

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

L'EFFET DE L'ÂGE SUR LA PERFORMANCE
DE RAPPEL MNÉMONIQUE
VOLONTAIRE CHEZ L'ENFANT

MÉMOIRE PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE
DE LA MAÎTRISE EN KINANTHROPOLOGIE

PAR
JOANNIE DIONNE

AVRIL 2010

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Je remercie d'abord ma directrice de maîtrise, Geneviève Cadoret, sans qui cette recherche n'aurait vu le jour. Tout au long de mon cheminement de recherche, elle a su m'encadrer et me supporter avec brio et grâce à elle, j'ai appris des notions de recherche, d'écriture scientifique et de persévérance qui me seront utiles tout au long de ma carrière.

Par la suite, je voudrais remercier tous les enfants qui ont participé à cette recherche ainsi que leurs parents qui m'ont exprimé leur confiance en acceptant de les faire participer à mon étude. Je remercie aussi la directrice de l'école primaire d'Iberville de la commission scolaire Marie-Victorin, Madame Guylaine Sansoucy qui a gentiment accepté ma présence dans son établissement durant une période de 3 semaines. Finalement, je désire remercier les professeurs de l'école d'Iberville qui ont grandement contribué au recrutement des enfants et qui m'ont permis d'empiéter sur leur temps de classe. Pour la première année, Madame Ginette de Rancourt et Madame Kathy Lefebvre, en troisième année Madame Ginette Archambault et Monsieur Frédéric Briand et en sixième année, Madame Julie Allard et Madame Johanne Beauvais.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	ii
LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES TABLEAUX	vii
RÉSUMÉ	viii
CHAPITRE I	
INTRODUCTION	1
CHAPITRE II	
REVUE DE LITTÉRATURE	3
2.1 Le rappel volontaire	3
2.2 Le contrôle préfrontal du rappel volontaire	4
2.2.1 Neuroimagerie fonctionnelle	4
2.2.2 Mécanismes neurologiques	6
2.3 La mémoire chez l'enfant	6
2.3.1 La mémoire explicite chez l'enfant	7
2.3.2 Les facteurs influençant le rappel mnémonique volontaire chez l'enfant ...	11
2.3.2.1 L'inertie attentionnelle	11
2.3.2.2 Les dimensions	12
2.3.2.3 La complexité	13
2.3.2.4 Temps de réaction	14
CHAPITRE III	
MÉTHODOLOGIE	16
3.1 Les sujets	16
3.1.1 Recrutement	16
3.1.2 Critères d'inclusion	16
3.1.3 Critères d'exclusion	17
3.2 Protocole expérimental	17

3.2.1	La tâche	17
3.2.2	Le protocole	19
3.3	Mesures expérimentales	20
3.3.1	Mesure de la quantité de bonnes réponses	20
3.3.2	Mesure du temps de réaction décisionnel	20
3.3.3	Mesure du temps de réaction moteur	21
3.3.4	Matériel expérimental	21
3.4	Analyse de données	22

CHAPITRE IV

RÉSULTATS	23
4.1 Effet de l'âge versus le nombre de dimensions	23
4.1.1 Taux de réussite	23
4.1.2 Temps de réaction	23
4.2 Effet de l'âge versus la dimension	24
4.2.1 Taux de réussite	24
4.2.2 Temps de réaction	26
4.3 Effet de l'âge versus l'ambiguïté	27
4.3.1 Taux de réussite	27
4.3.2 Temps de réaction	29

CHAPITRE V

DISCUSSION	30
5.1 Adaptation de l'adulte à l'enfant	31
5.2 Pourquoi un tel protocole chez l'enfant ?	32

5.3	Effet de l'âge	33
5.3.1	Taux de réussite	34
5.3.2	Temps de réaction	35
5.4	L'effet de l'âge versus la dimension	37
5.4.1	Taux de réussite	37
5.4.2	Temps de réaction	40
5.5	L'effet de l'âge versus l'ambiguïté	40
5.5.1	Taux de réussite	41
5.5.2	Temps de réaction	43
5.6	Explications neurologiques	44
	CONCLUSION	45
	APPENDICE A	
	MATÉRIEL EXPÉRIMENTAL	48
	APPENDICE B	
	« CUES » UTILISÉES POUR LA TÂCHE	49
	APPENDICE C	
	FORMULAIRE DE CONSENTEMENT	50
	APPENDICE D	
	QUESTIONNAIRE POUR LE PARENT	54
	BIBLIOGRAPHIE	55

LISTE DES FIGURES

Figure		Page
3.1	Exemple de la tâche	18
4.2.1	Pourcentage de réussite des trois groupes pour chaque dimension dans les 2 séries	26
4.3.1	Pourcentage de réussite des trois groupes dans les deux séries selon les essais faciles ou difficiles	28
4.3.2	Temps de réaction pour les types de réponse faciles ou difficiles pour les trois groupes d'âge et dans les deux séries	30

LISTE DES TABLEAUX

Tableau		Page
4.1.2	Moyenne du temps de réaction en millisecondes dans chaque série pour les trois groupes d'âge à l'étude	24
4.2.1	Résultats de l'analyse post-hoc pour le pourcentage de réussite des trois groupes pour chaque dimension de la série 2 (effet de l'âge)....	25
4.3.1	Résultats significatifs de l'effet de l'âge par rapport à l'ambiguïté (essais faciles vs essais difficiles) pour le pourcentage de réussite	27

RÉSUMÉ

Le rappel volontaire, en contraste avec le rappel automatique, est la capacité d'isoler en mémoire une composante qui est liée de façon arbitraire avec d'autres dimensions mémorisées et de rapporter cette composante, spécialement dans un contexte de haute interférence provenant d'évènements similaires (Petrides, 2002). Le cortex préfrontal ventrolatéral est impliqué de façon sélective dans le contrôle de ce rappel volontaire chez l'adulte et chez le primate (Cadoret et al, 2001 ; Cadoret et Petrides, 2007). Le but de cette étude était d'examiner les capacités de rappel volontaire chez l'enfant.

Trois groupes d'enfants âgés de 6, 8 et 11 ans ($n=70$) ont été testés sur une tâche qui a été construite originalement pour des études d'imagerie chez l'adulte et chez le singe. Le principe de la tâche est de présenter durant la première phase d'encodage, un stimulus comprenant plusieurs composantes et ensuite après un court délai, de présenter une question demandant au sujet de rapporter un aspect de ce stimulus encodé comme sa couleur, sa forme, etc. Finalement, après un second délai, durant la phase test, un stimulus test est présenté et le sujet doit décider si ce stimulus correspond à l'aspect particulier que le sujet devait se rappeler. Les enfants étaient testés sous deux conditions. Dans la condition 1, ils devaient mémoriser soit la forme ou la couleur du stimulus précédemment encodé. Dans la condition 2, ils devaient mémoriser la forme, la couleur ou le son du stimulus encodé.

Les résultats principaux démontrent qu'entre 6 et 11 ans, les enfants sont capables de rappel volontaire, c'est-à-dire d'isoler en mémoire une caractéristique visuelle particulière suite à une instruction et dans un contexte interférent. Cette capacité chez l'adulte, est supportée par le cortex préfrontal ventrolatéral. Néanmoins, chez les enfants en bas âge (< 8 ans) cette capacité est encore vulnérable et dépend de la composante qui doit être mémorisée ainsi que de la difficulté de la décision à prendre lors de la situation test.

Mots clés : rappel mnémonique volontaire, enfants d'âge préscolaire, cortex préfrontal ventrolatéral, tâche de rappel.

CHAPITRE I

INTRODUCTION

La mémoire explicite d'un événement, souvent qualifiée de mémoire épisodique (Tulving, 1972), nécessite de se souvenir des composantes de l'évènement (le lieu, les personnes, les bruits) mais aussi des liens existants entre les composantes de l'évènement. L'idée générale retenue en psychologie développementale est que la mémoire explicite s'améliorerait avec l'âge (Mitchell, 1993). En grandissant les enfants deviennent plus performants sur des tâches de reconnaissance ou de rappel. Toutefois peu d'études ont examiné les mécanismes supportant la mémoire explicite chez l'enfant et comment les mécanismes évoluent avec l'âge. D'après quelques études plus approfondies (Guyla et al, 2002; Ceci et al, 1980) le développement de la mémoire explicite ne serait pas monotonique, mais dépendrait des composantes qui doivent être retracées en mémoire et du traitement que l'enfant doit appliquer sur l'information retracée. Guyla et al (2002) ont démontré par exemple que des enfants de 10 ans sont plus performants pour se rappeler explicitement de formes (ou items) que pour se rappeler de couleurs ou de localisations spatiales. Une observation intéressante est que les enfants de 10 ans ont une meilleure performance dans un contexte de reconnaissance (trier ce qui a été vu précédemment de ce qui n'a pas été vu) que dans un contexte où l'enfant doit rapporter ce qu'il a mémorisé par une trace écrite. Un autre aspect important du développement de la mémoire explicite qui a été peu évalué est la capacité de l'enfant de se souvenir d'évènements tout dépendamment du niveau de liaison entre les composantes de l'évènement. Petrides (1994, 2002) propose que le rappel explicite (ou volontaire), contrairement au rappel automatique, serait la capacité d'isoler en mémoire une composante qui est liée de façon arbitraire avec d'autres composantes et de rapporter cette composante.

L'objectif de la recherche proposée est de mieux comprendre comment se développe le rappel explicite chez l'enfant. La démarche consistera à examiner la performance de rappel d'enfants de différents groupes d'âges en fonction de la nature des composantes qui doivent être retracées en mémoire et du nombre de liens existants entre les composantes.

La mémoire est une capacité fondamentale pour le développement des fonctions

La mémoire est une capacité fondamentale pour le développement des fonctions cognitives. Ces trente dernières années la mémoire chez les nourrissons a été largement étudiée, par contre la mémoire des enfants d'âge scolaire l'a été beaucoup moins alors que cette période correspond à une phase de développement cognitif importante (Nelson et al, 2006; Bauer, 2006). L'étude des fonctions mnémoniques jusqu'à l'âge de 10-12 ans est donc nécessaire. L'importance de cette étude est d'abord et avant tout de connaître les détails d'une fonction de rappel mnémonique volontaire chez des enfants de six à douze ans. Les études antérieures (Cadoret et al, 2001; Kostopoulos et Petrides, 2003; Petrides et Cadoret, 2007) ont bien documenté les centres de contrôle de cette fonction cognitive dans le cortex préfrontal, donc d'après les résultats chez l'enfant il sera possible de mieux comprendre comment les fonctions préfrontales associées à la mémoire évoluent et de faire un lien entre le développement cérébral et le développement de la mémoire.

Les données récentes en imagerie fonctionnelle chez l'enfant semblent démontrer, avec le développement, un changement (shift) d'une activation cérébrale généralisée vers une activation plus focale pour une même fonction (Durstun et al, 2006). Cette observation n'est toutefois pas acceptée par tous (Brown et al, 2006). Une raison probable de la divergence peut être les fonctions étudiées qui recrutent des réseaux plus ou moins larges de régions cérébrales. L'avantage de la tâche de rappel est que l'activation cérébrale associée chez l'adulte est très focale dans le cortex préfrontal, ce qui pourrait servir de base pour des études d'imagerie ultérieures chez l'enfant. Il est donc important d'identifier la trajectoire développementale de cette fonction au niveau comportemental avant de l'examiner d'un point de vue neurologique. L'objectif de la recherche est d'examiner comment avec l'âge une fonction de rappel mnémonique qui est contrôlée chez l'adulte par le cortex préfrontal évolue. L'objectif est également de voir comment le développement influence les composantes du rappel volontaire. Ces composantes sont le contenu du rappel (couleur/forme), le caractère multimodal (multisensoriel) versus unimodal (unisensoriel) du rappel volontaire (rappel d'une information auditive ou visuelle versus rappel d'une information uniquement visuelle); et la complexité de la tâche en terme du nombre de choix pour retrouver un élément en mémoire.

CHAPITRE II

REVUE DE LITTÉRATURE

2.1 LE RAPPEL VOLONTAIRE

Selon Petrides (1994, 2002), il y a une distinction majeure à faire entre un rappel volontaire (stratégique), qui requiert le cortex préfrontal mid-ventrolatéral, et un rappel automatique ou un rappel dit de contexte qui lui requiert les neurones des aires associatives postérieures. L'information mnémonique est emboîtée dans une riche sphère de relations associatives entre le stimulus et son contexte. Toutes ces relations associatives peuvent être stables ou non ambiguës. Par exemple, la mémoire d'une personne peut être fortement reliée à un événement spécifique ou bien simplement à un autre stimulus et/ou son contexte. Dans ces cas, le rappel de l'information se fait de façon plutôt automatique puisque le stimulus (la personne) est fortement associé à un contexte, un événement ou bien à une relation réelle. En effet, la seule mention du nom d'une personne X peut suffire à déclencher le souvenir d'un épisode et ce faisant, de tous les détails qui lui sont rattachés (Hasegawa et al. 1999; Petrides, 2002). Il a été montré que le rappel automatique est effectué par le biais de connections entre le cortex temporal postérieur et les aires associatives pariétales et qu'il n'implique en aucun cas le cortex préfrontal (Petrides, 1994, 2002).

Par contre, il y a un type de rappel mnémonique qui implique le cortex préfrontal mid-ventrolatéral. C'est le cas lorsque la relation entre le stimulus, la réponse ou le contexte, n'est pas stable ou non ambiguë et nécessite un effort. Par exemple, une personne X peut être une parmi plusieurs collègues à stationner sa voiture dans le stationnement d'employés sans places assignées. Ce faisant, la relation entre le stimulus (voiture de la personne X) et le contexte (stationnement) relève du hasard. C'est pourquoi dans ce cas de figure, le rappel ne peut se faire de façon automatique en étant déclenché par un lien stable ou non ambigu. Il a été proposé que ce type de rappel serait contrôlé par le cortex préfrontal mid-ventrolatéral qui exercerait une modulation descendante sur les aires corticales associatives postérieures, lieu de stockage des informations mémorisées (Kuniyoshi & Miyashita, 1994; Petrides, 1996, 2002; Tomita et al, 1999). La modulation

descendante permettrait que l'information se rattachant au rappel intentionnel soit facilitée en autant que l'information superflue soit inhibée. Ce type de rappel a donc été classifié de rappel volontaire pour contraster avec les formes plus automatiques de rappel. Il est toutefois important de noter que le cortex préfrontal mid-ventrolatéral n'est pas essentiel pour tous les types de rappel, seulement ceux où la situation requiert un effort ou une stratégie particulière.

