lorsque l'exécution motrice de la tâche n'interfère pas avec l'apprentissage des associations probabilistes, il n'y a pas de différence entre participants actifs et inactifs. Cette absence d'effet de la pratique physique, notamment pour les participants âgés, est en accord avec les conclusions proposées par Chodzko-Zajko et Moore (1994) et Hawkins *et al.* (1992). Ces auteurs défendent l'idée que la relation entre l'activité physique et le vieillissement cognitif et sensori-moteur est probablement restreinte aux conditions de forte pression temporelle où la cadence des réponses des sujets est exigée. Par exemple, Kramer *et al.* (2002) dans leur étude interventionniste, ont examiné les performances de sujets âgés (60 à 75 ans) avant et après un programme d'entraînement physique lors d'une batterie de 15 tests neurocognitifs. Ces auteurs ont rapporté que les effets de l'activité physique étaient beaucoup plus prononcés pour les tâches mesurant la vitesse des réponses que pour les tâches mesurant la précision des réponses. Ils concluaient que le bénéfice de l'amélioration de la fitness s'observait principalement dans les conditions où la vitesse des réponses est exigée. Dans notre tâche, les participants n'avaient aucune contrainte de temps concernant le choix de la

cible qu'ils devaient prédire. Contrairement à l'expérience 1, où ils devaient réagir le plus rapidement possible à l'apparition de la cible, les participants âgés inactifs de l'expérience 3 n'ont pas montré de déficit d'apprentissage des associations probabilistes comparativement aux participants âgés actifs.

Apprentissage probabiliste mesuré par les TD et les TM :

Concernant les mesures de temps de réponse (TD et TM), l'objectif était de voir comment les participants adaptaient avec la pratique leur comportement face à cette tâche.

Pour les mesures de TD, bien que les participants étaient explicitement instruits que l'objectif n'était pas la vitesse mais la précision des réponses, il est plausible de penser que leurs TD allaient se réduire avec la pratique, en même temps que se réduisait l'incertitude. Pour reprendre les termes de Hayes et Marteniuk (1976), « la pratique est vue comme la réduction de la quantité d'incertitude entraînant une performance plus rapide, plus efficiente ». Il est ainsi plausible de penser que les TD des participants devaient diminuer avec la pratique et l'apprentissage des régularités probabilistes, et ce d'autant plus que la probabilité d'apparition de la cible est élevée.

Les résultats de l'expérience ont montré que, dans l'ensemble, les TD des participants âgés étaient plus élevés que ceux des jeunes, confirmant le phénomène général de ralentissement du comportement avec l'âge rapporté par la littérature (voir Cerella, 1990 ; Cerella & Hale, 1994 ; Salthouse, 1996). Les TD des participants étaient d'autant plus courts que la probabilité d'apparition de la cible était élevée (voir fig. 30). Cette différence dans les TD en fonction des probabilités était beaucoup plus prononcée pour les participants âgés que pour les participants jeunes, qui avaient des TD très courts, comparativement aux âgés, pour tous les niveaux de probabilités. Il est possible que le délai fixe de 500 ms précédant chaque "bip" soit en partie responsable de ce résultat. Les participants jeunes choisissaient probablement la cible qu'ils allaient pointer pendant ce délai, donc avant le retentissement du bip. Leurs TD, calculés à partir du retentissement du bip étaient alors très courts. Les participants âgés prenaient plus de temps pour faire leur choix et, quand le bip retentissait, ils n'avaient probablement pas encore pris leur décision quant à la cible à choisir. Nous avons également vu que les TD des participants âgés, contrairement à ceux des jeunes, étaient différents en fonction des probabilités dès le début de la pratique (voir fig. 31). En début de pratique, leurs TD pour les cibles aléatoires ($p.5$) étaient significativement plus longs que ceux de toutes les autres conditions, alors que leurs TD pour les cibles déterministes ($p.1$) étaient significativement plus courts que ceux de toutes les autres conditions. Nous nous

sommes interrogés sur un éventuel effet d'ordre pour expliquer ce résultat particulier puisque ces cibles correspondaient systématiquement à la première alternative (p.5) et à la dernière alternative (p1). Il est possible que les participants âgés, au début de chaque essai, examinaient non pas seulement la seule première alternative (p.5) mais également "anticipaient" les conséquences que cette première alternative pourrait avoir sur les alternatives suivantes de l'essai, entraînant un TD particulièrement long pour les cibles aléatoires. Les TD pour les cibles déterministes (p1) étaient alors très courts, même en début de pratique, parce qu'elles correspondaient systématiquement à la fin de chaque essai. Quoi qu'il en soit, nous n'avons pas trouvé de réponse réellement satisfaisante à cette question. A l'inverse, les TD des participants jeunes étaient similaires pour tous les niveaux de probabilités en début de pratique et se sont plus réduits avec la pratique pour les cibles probables que pour les cibles aléatoires. Cette réduction des TD était toutefois similaire pour tous les niveaux de probabilités (fig. 31 et 32a).

Enfin, rappelons que la taille des cibles n'a eu aucun effet sur l'évolution des TD avec la pratique et en fonction des probabilités, n'interférant pas avec l'apprentissage. De même, l'évolution des TD avec la pratique et en fonction des probabilités était équivalente pour les participants actifs et inactifs. Ce résultat est en accord avec celui concernant les scores de prédiction. Il semble ainsi que, lorsque les conditions de réalisation de la tâche ne contraignent pas la vitesse des réponses, il n'y a pas de différence en fonction de la pratique ou non d'activité physique.

La diminution des TM avec la pratique était un peu plus importante pour les cibles probables que pour les cibles aléatoires (fig. 33). Il est possible que, pour cette mesure également, un effet d'ordre explique que les TM étaient significativement plus longs pour les cibles aléatoires que pour toutes les autres parce qu'ils concernaient systématiquement le premier mouvement de pointage de chaque essai. Il est possible également que l'incertitude forte concernant la localisation de la cible ne se reflète pas seulement au niveau des TD mais aussi dans les TM, entraînant des mouvements plus lents, plus hésitants. A ce niveau, des analyses cinématiques pourraient apporter des informations intéressantes. En tout état de cause, cette mesure n'est pas un réel indicateur de l'apprentissage des probabilités. Rappelons que ni la taille des cibles, ni les groupes d'âge ou d'activité physique n'ont eu un effet sur l'évolution des TM avec la pratique et en fonction des probabilités.

Un résultat important concerne les participants âgés inactifs, qui ont montré des TM élevés pour les deux conditions de pointage et surtout qui ne se différenciaient pas en fin de

pratique en fonction de la taille des cibles (fig. 34b). Il est possible que ce phénomène représente un effet plancher pour cette population, comme lors de l'expérience 1. En tout état de cause, les participants âgés inactifs ont montré plus de difficultés dans l'exécution des mouvements de pointage que leurs homologues actifs, quelle que soit la complexité d'exécution des réponses. Ce résultat apporte un support empirique important à notre hypothèse de départ et montre que le bénéfice de la pratique d'activité physique s'observe uniquement dans la réalisation motrice de la tâche, mesurée par les TM. Ce résultat s'accorde bien avec celui de Etnier *et al.* (2003), qui ont révélé une interaction significative entre l'âge et la fitness, exclusivement sur les données de TM lors d'une tâche de pointage sur cibles (voir p. 48 du présent document). En conclusion de ce point, il apparaît donc dans notre tâche, que la seule mesure pour laquelle une interaction entre l'âge et l'activité physique a été révélée concerne celle où la vitesse de la réponse était exigée. Ce dernier point semble encore confirmer que la relation entre le vieillissement cognitif et sensori-moteur et la pratique régulière d'activité physique est probablement restreinte aux conditions nécessitant de produire des réponses rapides (Chodzko-Zajko & Moore, 1994 ; Hawkins *et al.*, 1992 ; Kramer *et al.*, 2002).

En conclusion, cette dernière expérience a montré que, lorsque l'apprentissage n'est pas mesuré en terme de vitesse des réponses, ou lorsque les conditions ne contraignent pas une réponse rapide, les personnes âgées ne montrent pas de réelles difficultés comparativement à des jeunes adultes. Dans notre tâche, tous les participants ont appris les associations probabilistes ; apprentissage attesté par l'amélioration importante de leurs scores de prédictions correctes avec la pratique. De plus, dans ces conditions, il n'y avait pas d'effet de la pratique régulière d'activité physique sur l'apprentissage des associations probabilistes. L'apprentissage des associations probabilistes différait toutefois entre les participants jeunes et âgés, notamment dans les scores de prédiction. Nous avons attribué cette différence essentiellement à une stratégie différente en fonction des groupes d'âge. Les participants jeunes ont eu tendance, avec la pratique, à choisir de plus en plus systématiquement la cible la plus probable, alors que les participants âgés ont plutôt essayé d'ajuster leur choix à la probabilité réelle d'apparition de la cible. La complexité d'exécution des réponses n'a eu aucun effet sur cet apprentissage, quelles que soient les mesures utilisées. Nous avons vu, lors du questionnaire post-expérimental, que les participants avaient majoritairement utilisé les mêmes stratégies de résolution de problème, mais que les participants âgés démontraient plus de difficultés que les jeunes à décrire verbalement les régularités apprises. Enfin, la seule

interaction significative impliquant les facteurs Groupe d'âge et Activité physique révélée dans cette expérience concernait la mesure des TM, reflétant l'exécution motrice de la tâche. Cette mesure était la seule impliquant explicitement de répondre le plus vite possible, soulignant l'effet sélectif de l'activité physique chez les personnes âgées à l'exécution motrice de la tâche dans des conditions où la vitesse des réponses est exigée et mesurée.

CHAPITRE VII

DISCUSSION GENERALE

ET CONCLUSION

L'ambition générale de ce travail de thèse était d'étudier les effets croisés de l'âge et de la pratique régulière d'activités physiques sur l'apprentissage d'une nouvelle habileté motrice. Les trois expériences présentées ont examiné cette question en liaison avec la complexité de la tâche dans deux contextes d'apprentissage différents. Le premier (expériences 1 et 2) impliquait l'apprentissage implicite de régularités probabilistes lors d'une tâche de temps de réponse. Le second (expérience 3) impliquait l'apprentissage explicite des mêmes régularités probabilistes lors d'une tâche de prédiction. L'effet de la complexité de la tâche a été étudié à travers, d'une part la complexité des régularités probabilistes à apprendre et d'autre part, la complexité des procédures d'exécution des réponses motrices exigées. L'hypothèse qui sous-tendait la manipulation de la complexité de la tâche était que l'apprentissage de ces régularités serait plus facile pour les cibles dont la probabilité de localisation était forte que pour celles dont la probabilité de localisation était faible. De même, l'hypothèse qui sous-tendait la manipulation de la taille des cibles était que l'apprentissage de ces régularités probabilistes serait plus facile dans les conditions de pointage sur les cibles de grande taille que dans les conditions de pointage sur les cibles de petite taille. L'objectif général de ce travail était ainsi d'examiner empiriquement dans quelles mesures la nature et la complexité de la tâche pouvaient rendre compte des différences liées à l'âge et à la pratique physique dans l'apprentissage des régularités probabilistes.

La manipulation de la complexité de la tâche, notamment l'utilisation de différentes tailles de cibles, n'a pas produit les mêmes effets en fonction des différentes situations d'apprentissage (tâche de pointage, tâche de rappel, tâche de prédiction). Nous montrerons que cet effet différentiel est probablement un des points-clés permettant de comprendre la relation entre l'activité physique et le vieillissement des capacités d'apprentissage dans nos études. Dans cette perspective, nous proposons de présenter la synthèse de nos résultats en fonction des différentes tâches d'apprentissage étudiées au cours de cette thèse afin d'en

souligner les convergences et les divergences. Cette analyse nous permettra enfin de proposer une hypothèse explicative de la relation entre l'activité physique et le vieillissement des fonctions cognitives et sensori-motrices.

1. La tâche implicite de temps de réponse

La tâche des participants consistait ici à réagir le plus rapidement possible à l'apparition d'une cible dans une localisation particulière, en pointant son emplacement figuré sur la tablette graphique. L'apprentissage des régularités probabilistes pouvait être considéré comme étant de nature implicite dans la mesure où aucune instruction ne spécifiait l'objectif réel de la tâche, ni ne mentionnait la présence de régularités (Seger, 1994). Dans ce contexte, nous postulons que les sujets, avec la pratique, s'engagent dans un mode d'apprentissage dit non sélectif (Hayes & Broadbent, 1988), basé sur l'extraction non dirigée des régularités présentes dans l'environnement.

Globalement, la complexité de la tâche telle que nous l'avons manipulée, a influencé l'apprentissage des participants dans le sens que nous avons prévu. L'apprentissage des régularités était meilleur pour les cibles dont la probabilité d'apparition était élevée que pour les cibles dont la localisation était aléatoire ou peu probable. De plus, l'apprentissage de ces régularités probabilistes était meilleur dans les conditions de pointage sur les cibles de grande taille que dans la condition de pointage sur les cibles de petite taille.

Dans la tâche implicite de temps de réponse, la complexité d'exécution des mouvements de pointage n'a pas entraîné les mêmes effets, dans l'apprentissage des associations probabilistes, en fonction de l'âge et de la pratique ou non d'activité physique. Les participants jeunes (actifs et inactifs) et les participants âgés actifs ont clairement montré un apprentissage des associations probabilistes, quelle que soit la taille des cibles à pointer. Pour ces groupes de participants l'apprentissage était équivalent, confirmant notre hypothèse première que l'effet bénéfique de la pratique d'activité physique sur les capacités d'apprentissage d'une telle habileté est spécifique aux adultes âgés. Ce résultat va dans le sens du "Modèle Modérateur" de Stones et Kozma (1988) qui propose que les effets de l'activité physique soient plus importants pour les adultes âgés que pour les adultes jeunes ou même sélectifs aux adultes âgés. Les participants âgés inactifs n'ont pu démontrer un tel apprentissage que si la complexité inhérente à la production des réponses motrices était très

fortement réduite (i.e., sur les cibles de très grande taille). Dans les conditions de pointage sur les cibles petites, aucun indice comportemental n'indiquait qu'ils avaient bénéficié de la présence d'associations prévisibles pour améliorer leur performance. En revanche lorsque l'exigence de précision des mouvements était fortement réduite, les participants âgés inactifs ont clairement montré un apprentissage des associations probabilistes, notamment en terme de vitesse des réponses. Dans cette condition, le patron d'évolution des performances avec la pratique de ces participants était tout à fait similaire à celui des participants âgés actifs placés en condition de pointage plus difficile.

Ces résultats impliquent premièrement que, si les conditions d'exécution des réponses lors de la tâche de pointage sont très faciles, les personnes âgées sédentaires manifestent un apprentissage des associations probabilistes. L'absence de manifestation d'apprentissage pour cette population lors de la première expérience ne semble donc pas attribuable à la complexité des régularités présentes dans la tâche (e.g., Curran, 1997 ; Howard & Howard, 1997) mais à la complexité d'exécution des mouvements. Un tel constat va dans le sens des résultats rapportés par Harrington et Haaland (1992), montrant que la complexité des réponses à fournir est un facteur important expliquant les difficultés d'apprentissage des personnes âgées.

Deuxièmement, ces résultats impliquent que l'influence bénéfique de l'activité physique chez les personnes âgées sur les capacités d'apprentissage moteur est sensible aux conditions de fortes contraintes d'exécution de la tâche. Dans la tâche de pointage, l'extraction et l'utilisation des régularités probabilistes devaient se faire en même temps que la production des mouvements de pointage. La manipulation de la complexité d'exécution des mouvements était basée sur le principe de la loi de Fitts (1954) qui, fondamentalement, décrit le compromis vitesse/précision dans le contrôle de mouvements de pointage. Nous avons vu, lors de la première expérience, que les personnes âgées inactives étaient particulièrement en difficulté dans les conditions de pointage difficiles comparativement aux autres groupes de participants. Ce résultat est en accord avec plusieurs études ayant montré l'effet bénéfique de l'activité physique ou de la fitness sur l'efficacité motrice des personnes âgées (Baylor & Spirduso, 1988 ; Bunce & Birdi, 1998 ; Etnier *et al.*, 2003 ; Spirduso, 1975 ; Spirduso & Clifford, 1978). L'argument que nous proposons ici est que la meilleure efficacité motrice des participants jeunes et âgés actifs démontrée lors de la tâche de pointage, leur a permis d'exprimer l'apprentissage des régularités en augmentant la vitesse et la rectitude de leurs mouvements de pointage en fonction des probabilités pour les deux tailles de cibles les plus petites. A l'inverse, les participants âgés inactifs n'ont pu démontrer un tel apprentissage que

lorsque la taille des cibles était suffisamment grande pour leur permettre de produire des réponses rapides sans perdre raisonnablement la précision de leurs mouvements.

