Université Bordeaux Segalen

Année 2012 Thèse n°1912

THESE POUR LE

DOCTORAT DE l'UNIVERSITE BORDEAUX 2

Mention Psychologie

Présentée et soutenue publiquement le 27 janvier 2012

Psychologie cognitive des processus d'attention sélective

Fonctionnement, développement normal et dysfonctionnement chez des enfants traités pour une tumeur du cervelet

Par **Marina Walker**

Née le 16 février 1984 à Libreville (Gabon)

Devant le jury composé de

Sandrine DELORD, Directrice de thèse	Maître de Conférences (ADT), Bordeaux
Marc BRAUN, Rapporteur	Professeur des Universités et Praticien Hospitalier, Nancy
George MICHAEL, Rapporteur	Professeur des Universités, Lyon
Michèle ALLARD, Examinatrice	Professeur des Universités et Praticien Hospitalier, Bordeaux
Jean Noël FOULIN, Examinateur	Maître de Conférences Habilité à Diriger des Recherches, Bordeaux
François VITAL-DURAND, Examinateur	Directeur de Recherche INSERM U846, Lyon

Ekwidi z'akowa za vakili n'awango, anèrô bé pèdia. Ce proverbe myéné issu de mes racines gabonaises signifie littéralement : la danse des pygmées a commencé par les enfants et les parents les ont suivis. Il transmet l'idée de l'importance de l'ouverture d'esprit dans la vie, l'importance de l'autre, l'importance de s'ouvrir à l'autre. Je tenais à débuter ce manuscrit par cette phrase qui évoque des notions, qui selon moi, font partie intégrante des qualités essentielles à toute recherche : s'intéresser à un phénomène, échanger ses idées avec d'autres chercheurs, entendre leurs arguments, s'interroger sur d'autres interprétations du phénomène, ou encore chercher comment les mettre à l'épreuve.

Remerciements

Dans ces remerciements, j'ai envie de vous faire partager l'aventure de cette thèse. A travers ces quelques lignes, je souhaite remercier tous ceux qui ont contribués à cette aventure, de façon ponctuelle comme de façon plus soutenue au fil de ces dernières années.

Je dois dire que ce qui m'a donné envie de m'engager dans ce travail, c'est avant tout ce thème pour lequel je me suis passionnée, ce mélange entre la neuropsychologie dont *Sandrine* a su me communiquer sa passion, les neurosciences que *Michèle* m'a fait découvrir, le développement cognitif que *Jean Noël* m'a permis d'explorer, l'aspect appliqué du projet de recherche à l'initiative de *Muriel* et *Anne*, et la passion de *Willy* d'en apprendre toujours plus sur le cervelet. Je suis vraiment contente d'avoir travaillé avec vous tous. C'est ce travail qui fait qu'aujourd'hui je ne conçois pas la recherche autrement que comme une interaction dynamique et constructive de spécialistes passionnés.

Ce qui a également rendu possible mon travail, c'est évidemment le financement ministériel qui m'a été accordé. Je profite de cette occasion pour remercier le *jury de l'Ecole Doctorale Sciences Humaines et Sociales* pour leur confiance. L'obtention de ce financement a été un évènement marquant car décisif pour mon avenir. Pour vous dire, j'ai toujours dans mon téléphone le message de ma directrice m'annonçant la bonne nouvelle, et encore en mémoire l'émotion de *ma famille* et en particulier de *ma mère* et *ma grand-mère* à l'annonce du verdict. Cette recherche a aussi bénéficié d'un financement de matériel qui m'a permis d'avoir des outils performants transportables sur mes différents lieux de travail.

Je remercie *les membres des laboratoires* et *des équipes de recherche* qui m'ont accueilli parmi eux et fourni un lieu de travail à la Victoire, à Carreire et à l'hôpital Pellegrin. Dans ces laboratoires, j'ai toujours pu compter sur mon grand frère et mes grandes sœurs de thèse qui m'ont toujours écouté, bien conseillé, ouvert la voie et même les yeux ! J'ai nommé *Guillaume*, *Camille* et *Marion*. De l'équipe de la Victoire je remercie les collègues doctorants et étudiants en master recherche dont l'énergie a été source de motivation durant ce marathon scientifique. Je pense particulièrement à *Delphine*, *Isabelle*, *Blandine*, *Pamela*, *Pierre* et *Florent*, et *Joanna*. Je voudrais surtout remercier *Quentin* pour son amitié et son soutien quotidien notamment durant la phase de rédaction. De l'équipe de Carreire je remercie *Marion* et *Laurie* qui m'ont fait une petite place dans leur bureau au PQR quand j'en avais besoin. Je pense aussi à l'accueil et la bonne humeur de *Charlotte*, *Sylvie*, *Mélissa*, *Myke*, *Saioa*, *Amandine*, et *Carole*, à *Anil* qui a toujours pris grand soin de nos papilles gustatives, et aussi *Gwen*, *Isabelle* et *Bixente* avec qui je suis ravie d'être partie en congrès à San Francisco. Egalement je remercie *Michèle* qui m'a souvent permis de travailler dans son propre bureau à l'hôpital.