2.2 LE CONTRÔLE PRÉFRONTAL DU RAPPEL VOLONTAIRE

2.2.1 Neuroimagerie fonctionnelle

Des études neuropsychologiques avec des sujets ayant subi des lésions cérébrales ont montré une dissociation marquée entre le rôle du cortex temporal et celui du cortex préfrontal associé à la mémoire déclarative (Petrides, 1994;1996; Miyashita, 2004). Les patients amnésiques avec des lésions médianes du lobe temporal perdent l'habilité de consolider les nouvelles informations alors que les lésions focalisées du cortex préfrontal causent une détérioration de la consolidation des souvenirs antérieurs (Hasegawa et al, 1999). Les patients atteints d'une lésion temporale échouent à tout test avec une sollicitation de la mémoire, tandis que les patients avec une lésion frontale n'échouent qu'à ceux où l'information retenue en mémoire doit être manipulée d'une manière ou d'une autre. Par contre, les dommages frontaux résultent en une détérioration sévère pour les tâches de rappel actif qui requièrent un contrôle de la mémoire ou la production d'un jugement pour des fins de réponse (Petrides, 1996,2000). Par ailleurs, les études en imagerie effectuées sur des humains ont prouvé à plusieurs reprises que le cortex préfrontal joue un rôle clé dans le processus de rappel actif. L'activation du cortex préfrontal pendant le processus de rappel est très bien observé dans les études d'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) qui emploient une variété de tests psychologiques tels que des tests de reconnaissance, des tests de pairage associatif et des tests de rappel libre et de rappel volontaire (Miyashita, 2004). Il a été montré que le cortex préfrontal dorsal droit (aires 9/46) est fortement activé lorsque la demande de

surveillance (monitoring) ou de focalisation est accrue. Le cortex préfrontal ventral droit (aire 45) a montré tant qu'à lui une plus grande activation lorsque l'emphase est mise sur une question posée par un tiers (Wagner et al, 1998). Il a donc été suggéré que l'activation du cortex préfrontal droit reflétait le processus de tentative de rappel incluant l'initiation du rappel mais aussi l'évaluation de la réponse associée au rappel (Hasegawa et al, 1999; Miyashita, 2004).

Dans une étude récente, Cadoret et al, (2001) ont utilisé la neuroimagerie fonctionnelle afin d'identifier les aires spécifiques du cortex préfrontal responsables du procédé de rappel actif. Pour ce faire, ils ont développé une tâche comportant une condition rappel et une condition contrôle qui étaient parfaitement équivalentes en termes de niveau d'encodage, de prise de décision et de surveillance après rappel mais différait seulement du fait qu'une fonction de rappel était exigée ou non. La comparaison de l'activité cérébrale observée entre les essais contrôles et les essais test a démontré une augmentation significative et sélective de l'activation reliée au processus de rappel dans la région du cortex préfrontal ventrolatéral et plus spécifiquement dans l'aire 47/12. De plus, dans cette expérience, il n'y a pas eu d'augmentation de l'activité au niveau du cortex préfrontal dorsolatéral en comparaison à l'augmentation marquée dans le cortex préfrontal ventrolatéral. Ces résultats obtenus avec un design en bloc ont été confirmés par la suite avec une autre recherche de résonance magnétique fonctionnelle utilisant une méthodologie "single-event" (Kostopoulos et Petrides, 2003). Ces études fournissent donc de solides évidences montrant que le cortex préfrontal ventrolatéral est impliqué de façon sélective dans les situations de rappel actif. Les aires du cortex préfrontal assureraient des fonctions exécutives différentes et complémentaires et le processus de rappel actif serait donc géré par des aires spécifiques du cortex ventrolatéral sans impliquer le cortex dorsolatéral (Petrides, 1994,2002; Hasegawa et al, 1999; Miyashita, 2004; Hampshire & Owen, 2006).

2.2.2 Mécanismes neurophysiologiques

Les résultats obtenus chez l'humain en résonance magnétique fonctionnelle démontrant le rôle du cortex préfrontal ventrolatéral dans le rappel volontaire ont été confirmés par une étude neurophysiologique chez le singe (Cadoret et Petrides, 2007). Chez deux singes entraînés sur une tâche de rappel identique à celle utilisée en IRMf, des neurones enregistrés dans l'aire 47/12 et 45 ont démontré une augmentation significative de leur taux de décharge dans les essais de rappel comparativement aux essais contrôles. L'activité neuronale était spécifiquement liée aux processus nécessaires à la prise de décision basée sur le rappel mnémonique. Ces résultats supportent les résultats obtenus en IRMf et confirment que le cortex préfrontal ventrolatéral joue un rôle essentiel dans le contrôle du rappel volontaire.

L'hypothèse que le rappel volontaire serait exécuté par une modulation descendante du cortex préfrontal sur le cortex inféro-temporal n'a pas été évaluée à l'échelle neuronale par des enregistrements neurophysiologiques mais a été démontré par une étude de cerveau-divisé (split-brain) chez le singe (Hasegawa et al, 1998; Miyashita, 2004). Avec une tâche visuelle associative, et des lésions différentielles du corps calleux (antérieure/postérieure), Miyashita et ses collaborateurs ont démontré que le rappel visuel devient impossible quand la liaison entre le cortex préfrontal et le cortex inféro-temporal est coupée. Ces résultats démontrent donc que le rappel d'une image visuelle déclenché par une question ou un choix est géré par une modulation descendante du cortex préfrontal au cortex inféro-temporal où sont emmagasinés les souvenirs.

2.3 LA MÉMOIRE CHEZ L'ENFANT

Le rappel volontaire tel que défini par Petrides (1994, 2002) doit être situé dans le contexte de la littérature sur la mémoire chez l'enfant. Le concept de rappel volontaire se rapproche d'autres concepts tels que celui de la mémoire explicite, de la mémoire épisodique, le rappel avec indices qui ont été largement documentés chez l'enfant. La revue de littérature ci-dessous résume les connaissances établies pour la mémoire

explicite de l'enfant ainsi que pour les différents facteurs qui influencent le rappel mnémonique volontaire.

2.3.1 La mémoire explicite chez l'enfant

La mémoire explicite est responsable des souvenirs et des éléments appris dans une courte période de temps et serait la dernière fonction à se développer mais la première à disparaître suite à un dommage au cerveau causé par un traumatisme, une maladie ou simplement dû au vieillissement (Gulya et al, 2002). La théorie démontrant que la mémoire explicite s'améliore durant l'enfance, atteint un sommet à l'adolescence, et décline au fil des années pour atteindre un point mort à la sénescence, est une notion bien acceptée dans le milieu des recherches neurocognitives portant sur la mémoire. Les chercheurs en sont venus à la conclusion qu'au cours de la vie, la mémoire explicite évoluerait selon une courbe en forme de U inversé. Suite à cette découverte, plusieurs chercheurs se sont, à maintes reprises, servis de ce type de courbe pour des fins de comparaisons avec leurs propres résultats (Guyla et al. 2002; Diamond et al. 2005). Cependant, pouvons-nous affirmer que le rappel intentionnel chez les enfants est construit sous ce même principe? Une étude antérieure de Guyla et ses collaborateurs (2002) s'y est intéressée. Ils ont donc comparé un groupe d'enfants âgés en moyenne de 10 ans avec un groupe de jeunes adultes de plus de 18 ans. Les enfants avaient dix images, dont certaines étaient marquées d'un X, représentées sur un écran d'ordinateur avec soit une couleur, un objet ou une localisation à mémoriser. Chaque série d'images défilait et à chaque nouvelle apparition, l'enfant devait entourer à l'aide d'un crayon, les localisations qui avaient été sélectionnées par l'ordinateur précédemment. Pour la dimension couleur, l'enfant avait 10 couleurs déjà mémorisées et 10 nouvelles couleurs jamais mémorisées. L'enfant devait alors encercler avec le crayon les couleurs qu'il avait déjà vues précédemment. Dans cette expérience, les enfants étaient avertis de la dimension qu'ils auraient à mémoriser et ils avaient 90 secondes pour prendre leur décision. Les résultats principaux ressortant de cette recherche sont les suivants : lorsque

le rappel est une reconnaissance des items, la performance des enfants suit une courbe en forme de U inversé, par contre lorsque le rappel est accompagné d'une réponse écrite, la performance ne correspond plus tout à fait à une courbe en forme de U inversé. En effet, au test de reconnaissance les enfants montraient une meilleure performance pour les dimensions couleur et objet mais dans le rappel avec rapport écrit, les résultats pour la dimension couleur étaient plus médiocres. Toutefois, les résultats des enfants de 10 ans ne diffèrent pas significativement de ceux des adultes pour la dimension couleur et objet dans les 2 cas de figures. Cela montre bien que plusieurs scientifiques ont tendance à traiter la mémoire épisodique comme une seule et même entité. Il serait plus véridique de concevoir la mémoire explicite comme une facette de la mémoire qui comporte différents types d'informations et qui gère ces types d'information de plus d'une façon (Guyla et al. 2002). Par contre, ces recherches sont fortement intéressantes puisqu'elles permettent tout de même d'affirmer que les fonctions de la mémorisation comme d'autres fonctions telles les fonctions motrices, sensorielles, sont gérées par des modèles similaires (courbe en forme de U inversé) au cours de la vie même si chacun de ces modèles a ses particularités spécifiques.

Nelson et al. (2006) ont proposé que la mémoire explicite se développerait en plusieurs phases durant le développement humain. Tout d'abord, la définition de mémoire explicite se réfère à une mémoire de faits et d'événements qui peuvent être ramenés à la conscience de façon volontaire et qui peuvent être exprimés explicitement. Cette définition fait contraste avec celle de la mémoire implicite ou non déclarative qui se réfère généralement à l'acquisition d'habilités ou à des procédures faites de façon automatique ou inconsciente. La mémoire explicite comprendrait essentiellement la reconnaissance et le rappel. La mémoire explicite serait rapide (supportant des apprentissages sur un essai), faillible (trace de mémoire qui se dégrade, possibilité d'erreurs de rappel) et flexible (non associée à un contexte ou une modalité spécifique) alors que la mémoire implicite serait plus lente (car elle résulte d'un apprentissage graduel), fiable et inflexible (Bauer, 2006). La mémoire explicite commencerait à se développer peu après la première année de vie et serait observable dans les

comportements tels que l'imitation, le pairage associatif, les regards préférentiels ainsi que les procédures d'habituation (Nelson et al, 2006). En effet, lorsqu'un enfant imite les gestes ou les sons faits par son entourage immédiat et habituel, il fait appel à sa mémoire explicite car il reproduit un geste de façon volontaire. Il s'agit réellement d'un geste volontaire car l'enfant doit analyser et mémoriser le geste ou le son à plus d'une reprise afin d'être capable de le reproduire. Il y a donc un délai de temps géré par la mémoire explicite dans ce genre de situation comparativement à l'absence de délai lors d'un automatisme géré par la mémoire implicite. Par ailleurs, Nelson (2006) propose aussi que le développement de la mémoire explicite serait précédé d'un stade précoce nommé mémoire pré-explicite. Ce qui distingue la mémoire pré-explicite de la mémoire explicite se résume aux faits suivants: elle apparaît peu de temps après la naissance, elle est observable de façon marquée dans des tâches de nouvelles préférences (comparaisons d'anciennes images versus de nouvelles images) et elle est largement dépendante des propriétés de l'hippocampe. Ces propositions ont été basées sur des recherches qui examinent les relations cerveau-comportement. Toutefois, même s'il est bien démontré que le cerveau humain possède différents types de mémoire, il faut savoir que les connaissances du développement des réseaux neuronaux chez l'humain supportant ces différentes mémoires restent relativement peu nombreuses.

Un aspect intéressant du développement de la mémoire explicite est l'évolution du rappel avec indices. Il est reconnu que les jeunes enfants comparativement aux enfants plus âgés sont davantage dépendants d'indices pour aller chercher des informations en mémoire. Un enfant de 10 ans par exemple sera capable spontanément de rechercher des informations mémorisées (par rapport à des événements passés), tandis que l'enfant plus jeune nécessitera une question ou un indice pour rechercher des informations en mémoire. Le résultat de cette différence est que pour les enfants plus âgés, s'ils doivent se rappeler d'une information mémorisée avec des indices, la quantité d'informations retrouvée par indice sera plus élevée (Bauer, 2006).

Le développement de la mémoire explicite dépend de la maturation des substrats neurologiques (Nelson, 2006). Entre l'âge de 5 et 7 ans, les circuits neuronaux locaux

semblent démontrer une augmentation de leur efficacité en ce qui a trait à l'analyse de l'information (Luciana et Nelson, 1998). Ce principe se manifesterait par l'habileté qu'ont les enfants à compléter des tâches de reconnaissance simples ainsi que des problèmes de mémoire de travail. La communication entre le cortex préfrontal et les aires associatives semble être efficace lorsque les tâches demandées nécessitent un effort de mémorisation minimal. Par contre, lorsque les fonctions de mémorisation du cortex préfrontal sont exigées pour résoudre des tâches à stratégies multiples ou à organisation plus complexe, les résultats des jeunes enfants chutent drastiquement comparativement aux résultats obtenus avec de jeunes adultes. De plus, des études ont montré que d'après leur résultats à des tâches de mémoire de travail spatiale, il est possible pour un enfant âgé de 9 ans de développer des approches stratégiques pour résoudre des problèmes complexes ainsi que de travailler avec des concepts abstraits (Luciana et Nelson, 1998). Par contre, il n'a pas été clairement prouvé que les enfants âgés de 9 ans ont atteint la même maturation cognitive que celle des adultes ce qui leur permettrait de s'occuper de projets complexes ou de planifier une partie de leur existence, caractéristique majeure du développement cognitif adulte. L'habileté des jeunes enfants à performer dans des tâches de rappel volontaire indiquerait donc que les structures sont en place pour faciliter l'encodage sensoriel d'objets pertinents (Luciana et Nelson, 1998). Les jeunes enfants démontrent aussi une connaissance du contexte approprié car ils sont capables de retenir une information rattachée à une question mnémonique demandée. Bref, les habiletés de reconnaissance mnémonique visuelle se développeraient à un rythme relativement lent parce qu'elles sont gérées par des connections plus complexes entre les régions corticales incluant le cortex inféro-temporal (Luciana et Nelson, 1998).

2.3.2 Les facteurs influençant le rappel mnémonique volontaire chez l'enfant

Le rappel volontaire tel que défini par Petrides (1994) et tel que testé précédemment requiert un ensemble de processus : la capacité d'isoler en mémoire l'information requise, la capacité d'alterner les stratégies de rappel, la capacité de maintenir en mémoire et de rapporter l'information isolée en mémoire. Il est probable que le développement du rappel volontaire chez l'enfant soit dépendant du développement de ces sous processus.