2. La tâche de rappel

Lors des deux premières expériences, à la suite de la tâche de pointage, tous les participants ont effectué un test de rappel consistant à rappeler (prédire) les cibles les plus probables. Cette tâche requiert un rappel conscient et délibéré des régularités présentes lors de la tâche de pointage. En ce sens ce test offre une mesure explicite de la connaissance acquise (Nissen & Bullemer, 1987 ; Howard & Howard, 1989, 1992). Les participants étaient informés qu'ils n'avaient aucune contrainte de temps pour désigner la cible de leur choix et que l'objectif de cette tâche était la précision de leurs prédictions.

Globalement dans cette tâche, les participants ont rappelé d'autant plus correctement la bonne cible que sa probabilité d'apparition était élevée. Leurs scores de rappel étaient généralement au-delà du hasard pour les deux alternatives les plus probables ($p.9$ et $p.1$), suggérant qu'ils avaient acquis une connaissance explicite partielle des régularités probabilistes présentes lors de la tâche de pointage. Un résultat intéressant concerne l'absence d'effet de la taille des cibles sur les scores de rappel. Dans cette tâche, la mesure de l'apprentissage était indépendante de la complexité des mouvements à produire, probablement parce que l'exécution des réponses n'était pas critique pour exprimer cet apprentissage. Nous verrons que ce point nous semble particulièrement important pour comprendre les résultats des différents groupes de participants à cette tâche.

A l'encontre des travaux ayant examiné la dichotomie implicite/explicite dans l'étude du vieillissement et de l'apprentissage d'habiletés (e.g., Cherry & Stadler, 1995 ; Harrington & Haaland, 1992 ; Howard & Howard, 1989, 1992, 1997), les participants âgés de nos études ont montré un meilleur rappel explicite des régularités probabilistes que les participants jeunes. Plusieurs raisons peuvent peut-être expliquer ces résultats contradictoires. Premièrement, il est possible que les caractéristiques des participants âgés de nos études, notamment leur niveau d'éducation et leur statut occupationnel élevés puissent rendre compte de leurs bonnes performances lors de ce test, comme cela a déjà été montré par Cherry et Stadler (1995) dans leur première expérience. Toutefois, dans l'étude de Cherry et Stadler (1995), les participants âgés "à grandes aptitudes" n'ont jamais montré de meilleures

performances que les participants jeunes et dans leur expérience 2, ils avaient même des résultats significativement inférieurs. Une deuxième explication, qui nous paraît plus pertinente, est plus méthodologique et renvoie à la complexité de la tâche de rappel. Dans toutes les études citées plus haut, la tâche de rappel des participants consistait à rappeler les séquences d'apparition des cibles qui pouvaient apparaître dans 4 localisations différentes. Dans notre tâche de rappel, les participants étaient placés en fait en situation dans laquelle un choix entre seulement 2 alternatives devait être fait. Il est ainsi probable que notre tâche de rappel était plus facile que celles des études rapportées par la littérature, expliquant l'absence de déficit lié à l'âge.

Le résultat le plus important dans cette tâche concerne les participants âgés inactifs placés en condition de pointage sur les cibles petites ($ID = 4,5$) et grandes ($ID = 3$), dont les scores de rappel ne se différencient pas de ceux des participants âgés actifs. En effet, à travers cette mesure de l'apprentissage, les participants âgés inactifs ont démontré une connaissance des régularités probabilistes présentes lors de la tâche de pointage, contrastant avec l'absence totale de manifestation d'apprentissage de ces régularités lors de la tâche implicite de pointage.

Pour comprendre ce résultat, il nous paraît essentiel de se rappeler que la taille des cibles à pointer n'influait pas les scores de prédiction lors de la tâche de rappel. Dans cette tâche, la manifestation de l'apprentissage des régularités probabilistes était essentiellement indépendante de la complexité des réponses à produire. Or nous avons vu que cette complexité d'exécution des mouvements de pointage était la principale source d'explication du déficit d'apprentissage des participants âgés inactifs lors de la tâche de pointage. Nous pensons en effet que la principale différence entre la tâche de pointage et la tâche de rappel ne réside pas seulement dans le fait qu'elles apportent deux mesures différentes de l'apprentissage (respectivement l'apprentissage implicite et l'apprentissage explicite), mais plutôt qu'elle réside dans la contrainte imposée à la production de la réponse. Les deux tâches utilisaient le même dispositif et les mêmes procédures de réponse. Toutefois, lors de la tâche de rappel, les participants n'avaient plus à gérer le conflit vitesse/précision (produire une réponse à la fois rapide et précise). Ceci, nous l'avons vu, représentait probablement le principal problème pour les participants âgés inactifs. L'absence d'une telle contrainte leur a ainsi permis d'exprimer leur apprentissage, quelle que soit la taille de la cible à pointer. Ce constat implique que, pour ces participants, la complexité d'exécution des mouvements de pointage sur les cibles les plus petites a bloqué l'expression de l'apprentissage des régularités probabilistes mais pas

réellement l'apprentissage lui-même (e.g., Frensch *et al.*, 1998). En conclusion, il semble bien que lorsque la complexité des réponses à fournir n'est plus un facteur critique à la manifestation de l'apprentissage, les participants âgés inactifs démontrent un apprentissage des régularités probabilistes.

3. La tâche de prédiction

Dans la troisième expérience, la tâche des participants consistait à prédire la localisation future de la cible sur la base de sa localisation actuelle. Les tailles des cibles à pointer étaient les mêmes que lors de la première expérience. Les participants étaient explicitement instruits de l'objectif de la tâche et du contenu des informations à acquérir. Dans ce type de tâche, nous postulons que les sujets vont développer des stratégies intentionnelles d'acquisition des informations consistant à formuler et à tester des hypothèses. Ce contexte d'apprentissage peut être rapproché des situations de résolution de problème (Newell & Simon, 1972). A l'encontre de la tâche de pointage des deux premières expériences, que l'on peut qualifier de réactive (dans le sens où les participants devaient réagir à l'apparition de la cible), cette tâche peut être qualifiée de pro-active, puisque les participants devaient produire une réponse pour faire apparaître la cible. Les participants étaient instruits qu'ils n'avaient aucune contrainte de temps pour prendre leur décision et l'apprentissage était principalement mesuré par des scores de prédiction.

Globalement dans cette tâche, l'apprentissage des régularités était d'autant plus rapide et la proportion de prédictions correctes était d'autant meilleure que la probabilité d'apparition de la cible était élevée. Comme précédemment pour les tâches de rappel, la complexité d'exécution des réponses n'a pas interféré avec l'apprentissage. Le choix de la cible qui a la plus forte probabilité d'apparition était indépendant de la taille de la cible à pointer. Cette absence d'effet de la complexité des mouvements de pointage sur l'apprentissage des régularités probabilistes était également vraie pour les mesures de TD et de TM. Nous verrons que, encore une fois, ce point nous semble particulièrement important pour la compréhension des mécanismes responsables de la relation entre l'âge et l'activité physique dans l'apprentissage des régularités probabilistes.

Tous les participants ont clairement démontré un apprentissage des régularités probabilistes, attesté notamment par l'amélioration importante de leurs scores de prédictions

correctes avec la pratique. Nous avons cependant vu que les patrons d'apprentissage différaient entre les participants jeunes et âgés. Ces différences entre les deux groupes d'âge semblent probablement attribuables, comme nous l'avons dit dans la discussion de la troisième expérience, à des stratégies différentes. Les participants jeunes ont eu tendance à privilégier une stratégie que nous avons appelée *maximaliste*, consistant à choisir de plus en plus systématiquement la cible qui avait la probabilité d'apparition la plus élevée. Les participants âgés ont plutôt développé une stratégie que nous avons appelée *optimale*, consistant à essayer d'ajuster leurs prédictions à la probabilité réelle d'apparition de la cible. Cette analyse proposée ne nous permet toutefois pas d'affirmer si ces stratégies sont réellement intentionnelles ou fortuites. Il serait intéressant, dans de futures études, d'examiner plus précisément cette question afin de tirer des conclusions plus définitives.

Dans cette tâche, contrairement aux résultats de la tâche de pointage de la première expérience, les participants âgés inactifs ont démontré un apprentissage des régularités probabilistes équivalent à celui des autres participants. Nous pensons encore une fois, que la compréhension de ce résultat passe par l'analyse des contraintes inhérentes à l'exécution de la tâche. Dans cette tâche de prédiction, la manifestation de l'apprentissage des régularités probabilistes était indépendante de la complexité des réponses à produire, quelle que soit la quantification de cet apprentissage (scores de prédiction, TD, TM). Le processus d'apprentissage s'est mis en place indépendamment du fait que les cibles à pointer étaient petites ou grandes, probablement parce que le processus d'extraction des régularités intervenait avant l'exécution du mouvement et sans pression temporelle. Les participants pouvaient prendre tout le temps qu'il leur semblait nécessaire pour "compter" les cibles ou examiner leur ordre d'apparition. Dans la même logique d'analyse que pour la tâche de rappel, il apparaît donc que, lorsque la complexité des réponses à fournir n'est pas un facteur critique à la manifestation de l'apprentissage, les différences liées à la pratique ou non d'activité physique, notamment chez les personnes âgées, disparaissent.

Rappelons, pour conclure sur ce point, que la seule interaction impliquant les facteurs Groupe d'âge et Activité physique lors de la tâche de prédiction concernait la mesure des TM, seule mesure dont la condition imposait explicitement des contraintes de vitesse. Les TM des participants âgés inactifs restaient plus élevés que ceux de tous les autres participants, notamment pour les mouvements sur les grandes cibles et ne se différenciaient pas en fonction

de la taille des cibles. Ce dernier point confirme les difficultés pour ces participants à exécuter les mouvements de pointage, même dans la condition de pointage facile.

4. Les relations entre l'activité physique et le vieillissement cognitif et sensori-moteur : proposition d'une hypothèse explicative

Les résultats des trois expériences présentées suggèrent que le maintien d'une d'activité physique régulière au cours du vieillissement a une influence bénéfique sur les capacités d'apprentissage d'une nouvelle habileté motrice à forte contraintes spatio-temporelles. Cet effet bénéfique ne s'est manifesté que lorsque la complexité d'exécution motrice de la tâche était importante et critique à la manifestation de l'apprentissage. Il semble ainsi que la relation entre l'activité physique et le vieillissement cognitif et sensori-moteur soit dépendante de la tâche ou des conditions de réalisation de la tâche considérée. Comme nous allons le développer dans cette partie, nous pensons que, dans nos études, l'effet de la pratique d'exercice physique sur les capacités d'apprentissage des personnes âgées n'est pas direct mais est médiatisé par une plus grande efficacité des processus de contrôle moteur.

D'un point de vue théorique, la relation entre la pratique d'activités physiques et le vieillissement des fonctions cognitives a été largement étudiée en référence à une variable médiatrice (voir Etnier, à paraître) : la fitness aérobie. La fitness aérobie, obtenue et maintenue par la pratique régulière d'activités physiques de type endurance, serait "responsable" d'un meilleur vieillissement cognitif par le biais d'une meilleure oxygénation du cerveau et une meilleure circulation cérébrale (voir p. 53 du présent document). Cette hypothèse a longuement influencé les travaux dans ce domaine sans pour autant être supportée par de réelles preuves empiriques directes sinon à travers l'expérimentation animale ou l'inférence issue de données comportementales (Dustman, Emmerson & Shearer, 1994 ; McAuley, Kramer & Colcombe, 2004). Toutefois, une série d'études publiée très récemment par Colcombe et collaborateurs (Colcombe, Erickson, Raz *et al.*, 2003 ; Colcombe, Kramer, Erickson *et al.*, 2004) a examiné précisément la relation qu'il pouvait y avoir entre la fitness aérobie et la structure et le fonctionnement cérébraux. Colcombe *et al.* (2003) ont examiné la relation entre la fitness aérobie et la densité du tissu cérébral (notamment la densité de la substance blanche et de la substance grise) chez 55 adultes âgés de 55 à 79 ans. Les résultats

de leur étude ont confirmé la diminution avec l'âge de la densité du tissu cérébral dans les cortex frontal, pariétal et temporal. Plus important, leurs résultats ont montré que les adultes âgés qui avaient un plus haut niveau de fitness aérobie révélaient significativement moins de perte de substance grise et blanche dans ces régions que leurs homologues à bas niveau de fitness. Pour ces auteurs, ces résultats apportent un premier support biologique important pour expliquer les bénéfices de l'activité physique sur le vieillissement de cerveau humain.

Ces résultats concernant la densité corticale sont en accord avec l'hypothèse défendue par ces auteurs (et assez largement supportée par des études comportementales), suggérant que l'impact de la fitness aérobie est particulièrement important sur les "fonctions exécutives" ; fonctions qui sont essentiellement supportées par les régions frontales et pariétales du cerveau (voir p. 55 du présent document). Afin de vérifier plus précisément cette hypothèse, Colcombe *et al.* (2004) ont examiné la relation entre la fitness aérobie et le fonctionnement cortical de différents groupes de personnes âgées avec des techniques d'imagerie cérébrale (IRMf : Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle). Dans deux études distinctes, Colcombe *et al.* (2004) ont utilisé une même tâche qui nécessite de réagir le plus rapidement possible à l'apparition d'un stimulus particulier tout en inhibant les stimuli "distracteurs" qui l'entourent. Les auteurs faisaient l'hypothèse que l'attention sélective nécessaire à cette tâche impliquait le recrutement des aires frontale et pariétale. De plus, l'amélioration du fonctionnement de ces régions devrait entraîner une réduction de l'activité dans le cortex cingulaire antérieur (sensible au "conflit comportemental" engendré par les stimuli distracteurs). Sur le versant comportemental, les résultats de ces études ont révélé que les participants âgés qui avaient initialement un haut niveau de fitness aérobie (étude 1) ainsi que ceux qui l'avaient amélioré grâce à un entraînement cardio-vasculaire (étude 2), avaient des performances significativement supérieures à celles de leurs homologues à bas niveau de fitness aérobie ou ayant participé à un entraînement non-aérobie (de type stretching). De plus, ces mêmes participants montraient une plus grande activité corticale dans les régions frontales et pariétales impliquées dans la sélection spatiale et le fonctionnement inhibiteur (essentiels au succès de la tâche) que leurs homologues inactifs ou ayant participé à l'entraînement de type stretching. Enfin, les participants à haut niveau de fitness et ceux ayant participé au groupe d'entraînement cardio-vasculaire montraient une quantité d'activité réduite dans le cortex cingulaire antérieur.

Les résultats de ces études semblent ainsi démontrer pour la première fois chez l'homme un lien direct entre un haut niveau de fitness aérobie (conséquence d'une pratique régulière d'activité physique de type aérobie), une meilleure performance à une tâche

impliquant les fonctions exécutives et le recrutement des aires cérébrales nécessaires à cette performance. Ces études apportent ainsi un support théorique et empirique tout à fait pertinent et d'une grande portée pour expliquer le mécanisme qui lie la pratique d'activité physique et l'amélioration du fonctionnement cognitif des personnes âgées. Dans quelle mesure le mécanisme proposé par ces auteurs peut-il rendre compte des résultats de nos propres études ?