En travaillant ainsi dans ces différents lieux, chacun a pu m'apporter son expertise et me guider dans ma recherche. Je remercie *Sandrine,* qui m'a toujours poussé à me surpasser et à donner le meilleur de moi-même ; *Jean Noël,* pour sa patience, sa disponibilité et aussi ses petites blagues légendaires ; *Michèle,* qui m'a beaucoup appris sur le cerveau et l'imagerie cérébrale, et qui a toujours été très efficace et pertinente pour la réalisation de communications scientifiques ; *Willy,* qui a suivi mon travail depuis le départ et m'a souvent permis de prendre du recul quand j'avais un peu trop le nez dedans ; *Muriel,* qui a toujours été déterminée à mener à bien ce projet de recherche, qui m'a toujours considéré, et avec qui ce fût un réel plaisir de travailler ; *Anne* et *Céline* qui ont fait le lien avec les patients et leur famille ; *Geneviève,* ma chère maitresse de stage, qui est l'une des plus belles rencontres que je fais sur Bordeaux, qui a su me communiquer toute son énergie positive et qui a cru en moi ; *Olivier* et *Sandrine* qui m'ont aidé pour le côté administratif mais indispensable à ce projet de recherche ; *Didier,* qui a adapté la programmation du paradigme à l'imagerie ; *les manipulateurs radio de Pellegrin* sans qui je n'aurais jamais pu acquérir les données en imagerie et en particulier *Pascal* et *Martine* qui ont pris le temps de m'expliquer deux trois astuces ; *Olivier* qui m'a créé une version unique de SPM sous Windows ; *Bixente, Isabelle* et *Martine* qui m'ont aidé à dompter SPM. Tous, je vous remercie tous d'avoir accepté de partager vos connaissances et vos savoirs avec moi.

Je tiens aussi à remercier ceux qui sont le cœur de cette recherche : *les participants.* Merci à eux de s'être prêtés au jeu. Pour les enfants, merci également à *leurs parents* d'avoir accepté et compris l'intérêt de ce travail, aux *directrices et directeurs des écoles primaires et du collège bordelais* qui ont accepté que je vienne perturber quelque peu le déroulement de certains cours. Merci aux enfants, adolescents et adultes qui ont accepté de faire un tour dans l'IRM. Enfin merci aux adorables *patients* qui, bien qu'étant en rémission, ont accepté de revenir à l'hôpital pour ce projet de recherche.

J'ai eu l'opportunité de co-encadrer le mémoire d'étudiantes en Master 1 avec *Sandrine* que je remercie encore pour sa confiance. Les interactions avec *Caroline, Aline, Mélanie, Aurore, Marie* et *Marion* ont été enrichissantes, constructives et fructueuses. Vraiment, je les remercie de leur contribution à ce travail. J'ai pu aussi interagir avec les étudiants en tant que monitrice d'enseignement. Je remercie *Virginie, Gilles,* et *Sandrine* qui m'ont permis de « jouer à la maîtresse » !

J'ai eu la chance de partir en congrès présenter mes travaux. C'est un passage essentiel pour faire le point et s'ouvrir à d'autres horizons. Merci à *mon laboratoire,* à *mon Ecole Doctorale,* à *mon département* et *Sandrine* de m'avoir aidé à financer ses déplacements.

J'ai vécu une aventure universitaire complète si je puis dire, car durant trois ans j'ai été membre du *comité des élus doctorants* et du *comité d'organisation des Journées de l'Ecole Doctorale Sciences Humaines et Sociales.* Je suis contente de ces rencontres avec les doctorants des autres disciplines et des échanges

avec *Michel Petit* directeur de l'ED 303, avec *Nicole Rascle* directrice adjointe de l'ED 303, avec *Bernard N'Kaoua* directeur adjoint de l'ED SP2, avec *Ghyslaine Laflaquière* secrétaire de l'ED, et avec *les autres membres du conseil de l'Ecole Doctorale,* qui nous ont fait confiance pour faire vivre à cette école.

Bien sûr cette aventure a connu son lot de péripéties, personnelles et professionnelles. A chaque fois, ces évènements m'ont poussé à me remettre en question et à revoir mes priorités. Ces rebondissements font pleinement partie du chemin qui m'a conduire ici aujourd'hui. Un grand merci à mes proches, *famille* et *amis,* qui m'ont soutenu durant cette aventure, avec une dédicace spéciale à *Loïc* qui a été d'un grand soutien pour moi.