2.3.2.1 L'inertie attentionnelle

Diamond et Kirkham (2003) ont émis l'hypothèse que la difficulté qu'a un enfant en bas âge d'alterner ses stratégies de mémorisation serait en fait la difficulté de penser au même élément mais sous deux perspectives différentes. En effet, les enfants vont avoir tendance à garder en mémoire la première idée ou attribution qu'ils se font d'un objet et lorsqu'on leur présente le même objet mais sous un aspect différent, l'enfant est incapable de comprendre que c'est le même objet vu précédemment. Par exemple, un adulte sera capable d'observer une roche avec un côté plat et l'autre spongieux comme étant à la fois une roche mais il est aussi capable d'y voir une éponge même si la couleur de celle-ci est invraisemblable. Dans le cas d'un enfant, si on lui montre le même objet et que la première idée qu'il s'en fait est une roche, il sera incapable d'apercevoir une éponge car sa première idée est faite et il ne peut en déroger. Ce phénomène se nomme inertie attentionnelle et est expliqué par le fait que les enfants n'ont pas encore de notion de perspective et qu'ils éprouvent de la difficulté à dissocier deux ou plusieurs dimensions de leur mémoire une fois qu'ils ont une idée bien établie d'un objet (Luciana & Nelson, 1998; Guyla et al. 2002; Diamond et al. 2005). Il s'agit donc d'une tendance du système cognitif à rester focalisé sur ce qui a déjà été focalisé précédemment et cette tendance est davantage observable chez les enfants en bas âge même si elle ne disparaît pas complètement à l'âge adulte. En réalité, ce ne serait pas les capacités de mémorisation qui seraient en cause lors de ce phénomène, mais plutôt le fait d'être incapable d'inhiber la

première conception d'une image pour se concentrer sur une nouvelle image. Effectivement, pour ignorer une idée ou bien une image déjà préconçue, nous devons être capable d'inhiber cette première idée afin de permettre à notre cerveau de revenir à la case départ et ainsi pouvoir observer ou analyser une autre facette de ce qui est observé (Zelazo et al. 2004; Diamond et al. 2005). Comme la fonction d'inhibition n'est pas complètement maîtrisée avant l'adolescence, il est fort probable que le nombre de bonnes réponses obtenues lorsqu'il y a plus d'une dimension à mémoriser soit inférieur pour les enfants âgés de moins de 13 ans.

Par ailleurs, le phénomène d'inertie attentionnelle peut aussi affecter la compréhension des règles à suivre. Zelazo et ses collaborateurs (2004) ont montré par des études sur la capacité de mémorisation des enfants, que ceux-ci prennent rapidement l'habitude d'appliquer les règles données au début d'une expérimentation et que lors d'un changement de règles à suivre, les enfants se confondent plus facilement. Par exemple, si lors d'une première série de test l'enfant doit mémoriser la couleur et la forme d'un objet pour ensuite émettre une réponse et que dans une deuxième série test on rajoute une troisième dimension à mémoriser, automatiquement cette troisième dimension sera moins bien réussie car elle représente un nouvel élément dans les règles à suivre et cela embrouille les enfants.

2.3.2.2 Les dimensions

La performance de rappel mnémonique volontaire des enfants va aussi dépendre de la dimension observée. Toutefois les résultats touchant l'aspect dimensionnel du rappel sont contradictoires. Dans leur étude Guyla et ses collaborateurs rapportent que la performance par rapport à la dimension forme serait la mieux réussie et ce peu importe l'âge des sujets. Ceci peut être expliqué par le fait qu'enfant ou adulte, l'humain a une meilleure perception et un meilleur souvenir des formes que des couleurs parce que les formes peuvent être associées à différents objets familiers pour chaque personne (Guyla et al. 2002). Toutefois, il est aussi établi que les couleurs étant plus saillantes que de

simples formes, il devient plus évident pour les jeunes enfants d'être attirés par celles-ci et ils ont donc une concentration plus grande lors des essais avec la couleur (Diamond et al. 2005). Ces mêmes études ont aussi montré que les résultats des enfants de 10 ans pour les tests de rappel volontaire dans les dimensions couleur et forme ne diffèrent pas significativement de ceux obtenus chez des adolescents âgés de 19 ans. Cela pourrait donc signifier que la performance de rappel volontaire pour la dimension couleur atteint son maximum vers l'âge de 10 ans. Comme il a été mentionné plus haut, l'inertie attentionnelle peut aussi influencer la performance de rappel mnémonique par rapport à la dimension observée. Effectivement, lors d'études où le premier niveau comportait deux dimensions et où le deuxième niveau en comportait trois ou plus, les enfants réussissaient significativement moins bien la ou les dimensions rajoutées car les enfants s'étaient déjà familiarisés avec les deux premières dimensions (Diamond et Kirkham, 2005). Une troisième dimension ajoute donc de la difficulté parce qu'elle augmente la complexité mais aussi parce qu'elle demande aux enfants de se familiariser à nouveau avec un nouvel élément et ce, sur une courte période de temps. En somme, les jeunes enfants semblent être capables de comprendre et d'assumer jusqu'à deux dimensions différentes mais lorsqu'il y a plus de deux dimensions, le niveau de complexité deviendrait très élevé et leur attention serait plus difficile à focaliser ce qui donnerait des résultats plus médiocres.

2.3.2.3 La complexité

La comparaison de plusieurs groupes d'enfants, d'âges différents allant de 5 ans à 13 ans, a montré que le taux de réussite d'une tâche de rappel volontaire dépend grandement de la complexité des essais et que la performance des enfants est étroitement liée au niveau de complexité (Luciana et Nelson, 1998; Guyla et al, 2002; Diamond et al. 2005; Davidson et al, 2006). En ce sens, lorsque l'enfant doit alterner ses stratégies de rappel volontaire entre deux dimensions, il n'y a pas de différence significative ni pour le taux de réussite ni pour le temps de réaction entre les différents groupes d'âges. Par contre,

dans le cas où il y a trois dimensions différentes à encoder, les enfants de 5 ans ont effectué un nombre beaucoup plus élevé d'erreurs par rapport aux autres enfants, tous âges confondus. Ces études ont aussi montré que les résultats des enfants âgés de 9 ans ne diffèrent pas statistiquement de ceux des jeunes adultes de 17 ans. Par ailleurs, il a été démontré avec des études faites sur des adultes, que les performances de la mémoire de travail dépendent de la portée maximale que possède la mémoire mais aussi des habiletés mnémoniques développées avec l'expérience et qui permettent de développer ou d'organiser une stratégie pour chaque nouvelle recherche en mémoire (Guyla et al 2002; Diamond et Kirkham, 2005). Ces recherches amènent donc de sérieuses évidences au fait que les jeunes enfants échouent davantage lorsque la complexité des tâches de rappel augmente, car leur capacité stratégique et organisationnelle n'est pas suffisamment développée.

2.3.2.4 Temps de réaction

Dans des études antérieures, il a été observé que le temps de réaction est très dépendant de l'âge des sujets (Luciana et Nelson, 1998; Munakata et al. 2004; Diamond, 2005). Ces études ont révélé que les enfants âgés de 5 ans démontraient une plus grande latence que tous les autres groupes d'âges supérieurs. Les enfants de 6 ans et 7 ans ont démontré un temps de réaction supérieur à celui des enfants de 8 ans pour une même tâche. Par contre, les enfants de 8 ans n'ont pas montré de différence significative par rapport aux enfants de 9 ans et 10 ans. Cela voudrait dire que le principe de stratégie organisationnelle cité plus haut serait donc bien développé chez un enfant âgé autour de huit ans. Par ailleurs, il a aussi été montré que plus la complexité augmente, plus le temps de réaction augmente et ce, pour tous les âges confondus même si on peut observer une augmentation plus importante pour les plus jeunes enfants (6-7 ans).

Considérant que le développement du rappel mnémonique volontaire comprend plusieurs sous processus et qu'il peut varier selon les caractéristiques recherchées en mémoire, les

hypothèses émises pour cette recherche sont les suivantes : une première hypothèse est que la performance de rappel volontaire (taux de réussite et temps de réaction) devrait s'améliorer graduellement avec l'âge mais que la trajectoire risque d'être différente pour le rappel de la forme et le rappel de la couleur. Une seconde hypothèse est que les enfants plus âgés (11-12 ans) seront moins affectés par une augmentation du niveau d'ambiguïté (complexité) que les enfants plus jeunes (6-7 ans). Une troisième hypothèse est que la performance de rappel chez l'enfant sera inférieure dans un contexte multimodal (auditif-visuel) que dans un contexte unimodal (visuel).

CHAPITRE III

MÉTHODOLOGIE

3.1 LES SUJETS

3.1.1 Recrutement

Les sujets de l'étude étaient des enfants âgés entre six et douze ans et étaient au nombre total de soixante-dix. Le sexe, le fait d'être gaucher ou droitier ainsi que l'âge des sujets ont été pris en considération avant le commencement de la prise des données. Les enfants ont été recrutés dans le milieu scolaire à la Commission Scolaire Marie Victorin. Les expérimentations se sont déroulées pendant les heures de classes, selon l'horaire et la disponibilité des enseignants concernés. Trois groupes relativement homogènes ont été formés. Un premier groupe de vingt-deux enfants de 6-7 ans (première année de primaire), un deuxième groupe de vingt-quatre enfants de 8-9 ans (troisième année du primaire) et un troisième groupe de vingt-quatre enfants de 11-12 ans (sixième année du primaire). Il est à noter que tous les sujets ont été testés à la même période au mois de décembre. Le nombre de sujets formant chaque groupe a été établi selon les effectifs retrouvés dans la littérature (autour de 25 enfants par groupes d'âge) et en considérant la composition habituelle d'enfants retrouvée dans une classe d'école primaire. Par ailleurs, tous les enfants recrutés étaient volontaires et avaient exprimé leur acceptation de participer à la recherche dans un formulaire signé et donné préalablement aux parents ou tuteurs de ces enfants. Les soixante-dix sujets ont été soumis à un même protocole expérimental.

3.1.2 Critères d'inclusion

Les sujets sélectionnés devaient être des enfants âgés entre six ans et douze ans. Ils devaient fréquenter une école primaire située dans un milieu qualifié d'homogène afin de limiter le biais du rang social. Les sujets devaient aussi suivre leurs cours à plein temps et selon le même type d'enseignement (programme du ministère de l'éducation).

3.1.3 Critères d'exclusion

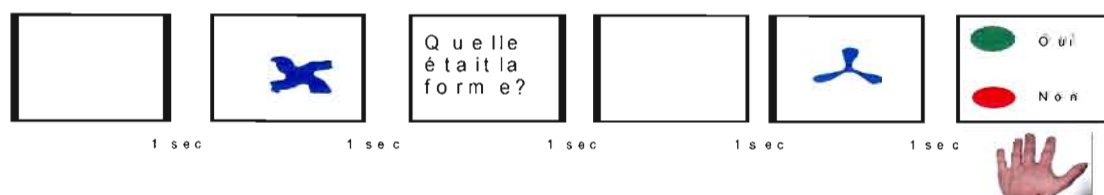
Les sujets étaient exclus s'ils présentaient des déficits visuels et auditifs majeurs, des déficits cognitifs nuisant à la compréhension des consignes ou des troubles majeurs d'ordre sensori-moteur. Comme la tâche principale était présentée sur un écran d'ordinateur, seuls les enfants avec une bonne vision ou une vision corrigée avec des verres, étaient acceptés. De plus, les sujets étaient exclus s'ils prenaient une médication pour réguler un déficit d'attention et/ou d'hyperactivité. La médication comme le ritalin agit sur le système dopaminergique. Or le cortex préfrontal qui joue un rôle prépondérant dans le rappel volontaire est reconnu comme un site important dans le système dopaminergique. Chez les enfants qui prenaient du ritalin la performance risquait donc d'être influencée par la médication. Il était donc préférable qu'ils soient exclus de la présente recherche.

3.2 PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

3.2.1 La tâche

Le principe de la tâche de rappel consiste à présenter au sujet momentanément un stimulus ayant plusieurs caractéristiques (une forme, une couleur, un son) et de demander ensuite au sujet après un délai de se remémorer une des caractéristiques du stimulus présenté préalablement (la couleur ou la forme ou le son). Suite à un deuxième délai un stimulus test est présenté et le sujet doit décider si le stimulus test correspond à la caractéristique demandée du stimulus préalablement visualisé. Comme présentée sur la figure ci-dessous, pendant la phase d'encodage une forme X dans une certaine couleur (bleue) est présentée. Suite au premier délai une question demande au sujet de se remémorer quelle était la couleur (ou la forme) de la forme X. Après un deuxième délai une forme Y bleue est présentée et le sujet doit donc décider si la couleur présentée au moment du test est bien celle du stimulus préalablement visualisé.

Figure 1 Exemple de la tâche



21

La tâche a été proposée aux enfants selon 2 niveaux. Niveau 1 : l'enfant devait réaliser une série d'essais au cours desquels il devait se remémorer soit la couleur, soit la forme du stimulus préalablement visualisé. Ce niveau correspondait à la tâche originale utilisée en IRMf et en électrophysiologie chez le singe. Niveau 2 : au cours d'une série d'essais l'enfant devait se remémorer soit la couleur, la forme ou le son du stimulus préalablement visualisé. Ce 2^e niveau correspondait à un niveau de difficulté supérieur à celui du niveau 1 car la sélection en mémoire de la caractéristique requise était plus exigeante (une caractéristique parmi 3 au lieu d'une caractéristique parmi 2 dans le niveau 1) ce qui génèrait également davantage d'ambiguïté au moment de la prise de décision. Par ailleurs au niveau 2 le rappel était basé sur 2 modalités sensorielles alors qu'au niveau 1 le rappel était basé sur une seule modalité.

Pour chaque niveau (chaque série d'essais) les stimuli présentés au moment de l'encodage et du test étaient des stimuli résultant d'une combinaison de caractéristiques visuelles et sonores. Ces caractéristiques ont été tirées d'une banque de 4 couleurs, 4

formes et 4 sons, de sorte que chaque caractéristique soit présentée de façon équiprobable. Les formes et sons étaient arbitraires pour que la tâche d'un point de vue perceptuel soit relativement équivalente pour tous les enfants. Pour chacun des niveaux la tâche était présentée sous forme d'une série de 32 essais. Pour le niveau 1, l'enfant devait se rappeler la couleur sur 16 essais et la forme sur 16 essais. Les essais étaient présentés de façon pseudo-aléatoire (il n'y avait pas plus de 3 essais consécutifs du même rappel). Pour le niveau 2, le rappel était visuel pour 16 essais (8 forme et 8 couleur) et sur 16 essais le rappel était auditif (sons). Les essais étaient présentés de façon pseudo-aléatoire.

Les « cues » étaient : pour la forme, un stencil montrant plusieurs formes géométriques, pour la couleur, un peintre en dessin animé tenant la plaque de peinture avec plusieurs couleurs et finalement pour le son, un bonhomme en dessin animé ayant une oreille proéminente et tendant cette même oreille (voir Appendice B). L'enfant devait donner sa décision en touchant un bouton identifié oui ou un bouton identifié non.