Leurs conclusions appellent tout d'abord plusieurs remarques. Premièrement, les résultats de Colcombe *et al.* (2004) impliquent que le lien entre l'activité physique et le fonctionnement cognitif de nos aînés passe nécessairement par une meilleure fitness aérobie, donc par un $\dot{V}O_2\text{Max.}$ plus élevé. Ceci est attesté par le fait que seuls les participants du groupe entraînement aérobie de leur étude 2 ont montré des changements dans leur performance à la tâche et dans l'activité cérébrale des zones concernées entre le pré-test et le post-test. Colcombe et Kramer (2003), dans leur méta-analyse, ont toutefois montré que des participants engagés dans un entraînement combinant exercices augmentant les capacités aérobie et exercices augmentant la force, amélioraient plus leurs performances lors de tests mesurant la cognition que des participants engagés dans un entraînement impliquant seulement des exercices de type aérobie. Il semble ainsi que la fitness aérobie n'est peut-être pas la seule variable médiatrice entre l'activité physique et la cognition (Etnier, à paraître ; McAuley *et al.*, 2004).

Deuxièmement, les travaux de Colcombe et collaborateurs (Colcombe & Kramer, 2003 ; Colcombe *et al.*, 2004 ; Kramer *et al.*, 1999 ; 2002) semblent indiquer que la fitness aérobie a un impact particulièrement important sur le fonctionnement exécutif des personnes âgées. La question qui est posée est de savoir si cet effet est spécifique à ces fonctions cognitives. Nous savons toutefois que l'activité physique entraîne des bénéfices sur d'autres composantes du comportement des personnes âgées, comme la vitesse de traitement de l'information (TR simple, voir Spirduso, 1980), la vitesse d'exécution d'un mouvement (TM, Etnier *et al.*, 2003), la force (Kozma *et al.*, 1991 ; Rikli & Edwards, 1991) ou l'équilibre (Rikli & Bush, 1986 ; Wong *et al.*, 2001). De plus, le terme de fonctions exécutives fait référence à un ensemble hétérogène de fonctions entraînant certaines ambiguïtés au plan théorique comme au plan pratique (voir Hall, Smith & Keele, 2001 ; Kramer, Han & McAuley, 2000 ; Piquard, Backchine & Derouesné, 2003). Les fonctions exécutives peuvent être définies comme la capacité de pensée abstraite, les capacités de planifier, d'initier, d'effectuer les séquences et le monitoring puis d'arrêter un comportement complexe, de passer d'une tâche à une autre (Piquard *et al.*, 2003, p.75). On voit ainsi que ces fonctions exécutives, de par leur

multiplicité, peuvent être impliquées à différents niveaux de l'exécution d'une tâche particulière.

Ce deuxième ensemble de remarques en appelle un troisième concernant les zones cérébrales responsables de ce fonctionnement exécutif. Il est aujourd'hui admis que le siège des fonctions exécutives serait essentiellement localisé dans les zones pré-frontales, frontales et pariétales du cortex. Toutefois, comme le rappellent Piquard *et al.* (2003), "Au total, les différents processus intervenant dans le contrôle exécutif ne sont peut-être pas des entités spécifiques à considérer isolément mais plutôt des composantes interconnectées d'un système fonctionnel hautement différencié mais fonctionnellement intégré" (p.82-83). Une question importante pour notre propos est de savoir si le bénéfice d'une meilleure oxygénation cérébrale induite par une plus haute fitness aérobie est spécifique à ces zones cérébrales concernées ou se retrouve à d'autres niveaux ? De plus, il faut noter que les zones frontales et pariétales du cortex ne sont pas le siège exclusif des fonctions exécutives. Par exemple, nous savons que les aires cérébrales motrices (cortex moteur primaire : M1, aire pré-motrice : APM, aire motrice supplémentaire : AMS), fortement impliquées dans l'organisation du mouvement volontaire, se trouvent dans la zone caudale du cortex frontal (Bear, Connors, Paradiso, 1997). Il est ainsi probable que l'amélioration de l'oxygénation et de la circulation cérébrale dans ces aires ait un impact sur d'autres composantes du comportement que les fonctions exécutives, comme le contrôle du mouvement.

La prise en compte du modèle de Colcombe et collaborateurs dans l'interprétation des données de nos études est rendue difficile par le fait que nos expériences n'ont pas été mises en place pour tester spécifiquement ce modèle. Premièrement, dans nos études nous n'avons pas mesuré la fitness aérobie des participants (par l'estimation du $\dot{V}O_2\text{Max}$. par exemple). Il est possible qu'elle soit supérieure pour les participants actifs que pour les participants inactifs de nos études. Mais nous n'avons pas les moyens de vérifier une telle possibilité. Nous reviendrons plus en détail sur ce point un peu plus loin dans ce chapitre.

Deuxièmement, ces auteurs postulent que l'effet de la fitness aérobie est particulièrement prononcé pour les tâches impliquant les fonctions exécutives ou tout du moins nécessitant l'intégrité des lobes frontaux et pariétaux (Colcombe *et al.*, 2003 ; 2004 ; Kramer *et al.*, 1999 ; 2002 ; McAuley, Kramer & Colcombe, 2004). Bien que la distinction entre apprentissage implicite et apprentissage explicite puisse être faite en référence à cette question, nos expériences n'avaient pas non plus pour objectif direct de tester cette hypothèse. Toutefois, en restant dans le cadre de ce modèle, une question importante consiste à

comprendre pourquoi nous n'avons pu révéler d'effet de l'activité physique lors de nos tâches de rappel et lors de la tâche de prédiction, pour lesquelles les lobes frontaux et pariétaux seraient fortement impliqués (Schacter, 1997 ; Schacter, Buckner & Koutstaal, 1998 ; Squire, 1992). Si l'activité physique a un effet direct sur le fonctionnement cognitif des personnes âgées, les participants âgés actifs de nos études auraient du montrer des performances supérieures à celles des inactifs lors de ces tâches. Cette absence de différence entre les participants âgés actifs et inactifs contraste notamment avec l'effet significatif de l'activité physique lors de la tâche implicite de pointage sur les cibles de petites tailles. En fait, dans les trois expériences rapportées dans cette thèse, l'effet bénéfique de la pratique régulière d'activité physique n'est apparu que lorsque la réalisation motrice de la tâche était complexe (cibles de petites tailles) et nécessaire à l'expression de l'apprentissage (tâche de pointage, expérience 1). Par contre, lorsque la réalisation motrice de la tâche était aisée (cibles de très grande taille) ou lorsqu'elle n'interférait pas avec l'expression de l'apprentissage, l'effet de la pratique régulière d'activité physique n'a pas pu être démontré. Comme nous l'avons suggéré en introduction de cette partie, nous pensons que les contraintes liées à la réalisation motrice de nos tâches expérimentales jouent probablement un rôle important dans la compréhension de nos résultats. Nous développons cette idée dans les prochains paragraphes.

Dans la première partie de cette thèse (chapitre I.1 : Vieillesse et contrôle moteur), la littérature exposée a indiqué que l'efficacité des processus de contrôle du mouvement déclinait au cours du vieillissement (allongement des TR, des TM, caractéristiques cinématiques ; voir Ferrandez & Teasdale, 1996 ; Ketcham & Stelmach, 2001 ; Spirduso, 1995 ; Stelmach & Homberg, 1993). Parallèlement, nous avons vu que la pratique régulière d'activité physique ou le maintien d'un haut niveau de fitness avaient une influence bénéfique sur l'efficacité motrice des personnes âgées (Baylor & Spirduso, 1988 ; Bunce & Birdi, 1998 ; Etnier *et al.*, 2003 ; Spirduso, 1975 ; Spirduso & Clifford, 1978). Ce constat est corroboré par les résultats de nos expériences, qui ont révélé que les participants âgés inactifs démontraient plus de difficultés que les participants âgés actifs dans l'exécution des mouvements de pointage, notamment dans les conditions difficiles de pointage. Cette meilleure capacité à répondre aux exigences de la tâche a ainsi permis aux participants âgés actifs de manifester un apprentissage des associations probabilistes dans des conditions de pointage pour lesquelles les âgés inactifs n'y parvenaient pas (expérience 1: tâche de pointage). A l'inverse, lorsque la complexité d'exécution des réponses est fortement réduite (expérience 2) ou lorsqu'elle n'influence pas l'expression de l'apprentissage (expériences 1 et

2 : tâche de rappel et expérience 3 : tâche de prédiction), le bénéfice de la pratique d'activité physique n'apparaît pas. Les participants âgés inactifs démontrent alors un taux d'apprentissage équivalent à celui des autres participants. Nous pensons que, dans nos études, la pratique régulière d'activité physique chez les personnes âgées n'a pas eu un effet direct sur l'apprentissage de cette habileté mais plutôt sur l'expression comportementale de cet apprentissage. Le bénéfice de l'activité physique s'observerait essentiellement dans des conditions où la composante motrice de la tâche est complexe et critique au succès. La pratique physique n'est alors pas envisagée seulement comme ayant une influence sur les systèmes physiologiques de base (cardiovasculaires, métaboliques, endocriniens...), mais également à d'autres niveaux. La pratique physique, par la sollicitation régulière des processus de contrôle du mouvement, d'équilibration, de coordination, participe au maintien de certaines habiletés motrices et à leur plasticité. Le bénéfice de la pratique d'activité physique, du moins pour les études présentées dans cette thèse, s'observerait donc principalement sur le "versant moteur" du comportement des personnes âgées et pas réellement sur le "versant cognitif". Ceci expliquerait également que ce bénéfice était réservé aux adultes âgés. L'effet bénéfique de la pratique régulière d'activité physique serait sélectif aux adultes âgés parce qu'il passe par une amélioration des processus de contrôle moteur, qui déclinent avec l'avancée en âge. Les adultes jeunes n'étant pas concernés par ce déclin, l'effet indirect de la pratique physique ne se manifeste pas chez cette population. Cette interaction entre l'âge et l'activité physique apporte ainsi un support empirique au "Modèle Modérateur" de Stone et Kozma (1988).

D'un point de vue théorique, l'hypothèse que nous proposons pour expliquer nos résultats se démarque quelque peu des théories explicatives que nous avons développées dans le chapitre II.4 (p.52), qui stipulent essentiellement que la fitness aérobie (maintenue par la pratique régulière d'activités physiques de type endurance) serait "responsable" d'un meilleur vieillissement cognitif par le biais d'une meilleure oxygénation du cerveau et une meilleure circulation cérébrale. Comme nous l'avons dit, en ce cas, nous aurions cependant du observer un effet de l'activité physique sur les tâches de rappel et de prédiction. Il n'est toutefois pas exclu qu'une meilleure oxygénation cérébrale entraîne également une amélioration des processus de contrôle du mouvement. Dans nos expériences, nous n'avons pas mesuré la fitness aérobie des participants. Il est possible qu'elle soit supérieure pour les participants actifs que pour les participants inactifs de nos études et qu'elle puisse donc rendre compte des différences observées. Si le contrôle du mouvement volontaire implique presque toutes les aires du néocortex, nous savons que le cortex moteur, les ganglions de la base et le cervelet

sont tout particulièrement impliqués (Bear *et al.*, 1997 ; Ungerleider, Doyon & Karni, 2002). Raz et collaborateurs (Raz, Williamson, Gunning-Dixon *et al.*, 2000) ont montré, lors d'une tâche de poursuite rotative, que les déficits liés à l'âge dans l'acquisition d'une telle habileté motrice étaient associés à un volume réduit des hémisphères cérébelleux chez les personnes âgées. De plus, en tout début de pratique, les performances moindres des participants âgés, comparativement aux adultes jeunes, étaient liées à un volume réduit du putamen, qui est une des structures des ganglions de la base. Il est ainsi possible que les participants âgés actifs de nos études démontrent, comparativement à leurs homologues inactifs, une moindre réduction du volume de ces aires ou une meilleure circulation sanguine dans ces zones fortement impliquées dans l'apprentissage et le contrôle de mouvements volontaires. Nous n'avons toutefois pas les moyens de vérifier une telle hypothèse. L'utilisation des techniques modernes d'imagerie cérébrale permettrait sans doute de pouvoir répondre à ce type de questionnement.

Dans la même mesure, nous pensons que notre hypothèse explicative peut être tout de même rapprochée de *l'hypothèse des capacités attentionnelles* présentée dans le chapitre II.4 (p.53). Rappelons que cette hypothèse propose que la relation entre l'activité physique et la cognition ne soit pas générale mais dépendante de la tâche et que les effets de l'activité physique ou de la fitness soient plus importants pour les tâches requérant des traitements attentionnellement coûteux que pour des tâches qui sont plus automatiques ou pouvant être exécutées à allure personnelle (Chodzko-Zajko, 1991 ; Chodzko-Zajko & Moore, 1994 ; Chodzko-Zajko *et al.*, 1992). Nous savons que le contrôle moteur devient de plus en plus "coûteux en attention" au cours du vieillissement (Chen *et al.*, 1996 ; Maylor & Wing, 1996 ; Sparrow *et al.*, 2002). Selon le modèle de Lindenberger et collaborateurs (Li & Lindenberger, 2001 ; Li *et al.*, 2001 ; Lindenberger, 2000 ; Lindenberger *et al.*, 1998), les aspects sensoriels et moteurs du comportement nécessitent de plus en plus de contrôle cognitif avec l'avancée en âge. La pratique régulière d'activité physique permettrait alors de réduire cette dépendance. Le fait que les participants âgés inactifs de nos expériences n'aient démontré un déficit d'apprentissage des associations probabilistes que dans les conditions de réalisation de la tâche les plus difficiles corrobore ce point de vue. Lors de la tâche de temps de réponse, il est possible que l'allocation des ressources attentionnelles nécessaires au contrôle du mouvement lorsque les conditions de pointage sont difficiles, soit plus importante pour les participants âgés inactifs que pour les autres participants. Ce "déficit d'attention" pourrait alors avoir limité leur capacité à extraire et à utiliser les régularités probabilistes, donc à manifester leur apprentissage. Nous savons en effet que ce type d'apprentissage, même s'il est implicite, nécessite l'intervention de l'attention (e.g., Fezzani, 1995 ; Nissen & Bullemer, 1987). Par

contre, lors de la deuxième expérience, nous pouvons supposer que les contraintes de précision liées aux mouvements de pointage sur les cibles de très grande taille, étaient suffisamment faibles (faciles) pour ne pas bloquer l'expression de leur apprentissage des régularités probabilistes. Il conviendrait toutefois, afin de valider pleinement cette hypothèse, de démontrer que le contrôle du mouvement est effectivement attentionnellement plus coûteux pour les personnes âgées inactives que pour les personnes âgées actives. Nous avons commencé à examiner cette question lors d'un stage effectué dans le laboratoire du professeur Tomporowski à l'Université de Georgie (U.G.A., USA). Utilisant un paradigme de double-tâche, l'objectif de ce travail est de mesurer le coût attentionnel du contrôle de mouvements de pointage en fonction de l'âge, de l'activité physique et de la difficulté d'exécution des mouvements. Les résultats de cette étude (en cours de traitement) pourraient permettre d'apporter un argument empirique supplémentaire à la thèse que nous défendons.

Les perspectives que nous pouvons envisager à la suite de ce travail s'inscrivent d'une part dans une approche critique des limites de nos expériences et d'autres part dans, dans un questionnement plus global concernant la nature de l'apprentissage probabiliste tel que nous l'avons étudié et la caractérisation de l'activité physique comme facteur bénéfique d'un meilleur vieillissement.

En premier lieu, il semble maintenant essentiel de caractériser plus précisément la relation qui existe entre l'activité physique et le vieillissement des processus de contrôle du mouvement. Comme nous le relevions en conclusion du chapitre II, peu de recherches ont été menées dans ce domaine. De plus, les études qui ont abordé cette question ont essentiellement concerné la mise en évidence des effets bénéfiques de la pratique physique sur des indicateurs très généraux de l'efficacité motrice comme les TR et les TM. Nous avons évoqué la nécessité d'étudier précisément le coût attentionnel du contrôle du mouvement en fonction de l'âge et de l'activité physique. De même, l'étude des caractéristiques cinématiques des mouvements de pointage pourrait apporter des données complémentaires essentielles à une meilleure compréhension de ce phénomène. Nous avons vu que les profils cinématiques de mouvements (vitesse, accélération, sous-mouvements) diffèrent très sensiblement en fonction de l'âge (e.g., Ketcham & Stelmach, 2001 ; Ketcham *et al.*, 2002 ; Yan *et al.*, 2000) et que les personnes âgées ne semblent pas capables de modifier la structure de leurs mouvements même après une pratique intensive (Pratt *et al.*, 1994 ; Seidler-Dobrin & Stelmach, 1998). Nous avons vu également, au cours de nos expériences, que la production du mouvement était

affectée par la probabilité d'apparition de la cible. Des analyses cinématiques pourraient permettre de comprendre comment les participants adaptent qualitativement la production de leurs mouvements en fonction de la pratique et de l'incertitude présente dans l'environnement. De manière plus générale, nous n'avons aucune connaissance à ce jour d'étude ayant examiné l'effet croisé de l'activité physique et du vieillissement sur l'analyse cinématique du contrôle du mouvement. Cette ligne de recherche nous semble pourtant intéressante et potentiellement fructueuse.