3.2.2 Le protocole

Toutes les expérimentations ont été faites dans un local de l'école primaire d'Iberville de la commission scolaire Marie-Victorin sur la Rive-Sud de Montréal. La séance commençait par une courte explication verbale du projet. L'enfant était tout d'abord testé pour son temps de réaction moteur sur 10 essais. Ensuite la tâche lui était expliquée. L'enfant avait droit à un temps de pratique ce qui permettait aussi de contrôler sa compréhension de la tâche. L'enfant pouvait se pratiquer jusqu'à ce qu'il ait réussi quatre essais consécutifs, ce qui était considéré comme le seuil de passage pour vérifier que le sujet avait bien assimilé la tâche. Une fois ce seuil atteint, nous considérions que l'enfant avait assimilé la tâche de façon à nous permettre de débiter l'expérimentation. Ensuite l'enfant était testé sur les deux niveaux de la tâche. L'ensemble prenait entre 20 et 30 minutes.

3.3 MESURES EXPÉRIMENTALES

Trois types de mesures ont été pris. Des mesures du temps de réaction moteur, du temps de réaction décisionnel ainsi que des mesures du nombre de bonnes réponses pour chacune des catégories. Ces mesures ont été prises pour chaque essai des deux séries tests. Il est à noter qu'un encouragement standardisé sera donné aux sujets afin de conserver au maximum le niveau de concentration et de motivation tout au long de l'expérimentation.

3.3.1 Mesure de la quantité de bonnes réponses

Pour chacune des deux séries tests, le nombre de bonnes réponses globales et par catégories a été calculé. Les différentes catégories ont été représentées par toutes les possibilités d'essais effectués dans une série test. En effet, étant donné que la tâche était composée d'abord de deux différentes dimensions, le nombre de bonnes réponses pour chacune des dimensions était pris en note. De plus, les séries tests comportaient aussi des essais faciles (sans ambiguïté, c'est à dire que le stimulus test est sur toutes les dimensions pareil ou différent du stimulus qui doit être encodé) et d'essais difficiles (avec ambiguïté, c'est-à-dire que le stimulus test diffère ou est pareil sur une seule des dimensions ce qui crée de la confusion), donc le nombre de bonnes réponses pour chaque cas était aussi pris en note. Pour la deuxième série test où la dimension 'son' était ajoutée, il y avait aussi un calcul du nombre de bonnes réponses pour les essais où la question demandée était par rapport au son versus les questions où les réponses étaient soit la couleur ou la forme.

3.3.2 Mesure du temps de réaction décisionnel

Le temps de réaction décisionnel a été mesuré en faisant le calcul suivant : le temps écoulé en secondes entre la dernière image vue de chaque essai par le sujet testé et sa

pression effectuée sur le bouton réponse, moins le temps de réaction moteur défini plus bas. Cette mesure était détectée à l'aide d'un capteur et notée manuellement par l'expérimentateur. Ce temps de réaction est qualifié de décisionnel car il correspond au temps nécessaire pour décider que l'information lors de la situation test correspond bien à la caractéristique demandée. C'est une mesure indirecte du rappel puisqu'il est impossible de savoir quand exactement l'enfant récupère une information en mémoire.

3.3.3 Mesure du temps de réaction moteur

Afin de normaliser les temps de réaction de tous les sujets, le temps de réaction moteur de chaque sujet a été noté avant de débiter les séries tests. Ce temps de réaction était équivalent au temps en secondes que chaque sujet prenait pour appuyer sur le bouton réponse en réponse à un signal visuel sans avoir à répondre à une question précise.

3.3.4 Matériel expérimental

Le dispositif expérimental comprenait un écran plat de télévision portable de 20 pouces relié à un ordinateur qui faisait défiler la tâche. Le sujet était assis sur une chaise et l'écran était disposé devant lui à la hauteur des yeux sur un bureau à une distance de soixante centimètres. L'expérimentateur avait en sa possession l'ordinateur relié à l'écran plat et c'est l'expérimentateur qui dirigeait les commandes de la tâche. Une planche de quarante centimètres possédant deux lecteurs de mouvements servant de boutons pour les réponses positives ou négatives était disposée sur le bureau à mi-chemin entre le sujet et l'écran plat. Un chronomètre informatique était aussi relié à l'ordinateur ainsi qu'aux deux boutons réponses afin de permettre la saisie du temps de réaction. Le montage expérimental est présenté dans l'appendice A.

3.4 ANALYSE DE DONNÉES

Pour effectuer l'analyse des données, nous avons examiné deux variables dépendantes qui sont le taux de réussite de l'enfant, exprimé en pourcentage et son temps de réaction. Le temps de réaction est défini comme étant le temps de réponse global moins le temps de réaction moteur calculé au cours de quelques essais préalables. Ces variables ont été analysées en fonction de l'âge des sujets et des différentes conditions de rappel. Les données ont été analysées en utilisant le logiciel de statistiques Statistica version 6.0. Préalablement aux analyses statistiques, les données ont été entrées dans un logiciel mathématique de base nommé Excel. Une moyenne des résultats pour chaque sujet testé pour chacune des catégories de tests a été notée pour ensuite être insérée dans le logiciel Statistica. S'il était déterminé que la performance d'un sujet sur la tâche était compromise soit par un manque important de compréhension ou bien par un comportement non-conforme, les données du sujet n'étaient pas incluses dans l'analyse des données. Ces exclusions se sont produites à deux reprises et concernaient des sujets du groupe de première année, tout deux âgés de cinq ans. Il est à noter que pour ces deux cas d'exclusion, un des enfants était visiblement grippé, et était donc peu attentif tandis que l'autre enfant faisait preuve d'une grande nervosité causant ainsi un manque d'attention important. Ce dernier enfant manquait aussi d'intérêt à exécuter la tâche.

Les effets sur le taux de réussite des enfants et sur leurs temps de réaction ont été analysés soit à l'aide d'analyses de variance à mesures répétées ou bien avec des analyses de variance factorielles où l'âge et le protocole expérimental étaient les variables indépendantes. Lorsqu'un effet significatif était démontré pour une variable précise, des analyses complémentaires furent exécutées utilisant des tests post-hoc (Tukey). Il est à noter que pour toutes les comparaisons statistiques, le seuil de confiance fût établi à 0.05.

CHAPITRE IV

RÉSULTATS

4.1 EFFET DE L'ÂGE

4.1.1 Taux de réussite

Pour examiner l'effet de l'âge sur le taux de réussite des enfants une analyse de variance à une dimension a été réalisée pour chacune des séries. Pour la série 1 (couleur et forme) l'analyse a révélé un effet significatif de l'âge sur le taux de réussite ($F=9,55$, $df = 2$, $p \leq 0.001$). L'analyse post-hoc démontre que le taux de réussite des sujets de première année est significativement inférieur à celui des sujets de 3^e et 6^e année ($p \leq 0.05$).

L'analyse de variance à une dimension pour la série 2 (couleur, forme et son) a révélé également un effet significatif de l'âge sur le taux de réussite des sujets. ($F=25,87$, $df=2$, $p \leq 0.001$). L'analyse post-hoc démontre que le taux de réussite des sujets de première année est significativement inférieur à celui des sujets de 3^e et 6^e année ($p \leq 0.001$).

Une analyse de variance à mesures répétées a révélé qu'il y avait une différence significative dans le taux de réussite entre la série 1 et la série 2 uniquement pour les sujets de première année ($p \leq 0.001$). Les sujets de première année ont obtenu un taux de réussite inférieur en série 2 comparativement à celui obtenu en série 1. Les sujets de première année semblent être définitivement affectés par l'ajout d'une troisième dimension comparativement aux sujets des deux autres catégories d'âge.

4.1.2 Temps de réaction

Pour examiner l'effet de l'âge sur le temps de réaction des enfants une analyse de variance à une dimension a été réalisée pour chacune des séries. Pour la série 1 (couleur et forme) l'analyse a révélé un effet significatif de l'âge sur le temps de réaction ($F=58,03$, $df = 2$, $p \leq 0.001$). L'analyse post-hoc démontre que le temps de réponse des sujets de première année est significativement plus élevé que celui des sujets de 3^e et 6^e année ($p \leq 0.001$). L'analyse de variance à une dimension pour la série 2 (couleur, forme et son) a révélé également un effet significatif de l'âge sur le temps de réaction des sujets. ($F=92,01$, $df=2$, $p \leq 0.001$). Comme pour la série 1, l'analyse post-hoc démontre que le

temps de réaction des sujets de première année est significativement plus élevé que celui des sujets de 3^e et 6^e année ($p \leq 0.001$).

Une analyse de variance à mesures répétées a révélé qu'il y avait un effet significatif de série (ajout de la 3^e dimension son) ($F=22,20$, $df=1$, $p \leq 0.001$). Par contre, aucun effet de l'âge n'a été démontré. Seul le temps de réponse des sujets de 1^{ère} année augmente de façon significative dans la série 2 comparativement à la série 1 ($p \leq 0.001$). Ces résultats indiquent que non seulement les sujets de 1^{ère} année sont plus lents que les sujets des autres catégories d'âge mais aussi qu'ils sont plus affectés par l'ajout d'une 3^e dimension dans le processus de rappel. Voici un tableau exposant les moyennes du temps de réaction de chacun des groupes pour les deux séries.

Tableau 4.1.2 Moyenne du temps de réaction en millisecondes dans chaque série pour les trois groupes d'âge à l'étude.

	MOYENNE DU TEMPS DE RÉACTION EN MILLISECONDES POUR LA SÉRIE 1	MOYENNE DU TEMPS DE RÉACTION EN MILLISECONDES POUR LA SÉRIE 2
1ÈRE ANNÉE	950,69 ± 2,04	1098,19 ± 3,58
3È ANNÉE	469,88 ± 2,05	586,53 ± 2,86
6È ANNÉE	439,71 ± 2,11	489,52 ± 2,58

$p \leq 0,001$ entre les 1ères années versus les 3è et 6è années; $p \leq 0,001$ entre la série 1 et la série 2.

4.2 EFFET DE L'ÂGE VERSUS LA DIMENSION

4.2.1 Taux de réussite

Pour la série 1, l'analyse factorielle (âge x dimension) n'a démontré aucun effet significatif de la dimension qui soit dépendant de l'âge. Pour chaque catégorie d'âge le taux de réussite est équivalent que les sujets se rappellent la couleur ou la forme du stimulus visuel. Par contre en série 2, l'analyse factorielle démontre un effet de dimension lié à l'âge des sujets ($F=8,74$; $df=4$, $p \leq 0.001$). L'analyse post-hoc révèle que

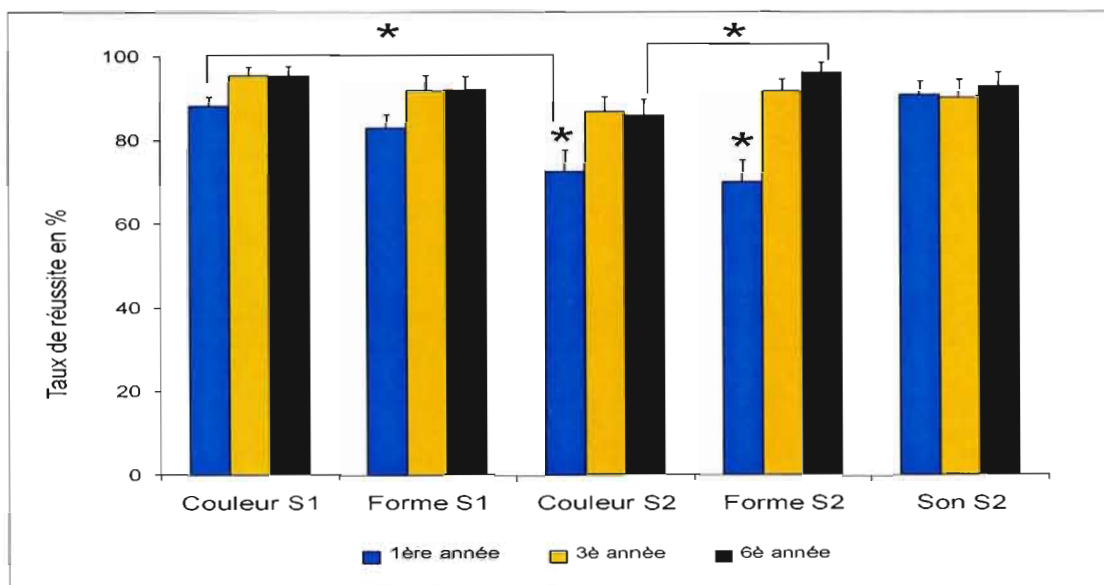
pour les sujets de 1^{ère} année le taux de réussite est significativement plus élevé pour le rappel du son que pour le rappel de la couleur et de la forme ($p \leq 0.001$). Pour les sujets de 6^e année le taux de réussite est significativement plus élevé pour le rappel de la forme que celui de la couleur ($p \leq 0.05$) (voir tableau 4.2.1 et figure 4.2.1).

Une analyse de variance à mesures répétées pour les dimensions couleur et forme démontre un effet significatif de séries associé à la dimension. Le taux de réussite pour le rappel de la couleur et de la forme est significativement inférieur en série 2 comparativement à celui de la série 1 pour les sujets de 1^{ère} année. Le taux de réussite pour le rappel de la couleur en série 2 est significativement inférieur à celui de la série 1 pour les sujets de 6^e année.

Tableau 4.2.1 Résultats de l'analyse post-hoc pour le pourcentage de réussite des trois groupes pour chaque dimension de la série 2 (effet de l'âge).

	Dimension Couleur	Dimension Forme	Dimension Son
1 ^{ère} vs 3 ^e	$p = 0.00036$	$p = 0.00036$	$p = (NS)$
1 ^{ère} vs 6 ^e	$p = 0.00048$	$p = 0.00289$	$p = (NS)$
3 ^e vs 6 ^e	$p = 0.0789 (NS)$	$p = 0.210 (NS)$	$p = (NS)$

Figure 4.2.1 Pourcentage de réussite des trois groupes pour chaque dimension dans les 2 séries.



La moyenne et l'écart-type sont représentés sur le graphique. Les étoiles au-dessus des bandes de couleur indiquent une différence significative ($p < 0.05$). Les lignes reliant deux bandes de couleur et surmontées d'une étoile indique une différence significative ($p < 0.05$) entre ces deux composantes. Afin d'alléger le graphique, toutes les différences significatives ne sont pas démontrées par une étoile. Donc, il y a aussi une différence significative pour les 1^{ères} années entre la série 1 et la série 2 pour la dimension forme. Une différence est aussi présente pour les 6^{èmes} années entre la série 1 et 2 pour la dimension couleur.

4.2.2 Temps de réaction

Pour la série 1, l'analyse factorielle (âge x dimension) n'a démontré aucun effet significatif de la dimension qui soit dépendant de l'âge sur le temps de réponse des sujets. Pour chaque catégorie d'âge il n'y a pas de différence de temps de réponse que les sujets se rappellent la couleur ou la forme du stimulus visuel.

Pour la série 2 les résultats de l'analyse sont identiques et ne démontrent aucun effet de

dimension sur le temps de réponse des sujets. Que les sujets se rappellent la forme, la couleur ou le son, il n'y a pas de différence significative dans le temps de réponse.

4.3 EFFET DE L'ÂGE VERSUS L'AMBIGUITÉ

4.3.1 Taux de réussite

Pour la série 1 l'analyse factorielle (âge x ambiguïté) révèle un effet significatif de l'ambiguïté sur le taux de réussite ($F=17,86$, $df=1$, $p\leq 0.001$) mais aucun effet d'interaction âge x ambiguïté. L'analyse post-hoc démontre que seuls les sujets de 1^{ère} année ont un taux de réussite inférieur dans le cas des essais difficiles comparativement aux essais faciles ($p\leq 0.001$). Un essai difficile est un essai dans lequel au moment de la situation test, les 2 dimensions créent une contradiction. Par exemple le sujet doit se rappeler de la forme et la forme de l'image test est concordante avec l'image encodée mais la couleur est différente. Dans un essai facile les 2 dimensions de l'image test sont similaires ou différentes de l'image encodée. Il n'y a alors pas d'ambiguïté.

La même analyse pour la série 2, c'est-à-dire une analyse factorielle (âge x ambiguïté) révèle également un effet d'ambiguïté ($F=86,77$, $df=1$, $p\leq 0.001$) mais pas d'effet d'interaction âge x ambiguïté. Pour les 3 groupes d'âge, le taux de réussite est significativement inférieur pour les essais difficiles comparativement aux essais faciles. Un essai difficile en est un avec ambiguïté, c'est-à-dire que le stimulus test diffère ou est pareil sur une seule des dimensions ce qui crée de la confusion. Les résultats des analyses post-hoc sont présentés dans le tableau suivant :

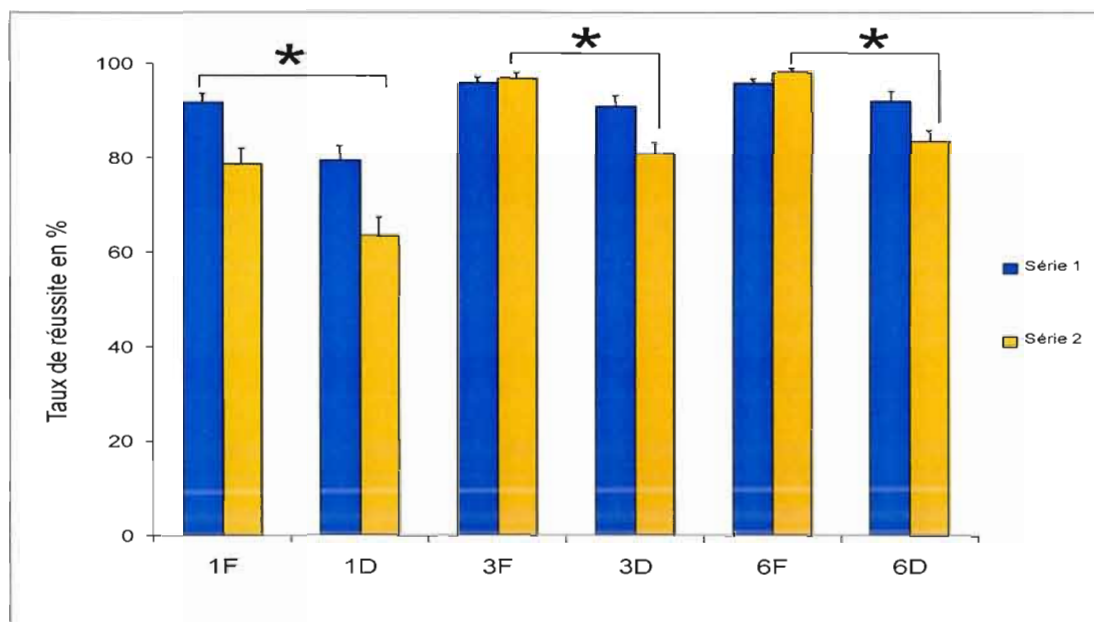
Tableau 4.3.1 Résultats significatifs de l'effet de l'âge par rapport à l'ambiguïté (essais faciles versus essais difficiles) pour le pourcentage de réussite.

Première année	P= 0.00163
Troisième année	P= 0.000052
Sixième année	P= 0.000036

Une analyse factorielle (âge x dimension x ambiguïté) démontre que l'effet d'ambiguïté pour la série 1 est lié à la dimension. Un effet d'interaction ambiguïté x dimension a été relevé ($F=3,94$, $df=1$, $p\leq 0.05$). Dans son ensemble, la diminution du taux de réussite pour les essais difficiles est plus importante dans le cas du rappel de la forme que dans celui de la couleur. Toutefois, en considérant les différents groupes d'âge, une différence significative n'est observée que pour les sujets de 1^{ère} année.

Pour la série 2, l'analyse factorielle (âge x dimension x ambiguïté) démontre que l'effet d'ambiguïté est lié à la dimension ($F=8,68$, $df=2$, $p\leq 0.001$). Contrairement à la série 1, la diminution du taux de réussite liée à l'ambiguïté est plus grande pour le rappel de la couleur que celui de la forme. Une différence significative est observée pour les 3 catégories d'âge entre les essais difficiles et les essais faciles pour le rappel de la couleur mais non pour celui de la forme.

Figure 4.3.1 Pourcentage de réussite des trois groupes dans les deux séries selon les essais faciles ou difficiles.

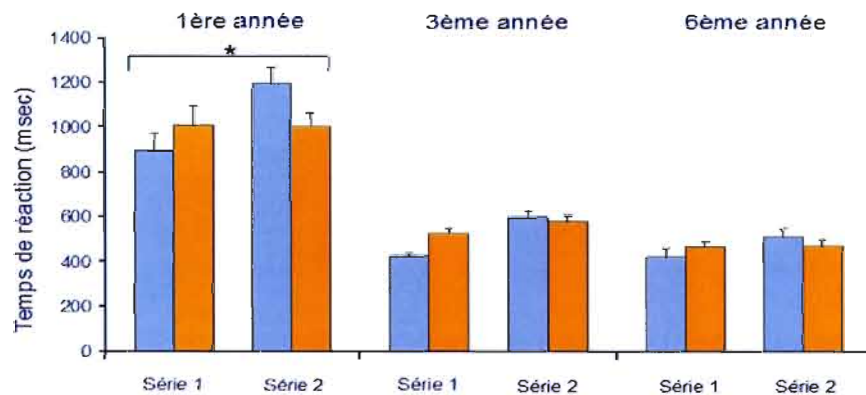


Les bandes bleues représentent la série 1 et les bandes jaunes, la série 2. Le chiffre représente le groupe d'âge. Les types d'essais sont représentés par F (facile) et D (difficile). Donc 1F représente le taux de réussite des premières années pour la dimension forme. La moyenne et l'écart-type sont représentés sur le graphique. Les lignes reliant deux bandes de couleur et surmontées d'une étoile indiquent une différence significative ($p < 0.05$) entre ces deux composantes. Par contre pour les 1ères années, une différence significative est observée entre les 2 séries autant pour les essais faciles que difficiles.

4.3.2. Temps de réaction

Pour la série 1, l'analyse factorielle (âge x ambiguïté) ne révèle aucun effet significatif de l'ambiguïté sur le temps de réaction. La même analyse pour la série 2, c'est-à-dire une analyse factorielle (âge x ambiguïté) révèle un effet d'ambiguïté ($F=4,67$, $df=1$, $p \leq 0.05$) mais pas d'effets d'interaction âge x ambiguïté. Paradoxalement les sujets de 1^{ère} année ont un temps de réaction significativement augmenté pour les essais faciles comparativement aux essais difficiles. Une analyse factorielle (âge x ambiguïté x dimension) démontre que les premières années se démarquent significativement des troisième et sixième années. Par contre, il n'y a pas de différences notables entre les premières années avec les analyses à mesures répétées.

Figure 4.3.2 Temps de réaction pour les types de réponse faciles ou difficiles pour les trois groupes d'âge et dans les 2 séries.



Les bandes bleues représentent les essais faciles et les bandes jaunes, les essais difficiles. La moyenne et l'écart-type sont représentés sur le graphique. L'étoile au-dessus des bandes de couleur indique une différence significative ($p < 0.05$).

CHAPITRE V DISCUSSION

5.1 ADAPTATION DE L'ADULTE À L'ENFANT

Tout d'abord, il faut savoir que le protocole expérimental qui a servi dans le cadre de ce projet de maîtrise à d'abord été conçu pour être utilisé chez le primate pour des enregistrements extracellulaires. Par la suite, le protocole a été modifié quelque peu afin de permettre à l'homme de l'expérimenter pour des études de résonance magnétique fonctionnelle. De ce fait, le protocole a été adapté pour l'adulte d'abord et l'originalité de mon projet a été de l'appliquer pour les enfants d'âge scolaire dans une perspective développementale. Chez l'enfant une des adaptations majeures a été de simplifier le mode de réponse du sujet. C'est pourquoi le montage expérimental comportait une plaque rectangulaire d'assez grande dimension avec deux ronds de couleurs distinctes qui correspondaient à une réponse positive ou bien négative. Chaque rond possédait un capteur assez sensible pour détecter la pression d'un seul doigt d'enfant. La planche remplaçait en fait le principe du go-no-go obtenu en cliquant ou non sur le bouton d'une souris d'ordinateur. Lors des expérimentations avec les enfants, il a aussi fallu adapter leur environnement de travail afin que celui-ci soit ergonomique et fonctionnel par rapport à leur plus petite taille. De plus, afin d'éviter le biais d'association entre les images présentées lors de la tâche et des éléments familiers contenus dans l'environnement quotidien des enfants, des formes abstraites ont été choisies pour la tâche en s'inspirant d'autres études dans le domaine (Miyashita, 1991). Comme il a été expliqué précédemment, à cause du phénomène d'inertie attentionnelle, un enfant qui associerait une forme de la tâche à un objet familier, pourrait avoir de la difficulté à décrocher de cette idée et sa performance serait grandement affectée devenant donc non représentative du rappel mnémonique. Suivant cela, les sons choisis pour représenter la troisième dimension ont aussi été sélectionnés selon trois bandes de sons abstraits. Il est possible que les enfants se créent des associations par eux-mêmes mais en évitant les formes et les sons familiers tels que la fleur, l'étoile ou le bruit d'un train, nous évitons le biais et augmentons la probabilité d'obtenir des résultats valides. En ce qui a trait au

temps écoulé entre chaque diapositive de la tâche, nous avons augmenté le temps par rapport à la tâche chez le primate mais nous avons conservé le même délai autant chez l'adulte que chez l'enfant. Donc, le temps écoulé entre chacune des images a été allongé à 1000 millisecondes. Par contre, comme il a été mentionné dans la méthodologie, lors des essais de pratiques, le temps écoulé était de 5000 millisecondes afin que les enfants puissent se familiariser au montage expérimental imposant, à la tâche et aux explications reçues. Par la suite, une fois la tâche comprise adéquatement, il y avait une autre séance de pratique mais cette fois avec le même délai entre les diapositives que lors des séances tests. Bref, la tâche a été légèrement modifiée par rapport à celle de l'adulte afin d'assurer un rendement efficace des enfants âgés entre 6 et 12 ans.

5.2 POURQUOI UN TEL PROTOCOLE CHEZ L'ENFANT ?

La mémoire est une capacité fondamentale pour le développement des fonctions cognitives. Depuis bon nombre d'années, plusieurs études ont été effectuées afin de mieux comprendre le fonctionnement et le développement de la mémoire chez l'être humain. Certes, plusieurs d'entre elles ont exploré la mémoire du nourrisson et celle de l'adolescent, mais on retrouve une carence d'informations sur les fonctions mnémoniques des enfants d'âge scolaire (Bauer, 2006). Pourtant, cette période d'âge scolaire correspond à une phase de développement cognitif importante car c'est à ce moment que les enfants font leur entrée dans le milieu académique où ils devront assimiler plusieurs nouvelles informations se rapportant à des thèmes variés. C'est pourquoi il est primordial d'étudier les fonctions mnémoniques des enfants âgés entre six et douze ans afin de mieux connaître les étapes du développement de leur mémoire et ainsi permettre l'adaptation de l'enseignement donné en fonction de ces différentes étapes.

La raison première de cette étude résidait en la connaissance plus approfondie de la fonction de rappel mnémonique volontaire. L'objectif était également de fournir des hypothèses quant aux substrats neurologiques du développement de ces fonctions. L'analyse des données a donc été effectuée afin d'examiner les fonctions préfrontales à l'aide d'une approche comportementale et ce de façon hiérarchique afin d'évaluer

l'évolution de ces fonctions à travers différents âges. En effet, nous savons que d'un point de vue physiologique et neurologique, les centres de contrôle de cette fonction cognitive dans le cortex préfrontal ventrolatéral ont été bien documentés (Cadoret et al, 2001; Kostopoulos et Petrides, 2003; Petrides et Cadoret, 2007) ce qui permet avec les résultats chez l'enfant, de mieux comprendre comment les fonctions préfrontales associées à la mémoire évoluent. De plus, comme il s'agit d'un projet dans le cadre d'une maîtrise et qu'un délai maximal y est associé, il aurait été très difficile d'entreprendre des tests d'imagerie fonctionnelle avec des enfants. Effectivement, ces procédures, dites non-invasives, auraient impliqué un protocole exhaustif, un recrutement ardu ainsi qu'une surveillance du comité d'éthique beaucoup plus exigeante. Il est aussi difficile pour des enfants plus jeunes de rester une longue période de temps dans le scanner. Par ailleurs, comme il a été mentionné précédemment, certaines données récentes en imagerie fonctionnelle chez l'enfant sont disponibles mais sont aussi controversées dans le milieu scientifique par rapport à leurs conclusions. Certaines études démontrent qu'au cours du développement, l'activation cérébrale se focaliserait au fil du temps pour une même fonction (Durston et al, 2006). Par contre, comme les tâches utilisées dans ces études recrutent des réseaux plutôt larges de régions cérébrales, il est difficile de conclure avec certitude à ce phénomène de focalisation. La tâche de rappel qui a été utilisée dans le cadre de ce mémoire a comme avantage d'induire une activation cérébrale très focalisée dans le cortex préfrontal ventrolatéral chez l'adulte. L'analyse de données chez les trois groupes d'âges d'enfants permettra sans doute d'obtenir une base pour des études éventuelles en imagerie.