En second lieu, il serait également important, dans le cadre plus général des questions relatives aux différences individuelles, d'examiner plus précisément la nature des activités physiques ainsi que leur durée de pratique (Blair & Connely, 1996). Dans notre étude, nous n'avons pas formulé d'hypothèse spécifique à ce sujet et nous n'avons pas réellement contrôlé la nature des activités physiques pratiquées par nos participants, notamment les jeunes. A l'opposé, Lobjois (2002) a récemment montré l'influence bénéfique de la pratique spécifique du tennis pendant des années sur les effets du vieillissement sur les capacités d'anticipation-coïncidence et de coordinations visuo-motrices. La question qui est posée est de déterminer si le bénéfice de l'activité physique est sélectif à certains processus spécifiques à l'activité considérée ou plus général. D'autre part, il ne faut pas exclure que ces effets se manifestent également à d'autres niveaux, comme le niveau de santé ou le sentiment de bien-être (Kretchmar, 2000 ; Ruuskanen & Ruoppila, 1995 ; Wannamethee, Chaper & Walker, 1998). L'utilisation de questionnaires d'activités physiques plus complets comme le QUANTAP (Vuillemin, Guillemin, Denis *et al.*, 2000) par exemple, couplée avec des mesures directes de la fitness permettrait d'examiner ces questions plus précisément. Cela permettrait également de clarifier plus précisément dans quelle mesure la fitness aérobie est ou n'est pas la seule variable médiatrice dans la relation entre l'activité physique et le fonctionnement cognitif et sensori-moteur des personnes âgées.

Enfin, dans un cadre plus général, à la fois théorique et pratique, il est intéressant de s'interroger sur la nature même et la mesure de l'apprentissage de régularités probabilistes tel que nous l'avons étudié. Nous avons vu, notamment lors de la troisième expérience, que la mesure "objective" de l'apprentissage des régularités probabilistes présentes dans la tâche n'est pas trivial. L'apprentissage est-il considéré comme "meilleur" lorsque le sujet choisit systématiquement la cible la plus probable, ou lorsqu'il a tendance à adapter ses choix à la probabilité réelle d'apparition ? Quand doit-on choisir la cible la moins probable ? Ce choix

reflète-t-il une intention délibérée ou une erreur de prédiction ? La réponse à ces questions n'est pas simple, tant la notion de probabilité a deux visages, l'un objectif (sa formalisation mathématique), l'autre subjectif (son utilisation dans la vie quotidienne).

5. Conclusion

La capacité d'apprendre est essentielle à tout être vivant, parce qu'elle permet aux organismes de s'adapter à des caractéristiques particulières de leur environnement. Ainsi, à tout âge, nous devons être capables de détecter de nouvelles régularités dans notre environnement ou dans nos actions et d'instaurer en conséquence de nouvelles habiletés sensori-motrices plus adaptées. La compréhension des mécanismes responsables de ce phénomène et de son évolution au cours de la vie revêt donc une importance théorique majeure. Elle revêt également une importance pratique afin de déterminer pour quelles tâches ou dans quelles circonstances, les personnes âgées vont démontrer des difficultés ou au contraire une préservation de leurs capacités d'apprentissage. L'examen des facteurs liés au mode de vie, comme le maintien d'un style de vie actif par exemple, se trouve par conséquent également au cœur de cette problématique.

Nous avons montré dans cette thèse que, dans l'ensemble, les personnes âgées sont particulièrement en difficulté dans des conditions de fortes contraintes temporelles, exigeant une rapidité dans la prise de décision et dans l'exécution de la réponse, notamment lorsque la réponse à fournir est elle-même difficile. Parallèlement, les bénéfices d'une pratique régulière d'activité physique (même peu intensive) s'observent justement dans ces conditions qui posent le plus de problèmes aux personnes âgées. D'un point de vue ergonomique, on peut penser que l'aménagement des conditions d'exécution d'une tâche particulière pourrait réduire considérablement les difficultés rencontrées par les personnes âgées. D'un point de vue plus général, encourager les personnes à maintenir un style de vie physiquement actif nous paraît être un bon moyen pour faire reculer la survenue de la dépendance.

L'identification précise des mécanismes génératifs responsables de la relation entre l'activité physique et le vieillissement des fonctions cognitives et sensori-motrices revêt maintenant une importance capitale. Une meilleure compréhension de ces mécanismes est en effet nécessaire pour mettre en place des programmes structurés d'exercices physiques qui

ciblent directement ces mécanismes. Les programmes d'intervention auprès de nos aînés n'auront pas les mêmes contenus si le bénéfice de l'activité physique est essentiellement médiatisé par une meilleure oxygénation cérébrale, une amélioration de l'estime de soi ou un changement dans le métabolisme lipidique. Dans le cadre de la prévention des effets du vieillissement, le développement de recherches fondamentales pluridisciplinaires dans ce sens permettra sans aucun doute d'améliorer notre compréhension de ce phénomène.

Références bibliographiques

- Abdi, H. (1987). *Introduction au traitement statistique des données expérimentales*. Grenoble: Presses Universitaires de Grenoble.
- Abourezk, T., & Toole, T. (1995). Effect of task complexity on the relationship between physical fitness and reaction time in older women. *Journal of Aging and Physical Activity*, 3, 251-260.
- Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Leon, A. S., Jacobs, D. R., Montoye, H. J., Sallis, J. F., & Paffenbarger, R. S. (1993). Compendium of physical activity: classification of energy costs of human physical activities. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 25(1), 71-80.
- Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Whitt, M. C., Irwin, M. L., Swartz, A. M., Strath, S. J., O'Brien, W. L., Basset, D. R., Schmitz, K. H., Emplaincourt, P. O., Jacobs, D. R., & Leon, A. S. (2000). Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(9), S498-S504.
- Albert, M.S., Jones, K., Savage, C.R., Berkman, L., Seeman, T., Blazer, D., & Rowe, J.W. (1995). Predictors of cognitive change in older persons: MacArthur studies of successful aging. *Psychology and Aging*, 10(4), 578-589.
- Amrhein, P. C. (1996). Age-related slowing in movement parameterization studies: not what you might think. In A. M. Ferrandez & N. Teasdale (Eds.), *Changes in sensory motor behavior in aging* (pp 1-25). Amsterdam: Elsevier.
- Amrhein, P. C., Stelmach, G. E., & Goggin, N. L. (1991). Age differences in the maintenance and restructuring of movement preparation. *Psychology and Aging*, 6, 451-466.
- Anderson, J. R. (1995). *Learning and memory: an integrated approach*. New-York: Wiley.
- Anshel, M. H. (1978). Effect of aging on acquisition and short-term retention of a motor skill. *Perceptual and Motor Skills*, 47, 993-994.
- Antsey, K. J., & Smith, G. A. (1999). Interrelationships among biological markers of aging, health, activity, acculturation, and cognitive performance in late adulthood. *Psychology and Aging*, 14(4), 605-618.

- Aubert, E., & Albaret, J. M. (2001). Aspects psychomoteurs du vieillissement normal. In J. M. Albaret & E. Aubert (Eds.), *Vieillesse et psychomotricité* (pp. 15-43). Marseille: Solal.
- Bäckman, L., Small, B. J., & Wahlin, A. (2001). Aging and memory: cognitive and biological perspectives. In J. E. Birren & K. W. Schaie (Eds.), *Handbook of the Psychology of Aging* (5th ed., pp. 349-366). San Diego: Academic Press.
- Baron, A., & Journey, J. W. (1989). Age differences in manual versus vocal reaction times: further evidence. *Journal of Gerontology*, 44(5), P157-P159.
- Baron, A., & Menich, S. R. (1985). Age-related effects of temporal contingencies on response speed and memory: an operant analysis. *Journal of Gerontology*, 40(1), 60-70.
- Bashore, T.R., van der Molen, M.W., Ridderinkhof, K.R., & Wylie, S.A. (1997). Is the age-complexity effect mediated by reductions in a general resource processing? *Biological Psychology*, 45, 263-282.
- Baylor, A. M., & Spirduso, W. W. (1988). Systematic aerobic exercise and components of Reaction Time in older women. *Journal of Gerontology : Psychological Sciences*, 43(5), P121-126.
- Bear, M.F., Connors, B.W., & Paradiso, M.A. (1997). *Neurosciences : à la découverte du cerveau*. Paris: Editions Pradel.
- Bellgrove, M. A., Phillips, J. G., Bradshaw, J. A., & Gallucci, R. M. (1998). Response (re-)programming in aging: a kinematic analysis. *Journal of Gerontology*, 53A(3), M222-M227.
- Berry, D. C. (1994). Implicit learning : 25 years on. A tutorial. In C. Umiltà & M. Moscovitch (Eds.), *Attention and Performance. Conscious and non conscious information processing*. (Vol. XV, pp 755-782). Cambridge: MIT Press.
- Birren, J. E., & Schaie, K. W. (2001). *Handbook of the Psychology of Aging* (fifth ed.). San Diego: Academic Press.
- Blain, H., Vuillemin, A., Blain, A., & Jeandel, C. (2000). Les effets préventifs de l'activité physique chez les personnes âgées. *La Presse Médicale*, 29(22), 1240-1248.
- Blair, S. N., & Connelly, J. C. (1996). How much physical activity should we do? The case for moderate amounts and intensities of physical activity. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 67(2), 193-205.
- Blumenthal, J. A., Emery, C. F., Madden, D. J., George, L. K., Coleman, R. E., Riddle, M. W., McKee, D. C., Reasoner, J., & Williams, R. S. (1989). Cardiovascular and

- behavioral effects of aerobic training in healthy older men and women. *Journal of Gerontology : Medical Sciences*, 44(5), M147-157.
- Blumenthal, J. A., Emery, C. F., Madden, D. J., Schniebolck, S., Walsh-Riddle, M., George, L. K., McKee, D. C., Higginbotham, M. B., Cobb, F. R., & Coleman, R. E. (1991). Long-term effects of exercise on psychological functioning in older men and women. *Journal of Gerontology*, 46(6), 352-361.
- Blumenthal, J. A., & Madden, D. J. (1988). Effects of aerobic exercise training, age, and physical fitness on memory-search performance. *Psychology and Aging*, 3(3), 280-285.
- Bock, O., & Schneider, S. (2002). Sensorimotor adaptation in young and elderly humans. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 26(7), 761-767.
- Bonin-Guillaume, S., Possamaï, C. A., Blin, O., & Hasbroucq, T. (2000). Stimulus preprocessing, response selection, and motor adjustment in the elderly: An additive factor analysis. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 19(2), 245-255.
- Boutcher, S. H. (2000). Cognitive performance, fitness, and aging. In S. J. H. Biddle, K. R. Fox & S. H. Boutcher (Eds.), *Physical activity and psychological well-being* (pp. 118-129). London: Routledge.
- Brouillet, D., & Syssau, A. (2000). *Le vieillissement cognitif normal. Vers un modèle explicatif du vieillissement*. Bruxelles: DeBoeck Université.
- Brown, S. H. (1996). Control of simple arm movements in the elderly. In A. M. Ferrandez & N. Teasdale (Eds.), *Changing in sensory motor behavior in aging* (pp 27-52). Amsterdam: Elsevier.
- Bunce, D. (2001a). Age differences in vigilance as a function of age-related physical fitness and task demands. *Neuropsychologia*, 39, 787-797.
- Bunce, D. (2001b). The locus of age x health-related physical fitness interactions in serial choice responding as a function of task complexity: central processing or motor function? *Experimental Aging Research*, 27, 103-122.
- Bunce, D., Barrowclough, A., & Morris, I. (1996). The moderating influence of physical fitness on age gradients in vigilance and serial choice responding tasks. *Psychology and Aging*, 11(4), 671-682.
- Bunce, D., & Birdi, K. (1998). Age and physical fitness as predictors of serial choice responding: the influence of task demands and motor function. *Applied Cognitive Psychology*, 12, 21-34.

- Bunce, D. J., Warr, P. B., & Cochrane, T. (1993). Blocks in choice responding as a function of age and physical fitness. *Psychology and Aging*, 8(1), 26-33.
- Carnahan, H., Vandervoort, A. A., & Swanson, L. R. (1993). The influence of aging on motor skill learning. In J. E. Stelmach & V. Hömberg (Eds.), *Sensorimotor Impairment in the Elderly* (pp. 41-56). Amsterdam: Kluwer Academic Publishers.
- Carnahan, H., Vandervoort, A. A., & Swanson, L. R. (1996). The influence of summary knowledge of results and aging on motor learning. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 67(3), 280-287.
- Cerella, J. (1985). Information processing rates in the Elderly. *Psychological Bulletin*, 98(1), 67-83.
- Cerella, J. (1990). Aging and information-processing rate. In J. E. Birren & K. W. Schaie (Eds.), *Handbook of the Psychology of Aging* (third ed., pp. 201-221). New-York: Academic Press.
- Cerella, J. (1994). General slowing in Brinley Plots. *Journal of Gerontology*, 49(2), P65-P71.
- Cerella, J., & Halle, S. (1994). The rise and fall of information-processing rates over the life span. *Acta Psychologica*, 86, 109-197.
- Cerella, J., Poon, L. W., & Williams, D. (1980). Age and the complexity hypothesis. In L. W. Poon (Ed.), *Aging in the 1980s* (pp. 332-340). Washington, DC: American Psychological Association.
- Chasseigne, G. (1996). *Vieillessement cognitif et apprentissage de relations probabilistes*. Thèse de Doctorat, Ecole Pratique des Hautes Etudes, Paris.
- Chasseigne, G., Grau, S., Mullet, E., & Cama, V. (1999). How well do elderly people cope with uncertainty in a learning task ? *Acta Psychologica*, 103, 229-238.
- Chasseigne, G., Mullet, E., & Stewart, T. R. (1997). Aging and multiple cue probability learning: The case of inverse relationships. *Acta Psychologica*, 97, 235-252.
- Chen, H.-C., Schultz, A. B., Ashton-Miller, J. A., Giordani, B., Alexander, N. B., & Guire, K. E. (1996). Stepping over obstacles: dividing attention impairs performance of old more than young adults. *Journal of Gerontology: Medical Sciences*, 51A(3), M116-M122.
- Cherry, K. E., & Stadler, M. A. (1995). Implicit learning of a nonverbal sequence in younger and older adults. *Psychology and Aging*, 10(3), 379-394.
- Chodzko-Zajko, W. J. (1991). Physical fitness, cognitive performance, and aging. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 23(7), 868-872.