5.3 L'EFFET DE L'ÂGE

Les analyses de variances ont démontré un effet significatif majeur de l'âge sur la performance et le temps de réaction lors de la tâche de rappel. Les résultats de l'étude démontrent une transition assez nette, autant pour le taux de réussite que pour le temps de réaction, entre les enfants âgés de 6 ans et ceux âgés de 8 et 11 ans. Il est donc probable que cette période autour de l'âge de 6 ans soit une phase sensible pour le développement

des fonctions de rappel. Ces résultats supportent plusieurs autres études (Luciana et Nelson, 1998; Munakata et al, 2004; Diamond, 2005)

5.3.1 Taux de réussite

Pour la série 1 qui ne comportait que deux dimensions, l'effet de l'âge sur le taux de réussite a démontré que les enfants de première année avaient un niveau de performance inférieur aux deux autres groupes d'âge. Comme il a été défini auparavant, le rappel mnémonique volontaire comprend plusieurs processus : la capacité d'isoler en mémoire l'information demandée, la capacité d'alterner les stratégies de rappel, la capacité de maintenir en mémoire et de rapporter l'information isolée en mémoire. Les enfants de troisième année et ceux de sixième année ont obtenu quant à eux, des résultats similaires et comparables à ceux obtenus chez l'adulte (Cadoret et al, 2001), ce qui appuierait certaines études antérieures quant au fait que les enfants âgés de plus de 8 ans ont des capacités cognitives mnémoniques semblables à celles des adultes (Luciana et Nelson, 1998). Évidemment, les enfants de cet âge n'ont pas la même capacité que les adultes pour la planification stratégique ou bien pour les concepts abstraits mais leur capacité à l'encodage visuel d'objets pertinents leur permettrait d'obtenir des résultats équivalents à ceux observés chez l'adulte.

Pour la série 2 qui comportait les mêmes deux dimensions que la série précédente en ajoutant une troisième dimension, les mêmes résultats en sont ressortis. Il y a un effet de l'âge marqué sur le taux de réussite car les enfants de première année ont un niveau de performance significativement inférieur à celui des enfants des deux autres groupes. Évidemment, les explications données plus haut sont elles aussi valables pour la deuxième série mais d'autres facteurs viennent aussi influencer la performance diminuée des enfants de première année. Puisque la série 2 comporte maintenant trois éléments à mémoriser, cela augmente la complexité de la tâche et le groupe plus jeune a davantage de difficulté à assurer une performance équivalente à celle des enfants plus âgés. Certes l'ajout d'une troisième dimension rend la tâche de mémorisation plus ardue mais il faut aussi savoir que cette troisième dimension n'était pas visuelle mais sonore. Ce facteur a

un impact majeur sur le taux de réussite des enfants de première année car ceux-ci étaient définitivement obnubilés par le son. C'est entre autres ce qui a affecté significativement leur performance pour le rappel de la forme et de la couleur car les enfants accordaient moins d'importance à la question posée, faisant souvent abstraction de la couleur ou de la forme à mémoriser.

Par ailleurs, en regardant les performances des trois groupes entre la série 1 et la série 2, nous avons observé, encore une fois, que seuls les enfants de première année ont des taux de réussite significativement différents entre les deux séries. Ces derniers sont donc réellement plus affectés par l'ajout d'une troisième dimension à cause de l'augmentation du nombre d'éléments à garder en mémoire mais aussi parce que le son est l'élément qui a dominé leur sélection quant à la mémorisation.

5.3.2 Temps de réaction

Pour la série 1 et la série 2, il y a un effet de l'âge sur le temps de réaction. Cet effet est beaucoup plus marqué chez le groupe de 6-7 ans qui ont un temps de réaction augmenté comparativement aux deux autres groupes plus âgés. Fait intéressant, à la base le temps moteur du groupe de 6-7 ans est plus lent que celui des deux autres groupes. Toutefois cette différence de temps de réaction (de l'ordre de 80 millisecondes) n'explique pas la totalité de l'écart des temps de réponses entre les enfants de 1ère année et ceux de 3ème et 6ème année qui est de l'ordre de 500 millisecondes. De plus, certains enfants du groupe de 6-7 ans avaient tendance à répondre verbalement avant d'appuyer sur les boutons réponses prévus à cet effet même si on leur expliquait à plusieurs reprises qu'ils devaient répondre en appuyant sur les boutons et ne pas parler. Il a été démontré que les processus verbaux chez l'enfant sont reconnus comme étant des processus utiles pour réguler les comportements, notamment ceux de changement de tâche (task-switching behavior) (Karch & Kray, 2007). De plus, chez les enfants plus jeunes d'âge préscolaire la verbalisation permettrait d'évaluer et de décrire les perceptions tandis que chez les plus âgés elle permettrait de maintenir à l'esprit les exigences de la tâche (Zelazo, 1999). La réponse verbale ne serait donc pas due à un problème de compréhension des consignes

mais plutôt au fait que les enfants de cette catégorie d'âge y vont instinctivement d'une réponse verbale d'abord car les aires associées au langage sont plus développées que celles associées à la motricité (Guyla et al. 2002; Diamond et al. 2005). Pour les enfants des deux groupes plus âgés, leurs résultats pour le temps de réaction étaient similaires montrant encore une fois que l'assimilation de la tâche et les fonctions qui lui sont associées sont développées à un niveau quasiment équivalent.

Un effet de l'ajout d'une troisième dimension a aussi été observé dans les résultats mais cela n'est en aucun cas relié à l'âge des enfants. Par contre, les enfants de première année étaient beaucoup plus affectés car leur temps de réaction a augmenté significativement entre la série 1 et la série 2. Comme il y avait plus d'éléments à mémoriser mais que le temps entre chaque diapositive restait le même, les enfants de 6 et 7 ans nécessitaient plus de temps pour donner leur réponse.

Dans l'étude présente, la trajectoire de la main des enfants n'a pas été enregistrée et analysée car nous ignorions au départ jusqu'à quel point la tâche pouvait être difficile pour des enfants de 6 ans et nous ne voulions pas surcharger le protocole expérimental. Nous ne savons pas exactement quelle est la cause réelle de ce temps de réponse plus long chez les enfants plus jeunes. Est-ce à cause d'un délai dans l'initiation de la réponse motrice, ou est-ce du à des changements de trajectoires au cours de la réponse, l'enfant dirigeant sa main vers la pastille « Oui » mais décidant au dernier moment d'aller vers le « Non ».

Par ailleurs, il est probable que l'augmentation du temps de réponse chez les enfants plus jeunes soit due à une modulation immature des mécanismes d'inhibition. La tâche demandait une synchronisation entre la décision cognitive et la réponse motrice, synchronisation qui est facilement observable chez l'adulte. Chez certains sujets âgés de 6 ans l'apparition de l'image test déclenchait une réponse motrice quasi automatique que l'enfant devait corriger par la suite en fonction de sa décision cognitive. Par contre, chez d'autres sujets c'est l'inverse qui se produisait, les enfants attendant d'être sûrs de leur choix pour agir et inhibant de façon excessive leur réponse motrice. Dans les 2 cas de figures, ces réactions augmentaient le temps de réponse. Les études développementales

ont démontré que l'inhibition motrice s'améliore avec l'âge (Davidson et al, 2006) et il est probable que cette amélioration explique en partie la diminution marquée du temps de réaction entre 6 et 8 ans.

5.4 L'EFFET DE L'ÂGE VERSUS LA DIMENSION

La performance de rappel et le temps de réaction peuvent être influencés par la dimension qui est à mémoriser. En effet, certains scientifiques ont démontré que certaines dimensions étaient plus facilement mémorisables que d'autres et que cela varierait selon l'âge des enfants testés (Diamond et al, 2005). Tout d'abord, il y a une différence observable entre les dimensions de nature visuelle et celles de nature sonore. Dans le cas de jeunes enfants (6-7 ans), la réponse obtenue à une question relatant une dimension sonore semblerait plus facile et plus spontanée par rapport à une dimension de nature visuelle (Guyla et al, 2002). Cela peut être expliqué par le fait qu'à cet âge, la curiosité et l'attrait de sons nouveaux est plus fréquemment sollicité dans leur environnement quotidien que la mémorisation d'images dans un contexte de test. Pour ce qui est de la dimension visuelle induisant de meilleures performances de mémorisation entre la couleur et la forme, les plus grands spécialistes de la mémoire infantile ne s'entendent pas (Guyla et al, 2002 & Diamond et al, 2005). Nous tenterons de prendre position avec les résultats de notre étude. Dans le cadre de cette recherche, les analyses de variances n'ont démontré aucun effet significatif de l'âge sur la performance et le temps de réaction au cours de la tâche de rappel par rapport à la dimension à mémoriser.

5.4.1 Taux de réussite

Pour la série 1, aucune différence significative n'a été démontrée par rapport à la dimension à mémoriser et ce, pour chacun des groupes étudiés. Le taux de réussite était donc équivalent pour les dimensions couleur et forme dans le cas de figure où on retrouve seulement deux dimensions à mémoriser. Ce fait est intéressant car il supporte l'idée qu'en présence de problèmes simples, les enfants en bas âge (6-7 ans) ont des performances semblables aux plus âgés (10-12 ans). Par contre, cela vient contrecarrer les

bases du phénomène d'inertie attentionnelle qui dit que les enfants âgés de moins de 9 ans n'ont pas de notion de perspective ce qui leur causerait de la difficulté à dissocier deux ou plusieurs dimensions de leur mémoire (Luciana & Nelson, 1998; Diamond et al, 2005). Nous croyons que la série 1 était relativement simple et que les performances étaient semblables pour tous les groupes d'âge car elle comportait peut-être 2 dimensions, mais des dimensions familières (couleur et forme) les rendant ainsi plus facilement mémorisables.

Pour la série 2, les résultats sont tout autres car les analyses de variances ont démontré un effet de la dimension relié à l'âge des enfants. Pour les enfants de première année, le taux de réussite est plus élevé pour la dimension du son que pour les deux autres dimensions visuelles (couleur et forme). Comme il a été mentionné auparavant dans la revue de littérature, la notion d'inhibition n'est pas complètement maîtrisée avant l'adolescence ce qui augmente la difficulté à mémoriser deux éléments différents et ce, même dans un contexte identique (visuel) et en un bref laps de temps (Zelazo et al, 2004). De plus, il a été démontré par les analyses de la présente étude que chez les jeunes enfants, l'ajout d'une troisième dimension de nature sonore, diminuait grandement la capacité à focaliser les points à retenir et cela influence la mémorisation des deux autres dimensions. De plus, le son obnubilait complètement certains enfants de première année, causant ainsi une perte de concentration majeure sur la question à laquelle ils devaient répondre à chaque essai. Évidemment, il est difficile de discerner si c'est le fait qu'il y a une dimension supplémentaire à mémoriser ou bien si c'est parce que cette nouvelle dimension est de nature auditive. Pour connaître la réponse exacte à cette question, il faudrait refaire la tâche avec une troisième dimension de nature visuelle telle que la localisation dans l'espace. Par contre, en se basant sur une étude récente qui comportait trois dimensions visuelles (forme, couleur et localisation dans l'espace) (St-Jean & Cadoret, 2008 non publié), il est permis de croire que c'est bien le son et non la troisième dimension qui est la cause des résultats inférieurs des enfants de première année par rapport aux enfants des deux autres groupes. Dans cette étude les enfants de première année devaient comme dans notre étude, se rappeler soit la forme ou la couleur d'un stimulus visuel dans une

première série d'essais et ensuite dans une deuxième série se rappeler soit la forme, la couleur ou la localisation spatiale à l'écran du stimulus visuel. Les enfants ont obtenu des scores équivalents pour le rappel de la forme et de la couleur dans les 2 séries. L'ajout de la troisième dimension (localisation spatiale) n'a eu aucun effet sur la performance de rappel. Le nombre d'alternatives ne semble donc pas être un facteur si déterminant. D'autres études antérieures rapportent des effets de dimension reliés à l'âge des enfants mais pas de façon aussi significative (Diamond et Kikham, 2005). Les auteurs justifient cet effet de dimension par le fait qu'une troisième dimension augmente la complexité mais aussi parce qu'elle demande aux enfants de se familiariser à nouveau avec un nouvel élément sur une courte période de temps.

Toujours dans la série 2, les enfants de sixième année ont un taux de réussite plus élevé pour le rappel de la dimension forme que pour celui de la dimension couleur. Cela peut peut-être, être expliqué par le fait que les enfants ont une meilleure perception des formes qu'ils ont à mémoriser car ils ont la possibilité de les associer à un objet familier, constituant de leur quotidien.

Par ailleurs, un effet de série par rapport à la dimension à mémoriser a aussi été noté. Le taux de réussite pour le rappel de la dimension couleur et la dimension forme est significativement plus bas en série 2 qu'en série 1 pour les enfants de première année. Évidemment, comme le son obnubilait la plupart des enfants, leurs réponses aux essais de la série 2 étaient souvent par rapport au son qu'ils entendaient et ce, même si l'élément qu'ils devaient mémoriser pour un essai X était la couleur ou bien la forme. Ce phénomène a donc fait chuter de façon importante, la performance de rappel pour les dimensions couleur et forme en série 2.

Dans le même ordre d'idée, le taux de réussite pour le rappel de la dimension couleur en série 2 est significativement inférieur au taux de réussite pour la même dimension en série 1 pour les enfants de sixième année. Une explication possible serait qu'en série 2, les dimensions son et forme, sont considérées comme étant facilement mémorisables par des enfants âgés entre 10 et 12 ans car l'une d'elle ressort du lot et l'autre peut être associée à un objet familier. Ce faisant, puisque le son est la seule dimension auditive, il

est plus évident d'émettre une attention focalisée et ainsi le mémoriser adéquatement. Cela montre bien que les enfants plus âgés (10-12 ans) possèdent des réseaux neuronaux bien développés et sont capables de résoudre des problèmes à stratégies complexes mais ils conservent toutefois quelques lacunes lorsqu'il y a plusieurs éléments à mémoriser dont deux d'une même nature (visuelle). Par ailleurs, ces variantes multimodales du rappel volontaire n'étant pas encore étudiées chez l'adulte, il serait nécessaire de le faire dans une recherche ultérieure.

5.4.2 Temps de réaction

Pour le temps de réaction, aucun effet de dimension n'a été démontré, peu importe la dimension, la série ou bien le groupe d'âge. Étonnamment, nous aurions pu croire qu'avant les résultats et les explications précédentes, la dimension son aurait provoqué des temps de réaction plus courts puisque cette dimension est la mieux réussie peu importe le groupe d'âge. En fait, la dimension n'influence pas le temps de réaction car le raisonnement qui doit être effectué est le même peu importe la dimension à retenir. Indubitablement, certaines dimensions sont plus faciles à mémoriser que d'autres mais le temps pour répondre à la question reste le même, c'est plutôt le taux de réussite qui sera influencé. En plus, comme il a été observé dans des études antérieures, le temps de réaction est très dépendant de l'âge des sujets (Munakata et al, 2004; Diamond, 2005).

5.5 L'EFFET DE L'ÂGE VERSUS L'AMBIGÜITÉ

L'ambigüité d'un essai influence grandement le taux de réussite. Puisque les enfants en bas âge sont plus affectés par l'ambigüité, leur taux de réussite en sera lui aussi influencé (Luciana & Nelson, 1998). Ce faisant, plus il y aura de dimensions à mémoriser, plus cette ambigüité augmentera. Le nombre de dimensions à se rappeler n'est pas le seul facteur d'ambigüité qui influence le taux de réussite et le temps de réaction.

Pour la moitié des essais de la tâche, le contexte de rappel génèrait de l'ambigüité. Dans ce type d'essai l'enfant devait par exemple se rappeler la forme du 1er stimulus et dans la situation test le stimulus avait la même forme mais une couleur différente. Dans un tel

cas, si l'enfant par le processus de rappel n'isolait pas correctement la forme du stimulus mémorisé sa réponse risquait d'être perturbée par les variations de la 2e dimension (la couleur dans l'exemple précédent). La performance des enfants sur ces essais est donc très révélatrice de leur capacité d'isoler en mémoire une information particulière. Un taux de réussite et un temps de réaction équivalents dans les essais faciles (non-ambigus) et difficiles (ambigus) sont la preuve que l'ambiguïté du contexte de rappel n'affecte pas l'enfant et ce probablement parce qu'il a su isoler en mémoire l'information demandée. L'ambiguïté induite par la tâche ou les stimuli sont donc aussi des facteurs importants à considérer.

Les analyses de variances ont démontré un effet d'ambiguïté sur le taux de réussite, toutefois cet effet n'était pas lié à l'âge. Les résultats de l'étude démontrent plutôt un effet d'ambiguïté lié à la dimension et des taux de réussite inférieurs en présence d'essais difficiles (ambigus) par rapport à des essais faciles (non-ambigus) et ce pour tous les groupes d'âge. Pour la série 1, il n'y a pas d'interaction entre l'âge des enfants et l'ambiguïté des essais.

5.5.1 Taux de réussite

Pour les enfants de première année uniquement, le taux de réussite est inférieur quand il s'agit de répondre à des essais difficiles par rapport à des essais faciles. Ces résultats démontrent que le processus de rappel est peut-être encore vulnérable chez les enfants plus jeunes ou que leur capacité de prise de décision sur la base d'une information mémorisée est encore émergente. Encore une fois, cela montre bien que les problèmes à stratégie complexe occasionne des difficultés supplémentaires aux jeunes enfants et une des hypothèses serait que leur capacité de stratégie organisationnelle n'est pas suffisamment développée (Zelazo et al, 2004).

Pour la série 2, il y a un effet d'ambiguïté mais il n'est pas relié à l'âge. Cela voudrait dire que c'est l'ambiguïté des essais uniquement qui influencerait le taux de réussite. Suivant cela, pour les trois groupes d'âge, le taux de réussite diminue en présence d'essais difficiles par rapport aux essais faciles. La série 2 comprenait trois dimensions à

mémoriser pour chaque essai et les essais difficiles étaient ceux où 2 des trois composantes différaient de l'image de référence. L'ambiguïté était plus forte dans cette série car au moment de la situation test, 2 dimensions sur 3 induisaient la réponse contraire à celle attendue et le sujet devait les ignorer. En effet, lorsqu'une seule composante de l'image réponse diffère de la combinaison à mémoriser, cela est plus facile de focaliser l'attention sur cette composante. Par contre, dans le cas de figure où deux des trois composantes sont différentes, alors l'attention doit être plus diffuse ce qui augmente la difficulté et la performance tend à diminuer. Il est aussi possible que les enfants aient de la difficulté à appliquer les nouvelles règles de la série qui implique de mémoriser 3 dimensions comparativement à deux dans la série précédente. Le phénomène d'inertie attentionnelle peut expliquer en partie pourquoi la complexité des essais fait diminuer les performances des trois groupes d'enfants à l'étude.

Un effet d'ambiguïté lié à la dimension a été observé chez certains groupes d'âge. Pour la série 1, la diminution du taux de réussite associée à l'ambiguïté est plus importante quand le rappel est pour la dimension forme que quand il s'agit d'un rappel pour la couleur. Par contre, ce phénomène n'est observable que chez les enfants de première année. Suivant l'explication fournie antérieurement, il est permis de croire que pour les enfants en bas âge, il est plus facile d'être captivés par des couleurs saillantes que par des formes abstraites. Certes, les formes peuvent être associées à un objet familier mais en bas âge, il est plus difficile de faire une association d'un élément familier par rapport à sa forme qu'il en est pour sa couleur (Davidson et al, 2006).

Par ailleurs, pour la série 2, le taux de réussite est supérieur pour les essais forme que pour les essais couleur. C'est-à-dire que nous pouvons voir dans les trois groupes que les essais difficiles (ambigus) sont mieux réussis pour la dimension forme que pour la dimension couleur. Ces nouvelles données sont plutôt contraires aux données d'études antérieures mais peuvent être expliquées par le fait que face à une situation à stratégie complexe, les enfants de tous âges reviennent à l'élément le plus facilement associatif à leur quotidien, donc la forme. Il se peut aussi que les stratégies changent quand il y a 3

composantes à dissocier en mémoire et que le souvenir de la forme soit plus résistant à un contexte de rappel ambigu que le souvenir de la couleur.

5.5.2 Temps de réaction

Pour la série 1, aucun effet d'ambiguïté n'a influencé les temps de réaction de tous les enfants à l'étude. Ce résultat est intéressant car il démontre que lorsque les enfants réussissent les essais, ils sont aussi rapides pour les essais faciles que difficiles. Cela n'est possible que si les enfants ont la capacité d'isoler en mémoire l'information requise et que s'ils ont aussi la capacité de la maintenir en mémoire pour la confronter en situation de test. C'est une preuve que les enfants de 6 à 12 ans ont une bonne capacité de rappel volontaire même si chez les plus jeunes cette capacité reste encore émergente compte tenu des effets de l'ambiguïté sur le taux de réussite.

Par contre, pour la série 2, un effet d'ambiguïté par rapport au temps de réaction a été noté mais cet effet n'est pas relié à l'âge des enfants. Étonnamment, les enfants de première année ont un temps de réaction supérieur pour les essais faciles que les essais difficiles. Il se peut que dans la série 2 les enfants ne soient pas aussi systématiques dans leurs réponses et font une vérification systématique de toutes les dimensions, ce qui peut prendre plus de temps quand tout est pareil car l'enfant vérifie chacune des 3 dimensions. Cette hypothèse serait à investiguer plus en profondeur. Pour les deux autres groupes, il n'y a pas de différence dans le temps de réponse entre les essais faciles et les essais difficiles et ce peu importe la dimension à mémoriser. Il est donc possible que les enfants ne soient pas affectés par l'ambiguïté lorsqu'ils donnent leur réponse mais que leur taux de réussite lui en soit affecté. Il est aussi probable qu'en prenant un peu plus de temps pour analyser la question, les enfants augmenteraient leur chance de répondre adéquatement aux essais difficiles.

5.6 EXPLICATIONS NEUROLOGIQUES

Il a été proposé que les processus de rappel actif seraient orchestrés via une modulation des neurones du cortex préfrontal ventrolatéral sur les neurones du cortex inféro-temporal (Petrides, 2002; Miyashita, 2004). D'après les études anatomiques le cortex préfrontal arriverait à maturation beaucoup plus tardivement que l'âge de 12 ans (Kanemura et al, 2003). Comment expliquer alors le niveau de performance des enfants de 6 à 12 ans observé dans notre étude? Plusieurs hypothèses peuvent être formulées. La tâche de rappel actif pourrait révéler des fonctions préfrontales qui sont dans les premières à arriver à maturité. Il a été proposé également que chez l'enfant, les fonctions qui sont supportées par le cortex préfrontal chez l'adulte engageraient des réseaux élargis qui se résorberaient dans le temps et deviendraient plus focalisés. De plus, chez les enfants en bas âge (6-7 ans), les circuits neuronaux locaux ne sont pas à pleine maturité mais démontrent tout de même une augmentation de leur efficacité par rapport à l'assimilation de nouvelles informations au fil du temps. Ce faisant, lorsque les enfants en bas âge se retrouvent devant des problèmes simples qui requièrent l'utilisation de leur mémoire tel que dans la série 1, ils performent généralement bien. La communication nécessaire entre les aires associatives et le cortex préfrontal serait assez efficace pour gérer les tâches qui demandent un effort de mémorisation minimal. Pour les tâches à nature stratégique et complexe telle que la série 2, ce sont les fonctions de mémorisation du cortex préfrontal qui entreraient en jeu et chez un enfant âgé de moins de 7 ans, cette fonction ne serait que partiellement développée d'où la diminution importante de la performance globale dans ce cas de figure (Luciana & Nelson, 1998).

CONCLUSION

L'objectif de cette recherche était d'examiner comment avec l'âge une fonction de rappel mnémonique qui est contrôlée chez l'adulte par le cortex préfrontal évolue. Nous voulions également voir comment le développement influence les composantes du rappel volontaire. Ces composantes sont le contenu du rappel, le caractère multimodal versus unimodal du rappel et la complexité de la tâche en terme du nombre de choix pour retrouver un élément en mémoire. La démarche de cette recherche consista à examiner la performance de rappel d'enfants de différents groupes d'âge en fonction de la nature des composantes qui doivent être retracées en mémoire et du nombre de liens existants entre ces composantes. La performance globale a été étudiée par le biais du taux de réussite en pourcentage et du temps de réaction des enfants.

Nous avons 3 hypothèses au départ: que la performance des enfants s'améliorerait avec l'âge, que les enfants plus âgés seraient moins affectés par l'augmentation d'ambiguïté et que la performance de rappel serait diminuée en série 2 comparativement à celle de série 1. Deux de ces trois hypothèses ont été confirmées car il n'y avait pas de différences entre le rappel de la couleur et celui de la forme. Les principaux résultats qui ressortent de cette recherche démontrent qu'entre l'âge de 6 et 11 ans, les enfants sont capables de prendre des décisions cognitives impliquant une comparaison entre un stimulus test et une composante spécifique isolée en mémoire par rapport à une instruction donnée. Cette capacité chez les adultes est supportée par le cortex préfrontal ventrolatéral. Néanmoins, chez les enfants en bas âge (< 8 ans) cette capacité est encore vulnérable et dépend de la composante qui doit être mémorisée ainsi que de la difficulté de la décision. Un résultat marquant est également que les enfants plus jeunes ont besoin de plus de temps pour rapporter leur décision cognitive sous forme d'une réponse motrice. Il semble y avoir une transition importante autour de l'âge de 6 ans et il serait intéressant de tester des enfants de 5, 6 et 7 ans pour avoir une analyse plus précise.

Lors du déroulement de cette recherche, nous avons dû faire face à certaines limites. En effet, le recrutement des trois groupes d'âge n'a pas été simple. Nous avons eu plus de difficultés à recruter les enfants de première année et parmi ceux dont nous avons obtenu le consentement, nous avons dû en exclure deux car leur participation contrastait avec celle des autres. Heureusement, aucun enfant n'a retiré son consentement alors nous avons réussi à atteindre nos objectifs de recrutement initial. L'aspect comportemental de chaque enfant a pu constituer un biais même si le protocole a été standardisé. En effet, certains enfants étaient calmes, d'autres plus turbulents et d'autres perdaient leur concentration plus facilement.

En termes de recommandations, il aurait été bien d'effectuer les expérimentations dans un environnement plus calme et surtout lors de périodes fixes hors des heures de classe afin d'optimiser l'attention des enfants. Puisque ces derniers effectuaient la tâche dans un local sur le même étage que les classes d'enseignement, les enfants étaient parfois distraits par le son de la cloche ou les va-et-vient de leurs camarades de classe. Par contre, le temps prévu pour chaque enfant à faire la tâche était adéquat et les séances d'explications et d'essais ont aussi été bien appropriées.

La tâche telle que proposée dans cette recherche demandait aux enfants beaucoup de flexibilité cognitive car ils devaient alterner le rappel de la forme et celui de la couleur. Les études développementales ont démontré que cette flexibilité évolue avec l'âge et il serait intéressant dans des études futures d'examiner le rappel en contrôlant davantage les exigences de flexibilité, en dosant l'alternance des essais par exemple et en mesurant les effets sur la performance des enfants. De plus, nous pourrions effectuer la même tâche de rappel volontaire en remplaçant la troisième dimension « son » par une autre dimension visuelle telle que la localisation spatiale. De cette façon, cela permettrait de confirmer ou d'infirmer la thèse de la diminution de la performance globale des enfants causée par l'ajout d'une troisième dimension d'un autre mode. Il serait aussi intéressant de combiner la tâche de rappel mnémonique volontaire avec une évaluation neuropsychologique de type clinique pour voir avec quelles composantes de la cognition est corrélé le rappel aux

différents âges. Par ailleurs, la possibilité de mesurer les activations cérébrales liées à la performance de rappel chez les enfants viendraient enrichir les données sur la mémoire des enfants. En effet, chez les enfants plus âgés de 11 ans qui seraient capables de subir une expérimentation dans un scanner, il serait intéressant de voir si pour une performance équivalente, les enfants utilisent les mêmes substrats neurologiques que les adultes.

APPENDICE A – MATÉRIEL EXPÉRIMENTAL



APPENDICE B – « CUES » UTILISÉES POUR LA TÂCHE



SON



COULEUR



FORME

APPENDICE C – FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

L'expérimentation se fera sous la direction de madame Geneviève Cadoret, Ph.D., professeure au département de kinanthropologie de l'UQAM. Le projet sera exécuté par Joannie Dionne, B.Sc. Biologie (Physiologie) et candidate à la maîtrise en kinanthropologie.

Les coordonnées de ces membres de l'équipe sont : Département de kinanthropologie, UQAM, Pavillon des Sciences de l'Éducation, C.P. 8888 Succ. Centre-Ville, Montréal H3C 3P8, Tél. : 987-3000, poste 2244.

Préambule

Nous invitons votre enfant à participer à un projet de recherche sur le développement de la mémoire qui implique de passer un test de mémorisation très simple. Avant d'accepter que votre enfant participe, nous vous prions de bien vouloir prendre connaissance du présent formulaire afin de bien comprendre les tâches demandées et le rôle des différents acteurs.

Ce formulaire vous explique le but de l'étude, les avantages, les inconvénients et les personnes à contacter en cas de besoin.