- Chodzko-Zajko, W. J. (1996). The physiology of aging: structural changes and functional consequences. Implications for research and clinical practice in the exercise and activity sciences. *Quest*, 48, 311-329.
- Chodzko-Zajko, W. J. (2000). Successful aging in the new millennium: the role of regular physical activity. *Quest*, 52, 333-343.
- Chodzko-Zajko, W. J., & Morre, K. A. (1994). Physical fitness and cognitive functioning in aging. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 22, 195-220.
- Chodzko-Zajko, W. J., Schuler, P., Solomon, J., Heinl, B., & Ellis, N. R. (1992). The influence of physical fitness on automatic and effortful memory changes in aging. *The International Journal of Aging and Human Development*, 35(4), 265-285.
- Christensen, H., Korten, A., Jorm, A. F., Henderson, A. S., Scott, R., & Mackinnon, A. J. (1996). Activity levels and cognitive functioning in an elderly community sample. *Age and Ageing*, 25(1), 72-80.
- Churchill, J. D., Galvez, R., Colcombe, S., Swain, R. A., Kramer, A. F., & Greenough, W. T. (2002). Exercise, experience and the aging brain. *Neurobiology of Aging*, 23(5), 941-955.
- Clark, J. E., Lanphear, A. K., & Riddick, C. C. (1987). The effects of videogame playing on the response selection processing of elderly adults. *Journal of Gerontology*, 42(1), 82-85.
- Clarkson-Smith, L., & Hartley, A. A. (1989). Relationships between physical exercise and cognitive abilities in older adults. *Psychology and Aging*, 4(2), 183-189.
- Clarkson-Smith, L., & Hartley, A. A. (1990). Structural equation models of relationships between exercise and cognitive abilities. *Psychology and Aging*, 5(3), 437-446.
- Colcombe, S.J., Erickson, K.I., Raz, N., Webb, A.G., Cohen, N.J., McAuley, E., Kramer, A.F. (2003). Aerobic fitness reduces brain tissue loss in aging humans. *Journal of Gerontology A*, 58(2), 176-180.
- Colcombe, S.J., Kramer, A.F., Erickson, K.I., Scalf, P., McAuley, E., Cohen, N.J., Webb, A., Jerome, G.J., Marquez, D.X., Elavsky, S. (2004). Cardiovascular fitness, cortical plasticity, and aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA (PNAS)*, 101(9), 3316-3321.
- Colcombe, S., & Kramer, A. F. (2003). Fitness effects on the cognitive function of older adults: a meta-analytic study. *Psychological Science*, 14(2), 125-130.

- Connelly, D. M., Carnahan, H., & Vandervoort, A. A. (2000). Motor skill learning of concentric and eccentric isokinetic movements in older adults. *Experimental Aging Research*, 26, 209-228.
- Contreras-Vidal, J. L., Teulings, H. L., & Stelmach, G. E. (1998). Elderly subjects are impaired in spatial coordination in fine motor control. *Acta Psychologica*, 100, 25-35.
- Craik, F. I. M. (1994). Memory changes in normal aging. *Current Directions in Psychological Science*, 3(5), 155-158.
- Curran, T. (1997). Effects of aging on implicit sequence learning: Accounting for sequence structure and explicit knowledge. *Psychological Research*, 60(1-2), 24-41.
- DiPietro, L., Seeman, T. E., Merrill, S. E., & Berkman, L. F. (1996). Physical activity and measures of cognitive function in healthy older adults: the MacArthur study of successful aging. *Journal of Aging and Physical Activity*, 4, 362-376.
- Dishman, R. (à paraître). Measurement of physical activity. In L. Poon & P. D. Tomporowski & W. J. Chodzko-Zajko (Eds.), *Aging, exercise and cognition: The impact of exercise/activities on everyday functioning of older adults*. (Vol. 1). New-York: Springer.
- Durkin, M., Prescott, L., Furchtgott, E., Cantor, J., & Powell, D. A. (1995). Performance but not acquisition of skill learning is severely impaired in the elderly. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 20, 167-183.
- Dustman, R. E., Emmerson, R., & Shearer, D. (1994). Physical activity, age, and cognitive-neuropsychological function. *Journal of Aging and Physical Activity*, 2, 143-181.
- Elsayed, M., Ismail, A. H., & Young, R. J. (1980). Intellectual differences of adult men related to age and physical fitness before and after an exercise program. *Journal of Gerontology*, 35(3), 383-387.
- Elward, K., & Larson, E. B. (1992). benefits of exercise for older adults. A review of existing evidence and current recommendations for the general population. *Clinics in Geriatric Medicine*, 8(1), 35-50.
- Emery, C. F., Burkner, E. J., & Blumenthal, J. A. (1991). Psychological and physiological effects of exercise among older adults. In K. W. Schaie (Ed.), *Annual review of gerontology and geriatrics* (Vol. 11, pp 218-238). New-York: Springer.
- Emery, C. F., Huppert, F. A., & Schein, R. L. (1995). Relationships among age, exercise, health, and cognitive function in a British sample. *The Gerontologist*, 35(3), 378-385.
- Era, P., Jokela, J., & Heikkinen, E. (1986). Reaction and movement times in men of different ages: a population study. *Perceptual and Motor Skills*, 63, 111-130.

- Etnier, J. L. (à paraître). Interrelationships of exercise, mediator variables, and cognition. In W. W. Spirduso & L. Poon & W. J. Chodzko-Zajko (Eds.), *Aging, Exercise, and Cognition: Exercise effects on mediators of cognition in older adults* (Vol. 2). New-York: Springer.
- Etnier, J. L., & Landers, D. M. (1997). The influence of age and fitness on performance and learning. *Journal of Aging and Physical Activity*, 5, 175-189.
- Etnier, J. L., & Landers, D. M. (1998). Motor performance and motor learning as a function of age and fitness. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 69(2), 136-146.
- Etnier, J. L., Romero, D. H., & Traustadottir, T. (2001). Acquisition and retention of motor skills as a function of age and aerobic fitness. *Journal of Aging and Physical Activity*, 9, 425-437.
- Etnier, J. L., Salazar, W., Landers, D. M., Petruzzello, S. J., Han, M., & Nowell, P. (1997). The influence of physical fitness and exercise upon cognitive functioning: a meta-analysis. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 19(3), 249-277.
- Etnier, J. L., Sibley, B. A., Pomeroy, J., & Kao, J. C. (2003). Components of Response Time as a function of age, physical activity, and aerobic fitness. *Journal of Aging and Physical Activity*, 11, 319-332.
- Fabre, C., Chamari, K., Mucci, P., Massé-Biron, J., & Préfaut, C. (2002). Improvement of cognitive function by mental and/or individualized aerobic training in healthy elderly subjects. *International Journal of Sports Medicine*, 23(6), 415-421.
- Falduto, L. L., & Baron, A. (1986). Age-related effects of practice and task complexity on card sorting. *Journal of Gerontology*, 41, 659-661.
- Famose, J. P. (1990). *Apprentissage moteur et difficulté de la tâche*. Paris: INSEP Publications.
- Ferrandez, A. M., & Teasdale, N. (1996). *Changes in sensory motor behavior in aging*. Amsterdam: Elsevier.
- Feyereisen, P. (1994). Représentation et organisation de l'action chez le sujet âgé. In M. Van der Linden & M. Hupet (Eds.), *Le vieillissement cognitif* (pp. 271-298). Paris: PUF.
- Fezzani, K. (1995). *Demande attentionnelle et apprentissage implicite dans une tâche de pointage visuo-moteur séquentiel : exploration de la situation de double apprentissage séquentiel*. Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse.
- Fillit, H. M., Butler, R. N., O'Connel, A. W., Albert, M. S., Birren, J. E., Cotman, C. W., Greenough, W. T., Gold, P. E., Kramer, A. F., Kuller, L. H., Perls, T. T., Sahagan, B.

- G., & Tully, T. (2002). Achieving and maintaining cognitive vitality with aging. *Mayo Clinic Proceedings*, 77(7), 681-696.
- Fisk, A. D., & Rogers, W. A. (1991). Development of skilled performance: an age-related perspective. In D. L. Damos (Ed.), *Multiple-task performance* (pp 415-443). London: Taylor & Francis.
- Fisk, A. D., & Rogers, W. A. (2000). Influence on training and experience on skill acquisition and maintenance in older adults. *Journal of Aging and Physical Activity*, 8, 373-378.
- Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology: General*, 47, 381-391.
- Fitts, P. M., & Peterson, J. (1964). Information capacity of discrete motor responses. *Journal of Experimental Psychology: General*, 67, 103-112.
- Fox, E., & Mathews, T. (1984). *Bases physiologiques de l'exercice physique*. Paris: Vigot.
- Fozard, J. L. (1999). Epidemiologists try many ways to show that physical activity is good for senior's health and longevity. Review of special issue of Journal of Aging and Physical Activity: the Evergreen Project. *Experimental Aging Research*, 25(2), 175-182.
- Fozard, J. L., Vercruyssen, M., Reynolds, S. L., Hancock, P. A., & Quilter, R. E. (1994). Age differences and changes in reaction time: the Baltimore longitudinal study of aging. *Journal of Gerontology*, 49(4), P179-P189.
- Frensch, P. A., Buchner, A., & Lin, J. (1994). Implicit learning of unique and ambiguous serial transitions in the presence and absence of a distractor task. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 20, 567-584.
- Frensch, P. A., Lin, J., & Buchner, A. (1998). Learning versus behavioral expression of the learned: the effects of a secondary tone-counting task on implicit learning in the serial reaction task. *Psychological Research*, 61, 83-98.
- Ginet, J. (1995). Activités physiques et sportives et vieillissement: comment repousser la survenue de la dépendance. *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine*, 179(7), 1493-1503.
- Goggin, N. L., & Meeuwse, H. J. (1992). Age-related differences in the control of spatial aiming movements. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 63(4), 366-372.
- Gomez-Pinilla, F., So, V., & Kesslak, P. (1998). Spatial learning and physical activity contribute to the induction of fibroblast growth factor: neural substrates for increased cognition associated with exercise. *Neuroscience*, 85(1), 53-61.
- Gottsdanker, R. (1980). Aging and the use of advance probability information. *Journal of Motor Behavior*, 12(2), 133-143.

- Gottsdanker, R. (1982). Age and simple Reaction Time. *Journal of Gerontology*, 37(3), 342-348.
- Grady, C. L., & Craik, F. I. M. (2000). Changes in memory processing with age. *Current Opinion in Neurobiology*, 10, 224-231.
- Greene, L. S., & Williams, H. G. (1996). Aging and coordination from the dynamic pattern perspective. In A. M. Ferrandez & N. Teasdale (Eds.), *Changes in sensory motor behavior in aging* (pp 89-131). Amsterdam: Elsevier.
- Grégoire, J. (1993). Intelligence et vieillissement au WAIS-R : Une analyse transversale de l'échantillon d'étalonnage français avec contrôle du niveau scolaire. *L'année Psychologique*, 93, 379-400.
- Haaland, K. Y., Harrington, D. L., & Grice, J. W. (1993). Effect of aging on planning and implementing arm movements. *Psychology and Aging*, 8(4), 617-632.
- Hale, S., Myerson, J., & Wagstaff, D. (1987). General slowing of nonverbal information processing: evidence for a power law. *Journal of Gerontology*, 42(2), 131-136.
- Hall, C. D., Smith, A. L., & Keele, S. W. (2001). The impact of aerobic activity on cognitive function in older adults: a new synthesis based on the concept of executive control. *European Journal of Cognitive Psychology*, 13(1/2), 279-300.
- Harrington, D. L., & Haaland, K. Y. (1992). Skill learning in the elderly: diminished implicit and explicit memory for a motor sequence. *Psychology and Aging*, 7(3), 425-434.
- Hassmen, P., Ceci, R., & Backman, L. (1992). Exercise for older women: a training method and its influences on physical and cognitive performance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 64(5), 460-466.
- Hauer, K., Specht, N., Schuler, M., Bärtsch, P., & Oster, P. (2002). Intensive physical activity training in geriatric patients after severe falls and hip surgery. *Age and Ageing*, 31, 49-57.
- Hawkins, H. L., Kramer, A. F., & Capaldi, D. (1992). Aging, exercise, and attention. *Psychology and Aging*, 7(4), 643-653.
- Hayes, K. C., & Marteniuk, R. G. (1976). Dimensions of motor task complexity. In G. E. Stelmach (Ed.), *Motor Control: issues and trends* (pp 201-228). New-York: Academic Press.
- Hayes, N. A., & Broadbent, D. E. (1988). Two modes of learning for interactive tasks. *Cognition*, 28, 249-276.

- Henry, F. M., & Rogers, D. E. (1960). Increased response latency for complicated movements and a "memory drum" theory of neuromotor reaction. *Research Quarterly*, 31, 448-458.
- Hick, W. E. (1952). On the rate of gain of information. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 4, 11-26.
- Hill, R. D., Storandt, M., & Malley, M. (1993). The impact of long-term exercise training on psychological function in older adults. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 48, P12-P17.
- Howard, D. V., & Howard, J. H. (1989). Age differences in learning serial patterns: direct versus indirect measures. *Psychology and Aging*, 4(3), 357-364.
- Howard, D. V., & Howard, J. H. (1992). Adult age differences in the rate of learning serial patterns - Evidence from direct and indirect tests. *Psychology and Aging*, 7(2), 232-241.
- Howard, D. V., & Howard, J. H. (2001). When it does hurt to try: adult age differences in the effects of instructions on implicit pattern learning. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8(4), 798-805.
- Howard, J. H., & Howard, D. V. (1997). Age differences in implicit learning of higher order dependencies in serial patterns. *Psychology and Aging*, 12(4), 634-656.
- Hoyer, W. J., & Lincourt, A. E. (1998). Aging and the development of learning. In M. A. Stadler & P. A. French (Eds.), *Handbook of implicit learning* (pp 445-470). Thousand Oaks: Sage Publication.
- Hultsch, D. F., & Dixon, R. A. (1990). Learning and memory in aging. In J. E. Birren & K. W. Schaie (Eds.), *Handbook of the psychology of aging* (Third Edition ed., pp. 258-274). New-York: Academic Press.
- Hultsch, D.F., MacDonald, S.W.S., & Dixon, R.A. (2002). Variability in reaction time performance of younger and older adults. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 57B(2), P101-P115.
- Hyman, R. (1953). Stimulus information as a determinant of reaction time. *Journal of Experimental Psychology*, 45(3), 188-196.
- Inui, N. (1997). Simple reaction times and timing of serial reactions of middle-aged and old men. *Perceptual and Motor Skills*, 84(1), 219-225.
- Isingrini, M. (1998). Vieillesse et tâches implicites de mémoire: données et interprétations. *Psychologie Française*, 43(1), 39-54.

- Isingrini, M., & Taconnat, L. (1997). Aspects du vieillissement normal de la mémoire. *Psychologie Française*, 42(4), 319-331.
- James, D., & Coyle, C. (1998). Physical exercise, IQ scores and working memory in older adult men. *Education and Aging*, 13(1), 37-48.
- Jeandel, C. (1995). Effets des activités physiques sur le vieillissement cognitif. *L'année Gerontologique*, 9, 353-366.
- Jordan, T. C., & Rabbitt, P. M. A. (1977). Response times to stimuli of increasing complexity as a function of ageing. *British Journal of Psychology*, 68(2), 189-201.
- Kausler, D. (1994). *Learning and memory in normal aging*. San Diego: Academic Press.
- Kay, H. (1951). Learning of serial task by different age groups. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 3, 166-183.
- Ketcham, C. J., Seidler, R. D., Van Gemmert, A. W. A., & Stelmach, G. E. (2002). Age-related kinematic differences as influenced by task difficulty, target size, and movement amplitude. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 57B(1), P54-P64.
- Ketcham, C. J., & Stelmach, G. E. (2001). Age-related declines in motor control. In J. E. Birren & K. W. Schaie (Eds.), *Handbook of the Psychology of Aging* (fifth ed., pp. 313-348). San Diego: Academic Press.
- King, A. C., Rejeski, W. J., & Buchner, D. M. (1998). Physical activity interventions targeting older adults: a critical review and recommendations. *American Journal of Preventive Medicine*, 15(4), 316-333.
- Kozma, A., Stones, M. J., & Hannah, T. E. (1991). Age, activity, and physical performance: an evaluation of performance models. *Psychology and Aging*, 6(1), 43-49.
- Kramer, A. F. (2000). Physical and mental training: implications for cognitive functioning in old age. *Journal of Aging and Physical Activity*, 8, 363-365.
- Kramer, A. F., Hahn, S., Cohen, N. J., Banich, M. T., McAuley, E., Harrison, C. R., Chason, J., Vakil, E., Bardell, L., Boileau, R. A., & Colcombe, A. (1999). Ageing, fitness and neurocognitive function. *Nature*, 400, 418-419.
- Kramer, A. F., Hahn, S., & Gopher, D. (1999). Task coordination and aging: explorations of control executive processes in the task switching paradigm. *Acta Psychologica*, 101(2-3), 339-378.
- Kramer, A. F., Hahn, S., & McAuley, E. (2000). Influence of aerobic fitness on the neurocognitive function of older adults. *Journal of Aging and Physical Activity*, 8, 379-385.

- Kramer, A. F., Hahn, S., McAuley, E., Cohen, N. J., Banich, M. T., Harrison, C., Chason, J., Boileau, R. A., Bardell, L., Colcombe, A., & Vakil, E. (2002). Exercise, aging, and cognition: healthy body, healthy mind? In W. A. Rogers & A. D. Fisher (Eds.), *Human factors interventions for the health care of older adults* (pp. 91-120). Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- Krampe, R. T. (2002). Aging, expertise and fine motor movement. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 26, 769-776.
- Kretchmar, R. S. (2000). Physical activity, aging, and disability. *Quest*, 52, 331-332.
- Kriska, A.M. (1997). Modifiable Activity Questionnaire. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 29(Suppl. 6), S73-S78.
- Laurin, D., Verreault, R., Lindsay, J., MacPherson, K., & Rockwood, K. (2001). Physical activity and risk of cognitive impairment and dementia in elderly persons. *Archives of Neurology*, 58(3), 498-504.
- Li, K. Z. H., & Lindenberger, U. (2002). Relations between aging sensory/sensorimotor and cognitive functions. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 26, 777-783.
- Li, K. Z. H., Lindenberger, U., Freund, A. M., & Baltes, P. B. (2001). Walking while memorizing: age-related differences in compensatory behavior. *Psychological Science*, 12(3), 230-237.
- Liao, M.-J., Jagacinski, J., & Greenberg, N. (1997). Quantifying the performance limitations of older and younger adults in a target acquisition task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23(6), 1644-1664.
- Light, K. E. (1990). Information processing for motor performance in aging adults. *Physical Therapy*, 70(12), 820-826.
- Light, K. E., Reilly, M. A., Behrman, A. L., & Spirduso, W. W. (1996). Reaction Times and Movement Times: benefits of practice to younger and older adults. *Journal of Aging and Physical Activity*, 4, 27-41.
- Light, K. E., & Spirduso, W. W. (1990). Effects of adult aging on the movement complexity factor of response programming. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 45(3), P107-109.
- Light, L. L., & Singh, A. (1987). Implicit and explicit memory in young and older adults. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 13, 531-541.
- Lindenberger, U. (2000). Avec l'âge, il existe un lien entre fonctionnement sensoriel ou sensori-moteur et fonctionnement cognitif. In D. Brouillet & A. Syssau (Eds.), *Le*

- vieillessement cognitif normal : vers un modèle explicatif du vieillissement* (pp 250-271). Bruxelles: DeBoeck Université.
- Lindenberger, U., Marsiske, M., & Baltes, P. B. (2000). Memorizing while walking: increase in dual-task costs from young adulthood to old age. *Psychology and Aging*, 15(3), 417-436.
- Lindenberger, U., Scherer, H., & Baltes, P. B. (2001). The strong connection between sensory and cognitive performance in old age: not due to sensory acuity reduction operating during cognitive assessment. *Psychology and Aging*, 16(2), 196-205.
- Lobjois, R. (2002). *Vieillessement, pratique sportive et coordinations visuomotrices*. Thèse de Doctorat, Université Paris XI, Paris.
- Lupinacci, N. S., Rikli, R. E., Jones, C. J., & Ross, D. (1993). Age and physical activity effects on reaction time and digit symbol substitution performance in cognitively active adults. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 64(2), 144-150.
- Madden, D. J., Blumenthal, J. A., Allen, P. A., & Emery, C. F. (1989). Improving aerobic capacity in healthy older adults does not necessarily lead to improved cognitive performance. *Psychology and Aging*, 4(3), 307-320.
- Maquestiaux, F. (2003). *Vieillessement cognitif, interférence en double tâche, et effets de l'exercice*. Thèse de Doctorat, Université Paris XI, Paris.
- Marquié, J. C. (1997). Vieillessement cognitif et expérience: l'hypothèse de la préservation. *Psychologie Française*, 42(4), 333-344.
- Marquié, J. C., & Isingrini, M. (2001). Aspects cognitifs du vieillissement normal. In J. M. Albaret & E. Aubert (Eds.), *Vieillessement et psychomotricité* (pp. 77-113). Marseille: Solal.
- Maylor, E. A., & Wing, A. M. (1996). Age differences in postural stability are increased by additional cognitive demands. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 51B(3), P143-P154.
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (1996). *Exercise physiology: energy, nutrition, and human performance* (fourth ed.). Baltimore: Williams & Wilkins.
- McAuley, E., Kramer, A.F., Colcombe, S.J. (2004). Cardiovascular fitness and neurocognitive function in older adults: a brief review. *Brain, Behavior, and Immunity*, 18, 214-220.
- McDowd, J. M., & Birren, J. E. (1990). Aging and attentional processes. In J. E. Birren & K. W. Schaie (Eds.), *Handbook of the Psychology of Aging* (Third ed., pp 222-233). San Diego: Academic Press.

- McDowd, J. M., & Craik, F. I. M. (1988). Effects of aging and task difficulty on divided attention performance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14(2), 267-280.
- McDowd, J. M., Vercruyssen, M., & Birren, J. E. (1991). Aging, divided attention, and dual-task performance. In D. L. Damos (Ed.), *Multiple-task performance* (pp 387-414). London: Taylor & Francis.
- McPherson, B. D. (1994). Sociocultural perspectives on aging and physical activity. *Journal of Aging and Physical Activity*, 2, 329-353.
- Meyer, D. E., Abrams, R. A., Kornblum, S., Wright, C. E., & Smith, J. E. K. (1988). Optimality in human motor performance: Ideal control of rapid aimed movements. *Psychological Review*, 95, 340-370.
- Meyer, D. E., Glass, J. M., Mueller, S. T., Seymour, T. L., & Kieras, D. E. (2001). Executive-process interactive control: a unified computational theory for answering 20 questions (and more) about cognitive ageing. *European Journal of Cognitive Psychology*, 13(1/2), 123-164.
- Morgan, M., Phillips, J. G., Bradshaw, J. L., Mattingley, J. B., Iansek, R., & Bradshaw, J. A. (1994). Age-related motor slowness: simply strategic? *Journal of Gerontology: Medical Sciences*, 49(3), M133-M139.
- Myerson, J., Hale, S., Wagstaff, D., Poon, L. W., & Smith, G. A. (1990). The information-loss model: a mathematical theory of age-related cognitive slowing. *Psychological Review*, 97(4), 475-487.
- Myerson, J., Wagstaff, D., & Hale, S. (1994). Brinley plots, explained variance, and the analysis of age differences in response latencies. *Journal of Gerontology*, 49(2), P72-P80.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.
- Nissen, M. J., & Bullemer, P. (1987). Attentional requirements of learning: Evidence from performance measures. *Cognitive Psychology*, 19, 1-32.
- Nissen, M. J., Willingham, D. B., & Hartman, M. (1989). Explicit and implicit remembering: when is learning preserved in amnesia? *Neuropsychologia*, 27, 341-352.
- Normand, R., Kerr, R., & Métivier, G. (1987). Exercise, aging and fine motor performance: an assessment. *Journal of Sports Medicine*, 27, 488-496.

- Offenbach, S. I., Chodzko-Zajko, W. J., & Ringel, R. L. (1990). Relationship between physiological status, cognition, and age in adult men. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 28(2), 112-114.
- Paffenberger, R. S., Jr., & Lee, I. M. (1996). Physical activity and fitness for health and longevity. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 67(S3), 11-28.
- Paillard, T., Sablayrolles, M., Costes-Salon, M. C., Lafont, C., Dupui, P., & Rivière, D. (2001). Influence d'un programme de marche sur la consommation maximale d'oxygène (VO² max) et les aptitudes psychomotrices de sujets âgés sains et actifs. *Science et Sport*, 16, 32-35.
- Panton, L. B., Graves, J. E., Pollock, M. L., Hagberg, J. M., & Chen, W. (1990). Effect of aerobic and resistance training on fractionated Reaction Time and speed of movement. *Journal of Gerontology : Medical Sciences*, 45(1), M26-31.
- Pereira, M. A., Fitzgerald, S. J., Gregg, E. W., Joswiak, M. L., Ryan, W. J., Suminski, R. R., Utter, A. C., & Zmuda, J. M. (1997). A collection of Physical Activity Questionnaires for health-related research. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 29(suppl.6).
- Perruchet, P., & Nicolas, S. (1998). L'apprentissage implicite: un débat théorique. *Psychologie Française*, 43(1), 13-25.
- Piquard, A., Bakchine, S., & Derouesné, C. (2003). Fonctions exécutives : ambiguïtés et limites. In B.F. Michel, C. Derouesné, & R. Arnaud-Castiglioni (Eds.), *Dysfonctionnement frontal dans les démences* (pp. 775-87). Marseille: Solal.
- Pohl, P. S., & Winstein, C. J. (1998). Age-related effects on temporal strategies to speed motor performance. *Journal of Aging and Physical Activity*, 6, 45-61.
- Pohl, P. S., Winstein, C. J., & Fisher, B. E. (1996). The locus of age-related movement slowing: sensory processing in continuous goal-directed aiming. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 51B(2), P94-P102.
- Powell, R. R., & Pohndorf, R. H. (1971). Comparison of adult exercisers and nonexercisers on fluid intelligence and selected physiological variables. *The Research Quarterly*, 42(1), 70-77.
- Pratt, J., Chasteen, A. L., & Abrams, R. A. (1994). Rapid aimed limb movements: age differences and practice effects in component submovements. *Psychology and Aging*, 9(2), 325-334.
- Rabbitt, P., & Vyas, S. M. (1980). Selective anticipation for events in old age. *Journal of Gerontology*, 35(6), 913-919.

- Raz, N., Williamson, A., Gunning-Dixon, F., Head, D., & Acker, J. D. (2000). Neuroanatomical and cognitive correlates of adult age differences in acquisition of a perceptual-motor skill. *Microscopy Research and Technique*, 51, 85-93.
- Reber, A. S. (1989). Implicit learning and tacit knowledge. *Journal of Experimental Psychology: General*, 3, 219-235.
- Reber, A. S. (1993). *Implicit learning and tacit knowledge: An essay on the cognitive unconscious*. New-York: Oxford University Press.
- Rikli, R. E., & Busch, S. (1986). Motor performance of women as a function of age and physical activity level. *Journal of Gerontology*, 41, 645-649.
- Rikli, R. E., & Edwards, D. J. (1991). Effects of a 3-year exercise program on motor function and cognitive processing speed in older women. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 62, 61-67.
- Rikli, R. E., & Jones, C. J. (1995). Age, cognitive processing speed, and exercise: a critical overview. In S. Harris, W. S. Harris & E. Heikkinen (Eds.), *Physical Activity, aging and sports* (Vol. IV, pp 47-54). Albany: Center for the Study of Aging.
- Roberts, M. J., & Russo, R. (1999). *a student's guide to analysis of variance*. London: Routledge.
- Rogers, W. A. (1996). Assessing age-related differences in the long-term retention of skills. In W. A. Rogers, A. D. Fisk & N. Walker (Eds.), *Aging and skilled performance - advances in theory and applications* (pp 185-200). Mahwah: Laurence Erlbaum Associates.
- Roller, C. A., Cohen, H. S., Kimball, K. T., & Bloomberg, J. J. (2002). Effect of normal aging on visuo-motor plasticity. *Neurobiology of Aging*, 23(1), 117-123.
- Romero, D. H., Van Gemmert, A. W. A., Adler, C. H., Bekkering, H., & Stelmach, G. E. (2003). Time delays prior to movement alter the drawing kinematics of elderly adults. *Human Movement Science*, 22, 207-220.
- Rosenbaum, D. A. (1980). Human movement initiation: specification of arm, direction, and extent. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109(4), 444-474.
- Rubichi, S., Neri, M., & Nicoletti, R. (1999). Age-related slowing of control processes: evidence from a response coordination task. *Cortex*, 35, 573-582.
- Rudisill, M. E., & Toole, T. (1992). The Effects of a physical activity program on reaction time and movement time for the older adult. *Journal of Human Movement Studies*, 22(6), 205-212.

- Ruuskanen, J. M., & Ruoppila, I. (1995). Physical activity and psychological well-being among people aged 65 to 84 years. *Age and Ageing*, 24(4), 292-296.
- Salthouse, T. A. (1991). *Theoretical perspectives on cognitive aging*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, 103(3), 403-428.
- Salthouse, T. A., Kausler, D. H., & Saults, J. S. (1990). Age, self-assessed health status, and cognition. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 45(4), P156-160.
- Salthouse, T. A., McGuthry, K. E., & Hambrick, D. Z. (1999). A framework for analyzing and interpreting differential aging patterns: application to three measures of implicit learning. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 6(1), 1-18.
- Salthouse, T. A., & Somberg, B. L. (1982a). Skilled performance: effects of adult age and experience on elementary processes. *Journal of Experimental Psychology: General*, 111(2), 176-207.
- Salthouse, T. A., & Somberg, B. L. (1982b). Time-accuracy relationships in young and old adults. *Journal of Gerontology*, 37(3), 349-353.
- Schacter, D.L. (1997). The cognitive neuroscience of memory: perspectives from neuroimaging research. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London (B)*, 352, 1689-1695.
- Schacter, D.L., Buckner, R.L., & Koutstaal, W. (1998). Memory, consciousness and neuroimaging. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London (B)*, 353, 1861-1878.
- Schmidt, R. A. (1993). *Apprentissage moteur et performance*. Paris: Vigot.
- Schvaneveldt, R. W., & Gomez, R. L. (1998). Attention and probabilistic sequence learning. *Psychological Research*, 61, 175-190.
- Seger, C. A. (1994). Implicit learning. *Psychological Bulletin*, 115(2), 163-196.
- Seidler-Dobrin, R. D., & Stelmach, G. E. (1998). Persistence in visual feedback control by the elderly. *Experimental Brain Research*, 119, 467-474.
- Shephard, R. J. (1997). *Aging, physical activity, and health*. Champaign: Human Kinetics.
- Skelton, D. A. (2001). Effects of physical activity on postural stability. *Age and Ageing*, 30(S4), 33-39.
- Smith, C. D., Umberger, G. H., Manning, E. L., Slevin, J. T., Wekstein, D. R., Schmitt, F. A., Markesbery, W. R., Zhang, Z., Gerhardt, G. A., Kryscio, R. J., & Gash, D. M. (1999).