Nous vous invitons à poser toutes les questions que vous jugerez utiles ou qui pourraient faciliter votre compréhension du projet, aux membres de l'équipe.

Description du projet

La mémoire explicite d'un événement, souvent qualifiée de mémoire épisodique, nécessite de se souvenir des composantes de l'événement (le lieu, les personnes, les bruits) mais aussi des liens existants entre les composantes de l'événement. L'idée générale retenue en psychologie développementale est que la mémoire explicite s'améliorerait avec l'âge. En grandissant les enfants deviennent plus performants sur des tâches de reconnaissance ou de rappel. Toutefois il existe plusieurs formes de rappel. Le rappel automatique (voir un chat dans la rue et se rappeler que le nôtre est resté hors de la maison) est sans effort et déclenché par un événement, une image. Le rappel volontaire (rechercher un numéro de téléphone peu familier pour remplir un formulaire), requiert un effort, une stratégie. Ce rappel explicite (ou volontaire), contrairement au rappel automatique, serait la capacité d'isoler en mémoire une composante qui est liée de façon arbitraire avec d'autres composantes et de rapporter cette composante.

L'objectif de la recherche proposée est donc de mieux comprendre comment se développe le rappel explicite (volontaire) chez l'enfant. La démarche consistera à examiner la performance de rappel d'enfants de différents groupes d'âges en fonction de la nature des composantes qui doivent être retracées en mémoire et du nombre de liens existants entre les composantes.

Nature et durée de la participation

La tâche sera présentée sur un écran d'ordinateur portatif et votre enfant devra répondre en appuyant sur un bouton réponse présenté sur une plaquette de bois, reliée

informatiquement à l'écran ainsi qu'à un chronomètre. Le principe de la tâche de rappel consistera à présenter à votre enfant momentanément un stimulus ayant plusieurs caractéristiques (une forme, une couleur, un son) et de lui demander ensuite après un délai, de se remémorer une des caractéristiques du stimulus présenté préalablement (la couleur ou la forme ou le son). Suite à un deuxième délai un stimulus test est présenté et votre enfant devra décider si le stimulus test correspond à la caractéristique demandée du stimulus préalablement visualisé.

La tâche sera proposée à votre enfant selon 2 niveaux. Niveau 1 : l'enfant devra réaliser une série d'essais au cours desquels il devra se remémorer soit la couleur, soit la forme du stimulus préalablement visualisé. Niveau 2 : au cours d'une série d'essais l'enfant devra se remémorer soit la couleur, la forme ou le son du stimulus préalablement visualisé. Ce 2^e niveau correspond à un niveau de difficulté supérieur à celui du niveau 1 car la sélection en mémoire de la caractéristique requise est plus exigeante (une caractéristique parmi 3 au lieu d'une caractéristique parmi 2 dans le niveau 1), ce qui génère également davantage d'ambiguïté au moment de la prise de décision. Pour chacun des niveaux la tâche sera présentée sous forme d'une série de 32 essais. Nous mesurerons le taux de réussite et le temps de réaction de votre enfant.

Toutes les expérimentations seront faites dans un local de l'école fréquentée par votre enfant.

La séance commencera par une courte explication verbale du projet. Votre enfant sera tout d'abord testé pour son temps de réaction moteur sur 10 essais. Ensuite la tâche lui sera expliquée. Votre enfant aura droit à un temps de pratique qui permettra aussi de contrôler sa compréhension de la tâche. Il pourra se pratiquer jusqu'à ce qu'il ait réussi quatre essais consécutifs, ce qui sera considéré comme le seuil de passage pour vérifier qu'il a bien assimilé la tâche. Une fois ce seuil atteint, nous considérerons que votre enfant a assimilé la tâche et nous commencerons l'expérimentation. Des essais pilotes avec des enfants nous permettent de prédire que cette pratique, même avec les plus jeunes, ne devrait pas excéder 10 minutes.

Finalement, votre enfant sera testé sur les deux niveaux de la tâche. L'ensemble devrait prendre entre 30 et 40 minutes. Sachez que l'enfant est libre de prendre une pause entre les séries tests s'il le désire.

Avantage pouvant découler de votre participation

La participation de votre enfant à ce projet de recherche va permettre de mieux comprendre comment les fonctions associées à la mémoire évoluent et de faire un lien entre le développement cérébral et le développement de la mémoire.

Un petit cadeau sera donné aux participants pour les remercier.

Inconvénients personnels

La participation au projet demande une période de temps de 30 à 40 minutes pendant laquelle votre enfant ne pourra pas faire d'autres activités. La période d'expérimentation sera définie avec l'enseignant ou l'enseignante, pour ne pas pénaliser l'enfant sur son temps de classe.

Confidentialité

Tous les renseignements recueillis lors de cette étude seront codifiés afin d'assurer leur

confidentialité. Ces renseignements seront conservés sous clés à l'Université du Québec à Montréal par la responsable de l'étude jusqu'à la publication des résultats. Seuls les membres de l'équipe de recherche y auront accès. Les résultats de recherche présentés ou publiés seront communiqués aux sujets participants qui le désirent. Dans tous les cas, l'anonymat des sujets et la confidentialité des données seront respectés.

Retrait du projet

La participation au projet est strictement volontaire, il sera possible à votre enfant en tout temps de se retirer de l'étude sans aucune pénalité. Dans le cas d'un retrait, les documents et écrits le concernant seront détruits.

Clause de responsabilité

En participant à cette étude vous ne renoncez à aucun de vos droits ni ne libérez les chercheurs de leurs obligations légales et professionnelles.

Personnes-ressources

La personne ressource du projet est Joannie Dionne, B.Sc. Cette personne peut être rejointe en tout temps aux coordonnées suivantes : Département de kinanthropologie, Université du Québec à Montréal. Téléphone : 987-3000, poste 2244 ou dionne.joannie@uqam.ca

Cette recherche a reçu l'approbation du comité d'éthique du département de kinanthropologie (Université du Québec à Montréal, C.P. 8888, succursale Centre-ville, Montréal, Qc, H3C 3P8), un sous-comité du Comité institutionnel d'éthique de la recherche avec des êtres humains (CIÉR) de l'UQAM (secrétariat du Comité : Service de la recherche et de la création, Université du Québec à Montréal, C.P. 8888, succursale Centre-ville, Montréal, Qc, H3C 3P8 – Téléphone : 987-3000 poste 7753). Toute question sur les responsabilités du chercheur principal concernant les questions d'éthique ou plainte peut être adressée au CIÉR.

Consentement

En tant que _____ (parent ou tuteur),

je consens, après en avoir discuté avec lui, avec elle, à ce que _____

participe au projet de recherche intitulé *L'effet de l'âge sur la performance de rappel mnémonique volontaire chez l'enfant*, selon les conditions précisées ci-dessus.

a) Je confirme avoir discuté du projet avec le sujet et qu'il ou elle accepte d'y participer de son plein gré.

b) Je souhaite recevoir une copie des résultats de la recherche :

Oui ☐ Non ☐

Le _____,

Nom du représentant légal de l'enfant : _____

Signature du représentant légal de l'enfant : _____

Engagement du chercheur

Je soussigné, Joannie Dionne, certifie

- a. Avoir expliqué au signataire les termes du présent formulaire;
- b. Avoir répondu aux questions qu'il m'a posées à cet égard;
- c. Lui avoir clairement indiqué qu'il reste, à tout moment, libre de mettre un terme à sa participation au projet de recherche décrit ci-dessus;
- d. Que je lui remettrai une copie signée et datée du présent formulaire

Joannie Dionne

Signature de la responsable du projet :
Geneviève Cadoret, PhD
Professeure
UQAM
Département de kinanthropologie

APPENDICE D – QUESTIONNAIRE POUR LE PARENT

Nom de votre enfant : _____

Date de naissance : _____

Coordonnées de votre enfant (si vous voulez obtenir ses résultats au test) : _____

Les activités préférées de l'enfant : _____

L'enfant est-il droitier ou gaucher? : _____

L'enfant porte-t-il des verres correcteurs? : _____

L'enfant porte-t-il un appareil auditif? : _____

L'enfant prend-t-il des médicaments? (nous posons cette question parce que certains médicaments pourraient influencer la performance sur la tâche) : _____

Merci

BIBLIOGRAPHIE

- Bauer, P. 2006. *Event memory*. In W. Damon & R.M. Lerner (Eds in chief) D.Kuhn & R. Siegler (vol Eds), *Handbook in child psychology: Vol.2. Cognition, perception and language* (6th ed., pp. 373-425). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Brown, T., Perterson, S. & Schlaggar, B. 2006. *Does human functional brain organization shift from diffuse to focal with development?* *Developmental Science*, 9, 9-11.
- Cadoret, G., Pike, B. & Petrides, M. 2001. *Selective activation of the ventrolateral prefrontal cortex in the human brain during active retrieval processing*. *European J. of Neurosciences*, 14, 1164-1170.
- Cadoret, G., & Petrides, M. 2007. *Ventrolateral Prefrontal Neuronal Activity Related to Active Controlled Memory Retrieval in Nonhuman Primates*, *Cerebral Cortex*, 17 Suppl 1:i27-40.
- Ceci, S., Lea, S.E., & Howe, M.J. 1980. *Structural analysis of memory traces in children from 4 to 10 years of age*. *Developmental Psychology*. 16, 203-212.
- Davidson, M., Asmo, D., Anderson, L. & Diamond, A. 2006. *Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: evidences from manipulations of memory, inhibition, and task switching*. *Neuropsychologia*. 44:11, 2037-2078.
- Diamond, A., Carlson, S. & Beck, D. 2005. *Preschool children's performance in task switching on the dimensions aids the ability to switch*. *Development. Neuropsychology*. 28:2, 689-729.
- Diamond, A. & Kirkham, N. 2003. *Not quite as Grown-up as we like to think*. *Psychological Science*, 16:4, 291-297.
- Durston, S., Davidon, M., Tottenham, N., Galvan, A., Spicer, J., Fossella, J. & Casey, B.J. 2006. *A shift from diffuse to focal cortical activity with development*. *Developmental Science*. 9:1, 1-8.
- Guyla, M., Rossi-George, A., Hatshorn, K., Vieira, A. & Rovee-Collier, C. 2002. *The development of explicit memory for basic perceptual features*. *Journal of Experimental Child Psychology*. 81, 276-297.
- Hampshire, A. & Owen, A. 2006. *Fractionating attentional control using event-related fMRI*. *Cerebral Cortex*. 16(12), 1679-89.
- Hasegawa, I., Fukushima, T., Ihara, T. & Miyashita, Y. 1998. *Callosal window between prefrontal cortices: cognitive interaction to retrieve long-term memory*. *Science*. 281, 814-818.
- Hasegawa, I., Hayashi, T. & Miyashita, Y. 1999. *Memory retrieval under the control of the prefrontal cortex*. *Annual Medicine*. 31, 380-387.

- Kanemura, H., Aihara, M., Aoki, S., Araki, T & Nakazawa, S. 2003. *Development of the prefrontal lobe in infants and children: a three-dimensional magnetic resonance volumetric study*. Brain and Development, 25, 195-199.
- Karbach, J & Kray, J 2007. *Developmental changes in switching between mental tasks sets: the influence of verbal labelling in childhood*. Journal of cognition and development, 8(2), 205-236.
- Kostopoulos, P. & Petrides, M. 2003. *The mid-ventrolateral prefrontal cortex: insights into its role in memory retrieval*. European. Journal of Neuroscience. 17, 1489-1497.
- Luciana, M. & Nelson, C. A. 1998. *The functional emergence of prefrontally-guided working memory systems in four-to eight-year-old children*. Neuropsychologia. 36:3, 273-293.
- Mitchell, D.B. 1993. *Implicit and explicit memory from pictures: Multiples views across the lifespan*. Implicit memory. 171-190.
- Miyashita, Y. 2004a. *Cognitive memory: cellular and network machineries and their top-down control*. Science. 306, 435-440.
- Miyashita, Y. 2004b. *Neural mechanisms of cognitive memory*. Keio Journal of Medicine 53(2), 59-68.
- Munakata, Y., Casey, B.J. & Diamond, A. 2004. *Developmental cognitive neuroscience: progress and potential*. Trends in Cognitive Sciences, 8:3, 122-128.
- Nelson, C., Thomas, K. & De Hann, M. 2006. *Neural Bases of cognitive development*. In W. Damon & R.M. Lerner (Eds in chief) D.Kuhn & R. Siegler (vol Eds), Handbook in child psychology: Vol.2. Cognition, perception and language (6th ed., pp. 3-57). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc. Petrides, M. (1994). Frontal lobes and working memory: evidence from investigations of the effects of cortical excisions in nonhuman primates. In F.Boller & J.Grafman, Eds, Handbook of Neuropsychology, 9, 59-82, Elsevier, Amsterdam.
- Petrides, M. 1996. *Specialized systems for the processing of mnemonic information within the primate frontal cortex*. Philosophical Transactions of the Royal Society, London, Series B, 351, 1455-1462.
- Petrides, M. & Pandya, D.N. 2001. *Comparative cytoarchitectonic analysis of the human and the macaque ventrolateral prefrontal cortex and corticocortical connection patterns in the monkey*. European Journal of Neuroscience. 16, 291-310.
- Petrides, M. 2002. *The Mid-Ventrolateral Prefrontal Cortex and active mnemonic retrieval*. Neurobiology of Learning and memory. 78, 528-538.
- Sakai, K. & Miyashita, K. 1994. *Visual imagery: an interaction between memory retrieval and focal attention*. Trends in Neurosciences 17:7, 287-289.

- Smith, M-L. , Kates, M. & Vriezen, E.R. 1988. *The development of frontal-lobe functions*. F.Boller & J. Grafman (Eds) Handbook of Neuropsychology, Elsevier Science Publishers Amsterdampp: 309-330.
- Tomita, H., Ohbayashi, M., Nakahara, K., Hasegawa, I. & Miyashita, Y. 1999. *Top-down signal from prefrontal cortex in executive control of memory retrieval*. Nature. 401, 699-703.
- Tulving,E. 1972. *Episodic and semantic memory*. Tulving, E. & Donaldson, W. (Eds) Organization of memory. New-York Academic press, pp.381-403.
- Wagner, AD., Desmond, JE., Glover, GH. & Gabrieli, JD. 1998. *Prefrontal cortex and recognition memory. Functional-MRI evidence for context-dependent retrieval processes*. Brain. 121 (Pt 10):1985-2002.
- Zelazo, P.D., Craik, F.I.M. & Booth, L. 2004. *Executive function across the life span*. Acta psychologica. 115, 167-183.
- Zelazo, P.D. 1999. *Language, levels of consciousness, and the development of intentional action*. Dans Zelazo, PD, Astington, JW, Olson, DR (Eds) Developing theories of intention. Social understanding and self-control, Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc .95-117.