- Critical decline in fine motor hand movements in human aging. *Neurology*, 53, 1458-1461.
- Spirduso, W. W. (1975). Reaction and movement time as a function of age and physical activity level. *Journal of Gerontology*, 30(4), 435-440.
- Spirduso, W. W. (1980). Physical fitness, aging, and psychomotor speed: a review. *Journal of Gerontology*, 35(6), 850-865.
- Spirduso, W. W. (1995). *Physical dimensions of aging*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Spirduso, W. W., & Clifford, P. (1978). Replication of age and physical activity effects on reaction and movement time. *Journal of Gerontology*, 33(1), 26-30.
- Spirduso, W. W., MacRae, H. H., MacRae, P. G., Prewitt, J., & Osborne, L. (1988). Exercise effects on aged motor function. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 515, 363-375.
- Spirduso, W. W., & MacRae, P. G. (1990). Motor performance and aging. In J. E. Birren & K. W. Schaie (Eds.), *Handbook of the Psychology of Aging* (Third ed., pp 183-200). San Diego: Academic Press.
- Squire, L. R. (1992). Declarative and nondeclarative memory: Multiple brain systems supporting learning and memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 4, 232-243.
- Stadler, M. A. (1992). Statistical structure and implicit serial learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 18, 318-327.
- Stadler, M. A., & Neely, C. B. (1997). Effects of sequence length and structure on implicit serial learning. *Psychological Research*, 60, 14-23.
- Starkes, J. L., Weir, P. L., Singh, P., Hodges, N. J., & Kerr, T. (1999). Aging and the retention of sport expertise. *International Journal of Sport Psychology*(30), 283-301.
- Stelmach, G. E. (1994). Physical activity and aging: sensory and perceptual processing. In C. Bouchard, R. J. Shephard & T. Stephens (Eds.), *Physical activity, fitness and health* (pp 504-509). Champaign: Human Kinetics.
- Stelmach, G. E., Goggin, N. L., & Amrhein, P. C. (1988). Aging and the restructuring of precued movements. *Psychology and Aging*, 3(2), 151-157.
- Stelmach, G. E., Goggin, N. L., & Garcia-Colera, A. (1987). Movement specification time with age. *Experimental Aging Research*, 13, 39-46.
- Stelmach, G. E., & Homberg, V. (1993). *Sensory-motor impairment in the elderly*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

- Stones, M. J., & Kozma, A. (1988). Physical activity, age and cognitive/motor performance. In L. Howe & C. J. Brainerd (Eds.), *Cognitive Development in Adulthood* (pp. 271-321). New York: Springer-Verlag.
- Stones, M. J., & Kozma, A. (1989). Aging, exercise, and coding performance. *Psychology and Aging*, 4(2), 190-194.
- Stones, M. J., & Kozma, A. (1996). Activity, exercise, and behavior. In J. E. Birren & K. W. Schaie (Eds.), *Handbook of the Psychology of Aging* (fourth ed., pp. 338-352). San Diego: Academic Press.
- Strayer, D. L., & Kramer, A. F. (1994). Aging and skill acquisition: learning-performance distinctions. *Psychology and Aging*, 9(4), 589-605.
- Swanson, L. R., & Lee, T. D. (1992). Effects of aging and schedules of Knowledge of Results on motor learning. *Journal of Gerontology*, 47(6), 406-411.
- Swinnen, S. P., Verschueren, S. M. P., Bogaerts, H., Dounskaia, N., Lee, T. D., Stelmach, G. E., & Serrien, D. J. (1998). Age-related deficits in motor learning and differences in feedback processing during the production of a bimanual coordination pattern. *Cognitive Neuropsychology*, 15(5), 439-466.
- Thomas-Ollivier, V. (1997). *Analyse de la mémoire procédurale à travers l'étude du vieillissement normal et pathologique*. Thèse de Doctorat, Université de Rennes 2, Rennes.
- Tomporowski, P. D. (1997). The effects of physical and mental training on the mental abilities of older adults. *Journal of Aging and Physical Activity*, 5, 9-26.
- Toole, T., Park, S., & Al-Ameer, H. (1993). Years of physical activity can affect simple and complex cognitive/motor speed in older adults. In G. E. Stelmach & V. Hömberg (Eds.), *Sensorimotor impairment in the Elderly* (pp. 427-439). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Ungerleider, L.G., Doyon, J., & Karni, A. (2002). Imaging brain plasticity during motor skill learning. *Neurobiology of Learning and Memory*, 78, 553-564.
- Vakil, E., & Agmon-Ashkenazi, D. (1997). Baseline performance and learning rate of procedural and declarative memory tasks: younger versus older adults. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 52B(5), P229-P234.
- Van Boxtel, M. P. J., Paas, F. G., Houx, P. J., Adam, J. J., Teeken, J. C., & Jolles, J. (1997). Aerobic capacity and cognitive performance in a cross-sectional aging study. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 29(10), 1357-1365.

- Van der Linden, M. (1994). Mémoire à long terme et vieillissement. In M. Van der Linden & M. Hupet (Eds.), *Le vieillissement cognitif* (pp. 87-140). Paris: PUF.
- Van der Linden, M., & Hupet, M. (1994). *Le vieillissement cognitif*. Paris: Presses Universitaires de France.
- van Praag, H., Christie, B. R., Sejnowski, T. J., & Gage, F. H. (1999). Running enhances neurogenesis, learning, and long-term potentiation in mice. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA (PNAS)*, 96(9), 13427-13431.
- Vuillemin, A., Denis, G., Guillemin, F., & Jeandel, C. (1998). Revue des questionnaires d'évaluation de l'activité physique. *Revue d'Epidémiologie et de Santé Publique*, 46, 49-55.
- Vuillemin, A., Guillemin, F., Denis, G., Huot, J., & Jeandel, C. (2000). A computer-assisted assessment of lifetime physical activity: reliability and validity of the QUANTAP software. *Revue d'Epidémiologie et de Santé Publique*, 48, 157-167.
- Vuillemin, A., Oppert, J.-M., Guillemin, F., Essermeant, L., Fontvieille, A.-M., Galan, P., Kriska, A. M., & Hercberg, S. (1999). Self-administered questionnaire compared with interview to assess past-year physical activity. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(6), 1119-1124.
- Walker, N., Philbin, D. A., & Spruell, C. (1996). The use of signal detection theory in research on age-related differences in movement control. In W. A. Rogers & A. D. Fisk & N. Walker (Eds.), *Aging and skilled performance - advances in theory and applications-* (pp 45-64). Mahwah: Laurence Erlbaum Associates.
- Wannamethee, S. G., Shaper, A. G., & Walker, M. (1998). Changes in physical activity, mortality, and incidence of coronary heart disease in older men. *The Lancet*, 351(9116), 1603-1608.
- Wechsler, D. (2000). *WAIS-III: Manuel de l'échelle d'intelligence de Wechsler pour adultes*. Paris: Les Editions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Weineck, J. (1997). *Manuel d'entraînement* (fourth ed.). Paris: Vigot.
- Welford, A. T., Norris, A. H., & Shock, N. W. (1969). Speed and accuracy of movement and their changes with age. *Acta Psychologica*, 30, 3-15.
- Williams, P., & Lord, S. R. (1997). Effects of group exercise on cognitive functioning and mood in older women. *Australian & New Zeland Journal of Public Health*, 21(1), 45-52.

- Willingham, D. B. (1998). Implicit learning and motor skill learning in older subjects. In M. A. Stadler & P. A. French (Eds.), *Handbook of Implicit Learning* (pp. 573-594). Thousand Oaks: Sage Publication.
- Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (1998). *Physiologie du sport et de l'exercice physique*. Paris, Bruxelles: DeBoeck Université.
- Winocur, G., Moscovitch, M., & Stuss, D. T. (1996). Explicit and implicit memory in the elderly: evidence for double dissociation involving medial temporal- and frontal-lobe functions. *Neuropsychology*, 10(1), 57-65.
- Wishar, L. R., Lee, T. D., Cunningham, S. J., & Murdoch, J. E. (2002). Age-related differences and the role of augmented visual feedback in learning a bimanual coordination pattern. *Acta Psychologica*, 110, 247-263.
- Wishar, L. R., Lee, T. D., Murdoch, J. E., & Hodges, N. J. (2000). Effects of aging on automatic and effortful processes in bimanual coordination. *Journal of Gerontology : Psychological Sciences*, 55B(2), P85-P94.
- Wong, A. M., Lin, Y.-C., Chou, S.-W., Tang, F.-T., & Wong, P.-Y. (2001). Coordination exercise and postural stability in elderly people: effect of Tai Chi Chuan. *Archives of Physical and Medical Rehabilitation*, 82(5), 608-612.
- Wood, R. H., Reyes-Alvarez, R., Maraj, B., Metoyer, K. L., & Welsch, M. A. (1999). Physical fitness, cognitive function, and health-related quality of life in older adults. *Journal of Aging and Physical Activity*, 7(3), 217-230.
- Woodruff-Pak, D. S. (1997). *The neuropsychology of aging*. Oxford: Blackwell.
- Wright, B. M., & Payne, R. B. (1985). Effects of aging on sex differences in psychomotor reminiscence and tracking proficiency. *Journal of Gerontology*, 40(2), 179-184.
- Yaffe, K., Barnes, D., Nevitt, M., Lui, L. Y., & Covinsky, K. (2001). A prospective study of physical activity and cognitive decline in elderly women- women who walk-. *Archives of Internal Medicine*, 161, 1703-1708.
- Yan, J. H. (2000). Effects of aging on linear and curvilinear aiming arm movements. *Experimental Aging Research*, 26, 393-407.
- Yan, J. H., Hinrichs, R. N., Payne, V. G., & Thomas, J. R. (2000). Normalized jerk: a measure to capture developmental characteristics of young girls' overarm throwing. *Journal of Applied Biomechanics*, 16, 196-203.
- Yan, J. H., Thomas, J. R., & Stelmach, G. E. (1998). Aging and rapid aiming arm movement control. *Experimental Aging Research*, 24, 155-168.

Yan, J. H., Thomas, J. R., Stelmach, G. E., & Thomas, K. T. (2000). Developmental features of rapid aiming arm movements across the lifespan. *Journal of Motor Behavior*, 32(2), 121-140.

TABLE DES MATIERES

Remerciements	2
SOMMAIRE	3
Introduction générale.....	4
Première partie : Cadre théorique.....	6
CHAPITRE I VIEILLISSEMENT, CONTRÔLE MOTEUR ET APPRENTISSAGE..	7
1. <i>Vieillessement et contrôle moteur.....</i>	7
1.1 Les travaux issus de la chronométrie mentale.....	8
1.1.1 Vieillessement et Temps de Réaction.....	8
1.1.2 Vieillessement et Temps de Mouvement.....	12
1.1.3 Vieillessement, TR et TM : conclusion	15
1.2 Études cinématiques et cinétiques du contrôle du mouvement.....	16
1.3 Mécanismes et théories explicatives	19
1.4 Vieillessement et contrôle moteur : synthèse et conclusion	20
2. <i>Vieillessement et apprentissage moteur.....</i>	22
2.1 L'âge affecte-t-il les capacités d'apprentissage moteur ?.....	23
2.2 Les facteurs modulant l'effet de l'âge sur l'apprentissage.....	25
2.2.1 L'effet de la nature de l'apprentissage	26
2.2.2 L'effet de la complexité de la tâche	29
2.2.2.1 Logique de l'hypothèse :.....	29
2.2.2.2 Vieillessement, apprentissage et complexité de la tâche	31
2.3 Vieillessement et apprentissage : synthèse et conclusion	35
3. <i>Conclusion du chapitre et ouverture.....</i>	37
CHAPITRE II LE RÔLE DE L'ACTIVITE PHYSIQUE DANS LE	
VIEILLISSEMENT DES PROCESSUS COGNITIFS ET MOTEURS.....	39
1. <i>Activité physique, exercice, fitness.....</i>	39
1.1 Définitions	39
1.2 Mesures de l'activité physique et de la fitness.....	40
1.3 Trois grands types d'étude	41
2. <i>Vieillessement, activité physique et motricité</i>	46
3. <i>Vieillessement, activité physique et cognition.....</i>	49
3.1 Vieillessement, activité physique, « intelligence » et mémoire.....	49
3.2 Vieillessement, activité physique et apprentissage	51
4. <i>Les mécanismes explicatifs.....</i>	53

5. Conclusions du chapitre et ouverture	55
Seconde partie : Cadre expérimental	58
CHAPITRE III INTRODUCTION GENERALE A L'ETUDE EMPIRIQUE.....	59
1. Problématique	59
2. Présentation générale de la population étudiée et du matériel utilisé.....	63
2.1 Caractéristiques générales des participants	63
2.2 Dispositif expérimental	65
CHAPITRE IV EXPERIENCE 1	68
1. Objectifs	68
2. Méthode.....	68
2.1 Participants	68
2.2 Matériel et Stimuli.....	69
2.3 Tâches.....	69
2.4 Procédure.....	70
2.5 Variables dépendantes.....	71
3. Résultats	72
3.1 Tâche de pointage.....	72
3.1.1 Différences initiales.....	73
3.1.2 Mesures de l'apprentissage	75
3.2 Mesures explicites	88
3.2.1 Questionnaire	88
3.2.2 Tâche de rappel explicite.....	90
4. Discussion	94
CHAPITRE V EXPERIENCE 2.....	102
1. Objectifs	102
2. Méthode.....	103
2.1 Participants	103
2.2 Matériel et stimuli	103
2.3 Tâches et procédure.....	103
3. Résultats	104
3.1 Tâche de pointage.....	104
3.2 Mesures explicites	109
3.2.1 Questionnaire	109
3.2.2 Rappel.....	109
4. Discussion	111
CHAPITRE VI EXPERIENCE 3	115

1. Objectifs	115
2. Méthode.....	117
2.1 Participants.....	117
2.2 Matériel et stimuli	119
2.3 Tâches.....	121
2.4 Procédure.....	121
2.5 Mesures et analyses :.....	122
3. Résultats	125
3.1 Tâche de prédiction	125
3.1.1 Scores de prédiction	125
3.1.2 Ecart relatif à la probabilité réelle d'apparition	131
3.1.3 Temps de Décision et Temps de Mouvement	133
3.2 Questionnaire post-expérimental.....	143
4. Discussion	145
CHAPITRE VII DISCUSSION GENERALE ET CONCLUSION	153
1. La tâche implicite de temps de réponse	154
2. La tâche de rappel.....	156
3. La tâche de prédiction.....	158
4. Les relations entre l'activité physique et le vieillissement cognitif et sensori-moteur : proposition d'une hypothèse explicative.....	160
5. Conclusion.....	169
Références bibliographiques	171
TABLE DES MATIERES	193
Liste des figures et des tableaux.....	196
ANNEXES.....	200

Liste des figures et des tableaux

<i>Figure 1 : Temps de Réaction (RT) en fonction de l'incertitude (reproduit d'après Stelmach, Goggin & Garcia-Colera, 1987)</i>	11
<i>Figure 2 : Temps de Mouvement (ms) pour des adultes jeunes et âgés en fonction de l'Indice de Difficulté lors d'une tâche de pointage (reproduit d'après Ketcham & Stelmach, 2001).</i>	14
<i>Figure 3 : Profils types de position (en haut), de vitesse (au milieu) et d'accélération (en bas), pour un sujet jeune (à gauche) et un sujet âgé (à droite). Peack Vel. = pic de vitesse ; Accel. Time = phase d'accélération ; Decel. Time = phase de décélération ; Prim. Sub. = premier sous-mouvement ; Sec. Sub = sous-mouvement secondaire (adapté d'après Ketcham et al., 2002).</i>	17
<i>Figure 4 : Schéma du dispositif expérimental, représentant un essai. Les probabilités conditionnelles associées à chaque cible sont indiquées en dessous de la cible. Les flèches indiquent la succession de localisation des cibles les plus probables (colorées en blanc) pour un essai. Un essai commence toujours par la cible n°1 et se termine par l'apparition de la cible n°14 ou n°15. Si la deuxième cible à apparaître est la n°2, la succession de localisation des cibles les plus probables est la symétrique de celle présentée sur l'image.</i>	67
<i>Tableau 1: caractéristiques des participants.</i>	69
<i>Figure 5 : Temps de Réponse (ms) des participants lors du 1^{ier} bloc de pratique en fonction de l'âge et de l'activité physique. Les barres représentent l'erreur standard.</i>	74
<i>Figure 6 : Index de Rectitude des mouvements de pointage lors du 1^{ier} bloc de pratique en fonction de l'âge et de l'activité physique. Les barres représentent l'erreur standard.</i>	75
<i>Tableau 2 : moyenne et écart-type des Temps de Réponse (ms) en fonction des probabilités</i>	76
<i>Figure 7 : évolution des Temps de Réponse (ms) avec la pratique des participants âgés et jeunes. Les barres représentent l'erreur standard.</i>	77
<i>Figure 8 : évolution des Temps de Réponse (ms) avec la pratique des participants actifs et inactifs. Les barres représentent l'erreur standard.</i>	77
<i>Figure 9 : Temps de Réponse (ms) en fonction des probabilités d'occurrence de la cible pour les participants jeunes et âgés. Les barres représentent l'erreur standard.</i>	78
<i>Figure 10 : Temps de Réponse (ms) en fonction des probabilités d'occurrence de la cible pour les participants actifs et inactifs. Les barres représentent l'erreur standard.</i>	78
<i>Figure 11 : évolution des Temps de Réponse (ms) avec la pratique en fonction des probabilités et de la taille des cibles, pour les participants actifs (en haut) et inactifs (en bas).</i>	79
<i>Figure 12a : évolution des Temps de Réponse (ms) avec la pratique en fonction des probabilités et de la taille des cibles, pour les participants jeunes actifs (en haut) et jeunes inactifs (en bas).</i>	80
<i>Figure 12b : évolution des Temps de Réponse (ms) avec la pratique en fonction des probabilités et de la taille des cibles, pour les participants âgés actifs (en haut) et âgés inactifs (en bas).</i>	81

<i>Figure 13 : évolution de l'Index de Rectitude des mouvements de pointage avec la pratique des participants âgés et jeunes. Les barres représentent l'erreur standard.</i>	83
<i>Figure 14 : évolution de l'Index de Rectitude des mouvements de pointage avec la pratique des participants actifs et inactifs. Les barres représentent l'erreur standard.</i>	83
<i>Tableau 3 : moyenne et écart-type de l'Index de Rectitude des mouvements de pointage en fonction des probabilités.</i>	83
<i>Figure 15 : Index de Rectitude des mouvements de pointages en fonction des probabilités et du Groupe d'âge. Les barres représentent l'erreur standard.</i>	84
<i>Figure 16 : évolution de l'Index de Rectitude des mouvements de pointage avec la pratique en fonction des probabilités et de la Taille des cibles.</i>	85
<i>Figure 17a: Evolution de l'Index de Rectitude des mouvements de pointage avec la pratique en fonction des probabilités et de la taille des cibles pour les participants jeunes actifs (en haut) et jeunes inactifs (en bas).</i>	86
<i>Figure 17b: Evolution de l'Index de Rectitude des mouvements de pointage avec la pratique en fonction des probabilités et de la taille des cibles pour les participants âgés actifs (en haut) et âgés inactifs (en bas).</i>	87
<i>Tableau 4 : résultats des réponses au questionnaire en fonction des groupes expérimentaux</i>	89
<i>Tableau 5 : moyenne et écart-type des scores de prédictions (%) en fonction des Probabilités lors de la Tâche de rappel. Les * signifient que les scores sont significativement différents du hasard (i.e. de 50%).</i>	91
<i>Figure 18 : Scores de prédiction (%) lors de la tâche de rappel en fonction des probabilités, pour les participants âgés (en noir) et jeunes (en blanc). Les barres représentent l'erreur standard. Les * signifient que les scores sont significativement différents du hasard (i.e. de 50%).</i>	92
<i>Figure 19 : scores de prédiction (%) lors de la tâche de rappel en fonction des probabilités et de la taille des cibles. Les barres représentent l'erreur standard. Les * signifient que les scores sont significativement différents du hasard (i.e. de 50%).</i>	93
<i>Tableau 6: moyenne et écart-type des scores de prédictions (%) en fonction des probabilités et des groupes d'âge et d'activité physique lors de la tâche de rappel</i>	94
<i>Figure 20: Temps de Réponse (ms) pour les participants âgés inactifs en fonction de la taille des cibles à pointer. Les barres représentent l'erreur standard.</i>	104
<i>Figure 21: évolution des Temps de Réponse (ms) avec la pratique en fonction des probabilités, pour les participants âgés inactifs en Condition Difficile (A), en Condition Facile (B) et en Condition Très Facile (C).</i>	106
<i>Figure 22 : évolution de l'Index de Rectitude des mouvements de pointage avec la pratique pour les participants âgés inactifs en Condition Difficile (A), en Condition Facile (B) et en Condition Très Facile (C).</i>	108
<i>Tableau 7: résultats des réponses au questionnaire en fonction des conditions de pointage.</i>	109

<i>Figure 23 : Scores de prédiction (%) lors de la tâche de rappel en fonction des probabilités, pour les participants âgés inactifs. Les barres représentent l'erreur standard. L' * signifie que le score est significativement différent du hasard (i.e. de 50%).</i>	110
<i>Tableau 8 : moyenne et écart-type des scores de prédictions (%) en fonction des probabilités et de la taille des cibles, lors de la tâche de rappel.</i>	111
<i>Tableau 9: caractéristiques des participants. APS : Activité Physiques et Sportives ; MET : Metabolic EquivalenT ; WAIS III : Weschler Adult Intelligence Scale version III.</i>	118
<i>Figure 24 : Schéma du dispositif expérimental (en haut) et représentation schématique d'une réponse (en bas).</i>	120
<i>Figure 25 : Scores de prédiction (proportion) pour les participants jeunes et âgés. Les barres représentent l'erreur standard.</i>	126
<i>Figure 26 : Scores de prédiction (proportion) en fonction des probabilités pour les participants jeunes et âgés. Les barres représentent l'erreur standard.</i>	126
<i>Figure 27 : évolution des Scores de prédiction (proportion) avec la pratique en fonction des probabilités pour les participants jeunes (à gauche) et âgés (à droite).</i>	128
<i>Figure 28a : évolution des Scores de prédiction avec la pratique en fonction des probabilités et de la taille des cibles, pour les participants jeunes inactifs (en haut) et jeunes actifs (en bas).</i>	129
<i>Figure 28b : évolution des Scores de prédiction avec la pratique en fonction des probabilités et de la taille des cibles, pour les participants âgés inactifs (en haut) et âgés actifs (en bas).</i>	130
<i>Figure 29 : Evolution des écarts relatifs avec la pratique en fonction des probabilités pour les participants jeunes (à gauche) et âgés (à droite).</i>	133
<i>Tableau 10 : moyenne et écart-type des TD (ms) en fonction des probabilités.</i>	134
<i>Figure 30 : TD (ms) en fonction des probabilités d'occurrence de la cible pour les participants jeunes et âgés. Les barres représentent l'erreur standard.</i>	135
<i>Figure31 : évolution des TD (ms) avec la pratique en fonction des probabilités pour les participants jeunes (à gauche) et âgés (à droite).</i>	136
<i>Figure 32a : évolution des TD (ms) avec la pratique en fonction des probabilités et de la taille des cibles, pour les participants jeunes inactifs (en haut) et jeunes actifs (en bas).</i>	137
<i>Figure 32b : évolution des TD (ms) avec la pratique en fonction des probabilités et de la taille des cibles, pour les participants âgés inactifs (en haut) et âgés actifs (en bas).</i>	138
<i>Tableau 11 : moyenne et écart-type des TM (ms) en fonction des probabilités.</i>	139
<i>Figure 33 : évolution des TM (ms) avec la pratique en fonction des probabilités d'apparition des cibles.</i>	140
<i>Figure 34a : évolution des TM (ms) avec la pratique en fonction des probabilités et de la taille des cibles, pour les participants jeunes inactifs (en haut) et jeunes actifs (en bas).</i>	141

Figure 34b : évolution des TM (ms) avec la pratique en fonction des probabilités et de la taille des cibles, pour les participants âgés inactifs (en haut) et âgés actifs (en bas). _____ 142

Tableau 12 : résultats des réponses au questionnaire en fonction des groupes expérimentaux __ 144

ANNEXES

Nom :

Age :

Etudes :

Métier :

Activités de loisir (hors APS) actuellement :

Activités Physiques et Sportives pratiquées :

- **actuellement :**
- quoi :

- fréquence :

- la semaine dernière :
- nombre de séances :
- durée des séances :

- **avant :**
- quoi :

- fréquence :

- « niveau » ; implication :

Nom :

Age :

Groupe :

Quelles sont vos réactions à l'issue de cette expérience ?

Avez-vous perçu des régularités pendant cette tâche ?
Si OUI, lesquelles et de quel ordre ?

OUI

NON

Pensez-vous avoir progressé, avoir amélioré vos performances durant cette tâche ?
Si OUI, comment ?

Qu'est-ce qui vous a gêné, posé le plus de problème durant cette tâche ?

Nom :

Age :

Etudes :

Métier :

Activités de loisir (hors APS) actuellement :

Activités Physiques et Sportives pratiquées :

- **actuellement :**
- quoi :

- fréquence :

- la semaine dernière :
- nombre de séances :
- durée des séances :

- **avant :**
- quoi :

- fréquence :

- « niveau » ; implication :

Questionnaire d'activité physique (MAQ)

Numéro d'identification

Code:

Année naissance : Date (réponse au questionnaire) :

Jour Mois Année

Ce questionnaire a pour but de quantifier votre activité physique régulière

Section loisirs

Question 1 - Parmi les activités listées ci-dessous, cochez celles que vous avez pratiquées au moins 10 fois au cours des 12 derniers mois :

Aérobic		Frisbee		Natation plaisir		Ski de fond	
Badminton		Golf		Natation		Ski nautique	
Basket-ball		Gymnastique		Patinage plaisir		Squash	
Bowling		Handball		Patinage		Surf	
Boxe		Hockey		Pêche		Tennis	
Canoë plaisir		Jardinage		Ping-pong		Vélo plaisir	
Canoë compétition		Jogging		Plongée sous-marine		Vélo vitesse	
Chasse		Karaté judo		Randonnée		Planche à voile	
Cheval		Kayak		Roller-skate		Voile	
Course cross		Marche plaisir		Rugby		VTT	
Danse		Marche rapide		Skateboard		Autre.....	
Football		Moto cross		Ski alpin			

Reportez ces activités sur le tableau ci-dessous. Indiquez le nombre de mois et le nombre de fois/mois où vous avez effectué ces activités au cours des 12 derniers mois. Puis notez le temps passé pour chaque activité.

Activités	Nombre de mois	Nombre moyen de fois/mois	Temps moyen passé à chaque fois (en minutes)

Note : Ne comptez pas dans ce tableau le temps passé à marcher ou à faire du vélo pour vous rendre à votre travail. Il sera comptabilisé dans la section "activité professionnelle"

Question 2 - *En général, combien d'heures par jour passez-vous à regarder la télévision ?*

.....heures/jour

Question 3 - *Durant les 12 derniers mois, avez-vous passé plus d'une semaine alité ou dans un fauteuil suite à une blessure, une maladie ou une opération ?* **Oui** **Non**

Si oui, combien de semaines avez vous passé alité ou dans un fauteuil au cours des 12 derniers mois ?

.....semaines

Question 4 - *Avez-vous des difficultés pour effectuer l'une des activités suivantes ?*

- | | | |
|--|------------|------------|
| <i>a. vous lever ou vous coucher de votre lit ?</i> | <i>Oui</i> | <i>Non</i> |
| <i>b. vous asseoir ou vous lever d'une chaise ?</i> | <i>Oui</i> | <i>Non</i> |
| <i>c. traverser une petite pièce sans vous reposer ?</i> | <i>Oui</i> | <i>Non</i> |
| <i>d. marcher pendant 10 minutes sans vous reposer ?</i> | <i>Oui</i> | <i>Non</i> |

Question 5 - *Avez-vous déjà pratiqué de la compétition sportive en individuel ou par équipe (en excluant les sports pratiqués à l'école ou au lycée au titre de l'Education Physique) ?*

Si oui, combien d'années avez vous pratiqué des sports de compétition ?

.....années

Section professionnelle

Question 6 - Listez dans le tableau ci-dessous toutes les activités professionnelles que vous avez exercées pendant **plus d'un mois durant les 12 derniers mois**. Si vous étiez au chômage, en invalidité, arrêt de travail, retraité, au foyer ou étudiant pendant tout ou partie de ces 12 mois, reportez de la même façon cette activité sur le tableau ci-dessous en considérant que vous travaillez 5 jours/semaine et 8 heures/jour.

ACTIVITES PROFESSIONNELLES	CODE	TEMPS de TRAJET	TEMPS MOYEN de TRAVAIL				TRAVAIL PRATIQUE	TRAVAIL PRATIQUE NON ASSIS		
	Référez-vous au tableau "codes"	marche ou vélo					ASSIS	Cochez (X) la catégorie qui décrit le mieux les activités en vous référant au tableau "Catégories de travail"		
	N°	Minutes/jour	Mois/an	Jours/sem	Heures/jour	Heures/jour		A	B	C

Codes

1. Travail dans un bureau	4. Etudiant
2. Travail à l'extérieur d'un bureau	5. Au foyer
3. Travail dans un bureau et à l'extérieur	6. Retraité
	7. Arrêt de travail, invalidité,
	8. Chômage

Catégories de travail

Catégorie A	Catégorie B	Catégorie C
Debout avec ou sans charges lourdes Ménage léger (repasser, cuisiner, laver, dépoussiérer) Marche lente avec des arrêts	Port de charges légères Marche régulière Ménage intensif (passer la serpillière, balayer, récurer, gratter) Jardinage (planter, désherber) Peinture, plâtrage, plomberie, soudure, Electricité	Port de charges moyennes à lourdes Travail en plein air (chantier, agriculture, construction, bûcheron)

Note : Si l'activité identifiée n'est pas listée dans le tableau « catégories de travail », vous devez identifier la catégorie à laquelle elle se rattache le mieux.

QUESTIONNAIRE POST-EXPERIMENTAL

Annexe 4

Nom :

Age :

Groupe :

Quelles sont vos réactions à l'issue de cette expérience ?

Avez-vous réussi à trouver la règle qui régit l'apparition des cibles ?

Si OUI, pouvez-vous me la décrire ou décrire les régularités que vous avez perçues ?

Comment avez-vous fait pour y arriver ?

Pensez-vous que vos prédictions se sont améliorées au fil des essais?

Title: Aging, physical exercise, and motor learning: effects of task complexity

Abstract:

Human aging is characterized by a decrease in both efficiency and speed of cognitive and sensory-motor processes. However, the dynamic of ageing is not the same for all the individuals. Some factors, linked to the way of life such as regular physical exercise, could modulate the aging effects. The aim of this dissertation is to examine under which conditions maintaining a physically active life-style could compensate for the age-related declines in the learning of a new motor-skill. More precisely, the effects of task complexity and the conditions under which the learning must be expressed were studied.

Three experiments studied the interactive effects of age and regular physical exercise on the learning of visual-motor pointing-movements on a moving target. The target displacements were governed by probabilistic rules and different target sizes implied different accuracy constraints. Learning was assessed in a reactive task where participants' response speed was stressed (experiment 1 and 2), and in a prediction task without any temporal constraint (experiment 3).

The main results revealed a beneficial effect of physical exercise on this skill learning, selective to the elderly and to conditions of high constraints on response execution. The age-related effect would be due to speed-stress conditions and to response complexity. The positive effects of physical exercise on the cognitive function of older adults would be related to motor efficiency improvement.

Key words: aging – motor learning – probability – complexity – physical exercise.

Auteur : Cédric ALBINET

Titre : Vieillesse, activité physique et apprentissage moteur : effets de la complexité de la tâche.

Directeurs de thèse : Khaled FEZZANI et Bernard THON

Résumé:

Le vieillissement de l'individu se caractérise par une diminution de l'efficacité et de la rapidité des processus cognitifs et sensori-moteurs. Cependant, la dynamique du vieillissement n'est pas identique pour tous les individus et certains facteurs liés au mode de vie, notamment la pratique régulière d'activités physiques, sont susceptibles de moduler ses effets. L'objectif général de cette thèse est d'examiner dans quelles conditions le maintien d'un style de vie physiquement actif permet de contrebalancer le déclin des capacités d'apprentissage d'une nouvelle habileté motrice au cours du vieillissement. En particulier, les effets de la complexité de l'apprentissage et des conditions dans lesquelles cet apprentissage doit se manifester ont été étudiés.

Trois expériences ont examiné les effets croisés de l'âge et de la pratique régulière d'activités physiques sur l'apprentissage de coordinations visuo-motrices fines impliquant des mouvements de pointage sur une cible en déplacement. Les régularités plus ou moins complexes de déplacement de la cible étaient régies par des règles probabilistes et différentes tailles de cible requerraient une précision des mouvements plus ou moins importante. L'apprentissage a été évalué dans une tâche réactive où la vitesse des réponses des participants était exigée (expériences 1 et 2) et dans une tâche de prédiction sans contrainte temporelle (expérience 3).

Les principaux résultats ont fait ressortir un effet bénéfique de l'activité physique sur l'apprentissage de cette habileté, sélectif aux personnes âgées et aux conditions de fortes contraintes liées à la production des réponses. Le déclin des capacités d'apprentissage avec l'âge serait principalement dû à la pression temporelle de la tâche et à la complexité des mouvements à réaliser. L'influence bénéfique de l'activité physique sur le vieillissement des fonctions cognitives serait médiatisée par une amélioration de l'efficacité motrice.

Mots-clé : vieillissement – apprentissage moteur – probabilités – complexité – activité physique.

Discipline : Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives (STAPS)

Ecole Doctorale CLESCO

U.F.R. STAPS

Laboratoire Adaptation Perceptivo-Motrice et Apprentissage, E.A. 3691

Université Paul Sabatier,

118, route de Narbonne, 31062 Toulouse cedex 4