Je souhaiterais maintenant évoquer quatre personnes qui m'ont toujours inspiré: mes muses *Amiyo, Mathéo* et *Alicia,* ainsi que mon arrière grand-oncle *monseigneur Raponda Walker* qui a lui-même était un homme de science reconnu. Je voudrais également remercier ma *maman*: c'est grâce à toi que je suis qui je suis. Et je tenais à inscrire une pensée pour *mon père*: j'espère te rendre fier ta fille de là où tu es.

Enfin et surtout, je souhaite faire part de toute ma reconnaissance au *Professeur Marc Braun* et au *Professeur George Michael* qui ont accepté d'être rapporteurs et d'évaluer ce travail de recherche. Je voudrais également remercier le *Professeur François Vital-Durand,* le *Professeur Michèle Allard,* et le *Docteur Jean Noël Foulin* pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de faire partie du jury de soutenance de cette thèse.

Résumé

L'attention est sollicitée quotidiennement et peut être définie comme l'action de se concentrer sur quelque chose. Dès le plus jeune âge nous développons cette fonction cognitive, indispensable pour nos interactions avec le monde.

Dans ce travail, la compréhension du fonctionnement des processus attentionnels est abordée à travers deux questions : comment les processus attentionnels se développent chez l'enfant sain et comment sont-ils atteints chez les enfants traités pour une tumeur du cervelet ? Plus précisément, cette thèse a pour objectif l'étude de la dissociation entre des processus automatiques et contrôlés de l'attention sélective visuelle dans le développement cognitif normal d'une part, et d'autre part dans leur atteinte chez des enfants ayant été traités pour une tumeur du cervelet. En intégrant une approche comportementale et une approche en imagerie fonctionnelle afin de répondre de façon complémentaire à cet objectif, ce travail interdisciplinaire se situe au carrefour de la psychologie, de la neuropsychologie et des neurosciences cognitives.

Ce manuscrit comporte deux parties. Dans l'introduction théorique, une revue de la littérature se décomposant en trois chapitres est proposée ; elle porte précisément sur le fonctionnement de l'attention, son développement et ses déficits chez des enfants traités pour une tumeur du cervelet. Dans la partie expérimentale, deux chapitres sont présentées. Le premier chapitre concerne une étude sur la maturation de l'attention chez des enfants de 7 ans à l'âge adulte à travers une approche comportementale et en imagerie fonctionnelle. Le second chapitre étudie à l'aide de cette double approche les déficits attentionnels chez les enfants ayant été traités pour une tumeur du cervelet. Les résultats de nos expériences ont montré qu'entre les processus attentionnels automatiques et contrôlés, il existait une dissociation d'une part dans leur développement à un niveau comportemental et fonctionnel, et d'autre part dans la compensation des réseaux cérébraux sous-tendant une préservation comportementale chez des enfants traités pour une tumeur du cervelet. Ces données suggèrent un fonctionnement distinct de ces processus de par leur développement normal et leur dysfonctionnement en pathologie.

Mots-clés : attention sélective visuelle, processus automatiques et contrôlés, développement cognitif normal, tumeur de la fosse postérieure, imagerie cérébrale fonctionnelle.

Abstract

Attention can be defined as the act of focusing on something. We develop this cognitive function necessary to adjust our interactions with the world since birth.

The general goal of this research is to understand the functioning of attentional processes through two questions: how attentional processes are developed in healthy children and how they are altered in children treated for a cerebellar tumor. This thesis specifically aims to study the dissociation between automatic and controlled processes of visual selective attention, firstly in normal cognitive development and secondly in their impairment in children treated for a cerebellar tumor. By incorporating in parallel a behavioral approach and an approach in functional imaging, this interdisciplinary work is at the crossroads of cognitive psychology, cognitive neuropsychology and cognitive neurosciences.

This manuscript has two parts. The theory part is composed of three chapters: the functioning, the normal development and the deficits of attention in children treated for a cerebellar tumor. The experimental part includes two chapters. The first one concerns the attentional development in participants from seven years old to an adult age, with a behavioral approach using two experimental paradigms and an approach in functional imaging. The second chapter, with the help of this double approach, presents an alteration of attention in children treated for a posterior fossa tumor. The results showed on one side that automatic and controlled attentional processes were dissociated in their development at a behavioral and a functional level. And on the other side, the results revealed that although the automatic and controlled attentional processes are behaviorally preserved in children treated for a cerebellar tumor, they were subtended by a different modification of the functional network. Taken together these data suggest a distinct functioning of these processes in their normal development and their impairment in disease.

Key words: visual selective attention, automatic and controlled processes, cognitive development, posterior fossa tumor, brain functional imaging.

Table des matières

REMERCIEMENTS **3**

RESUME/ABSTRACT **6**

INTRODUCTION THEORIQUE **13**

CHAPITRE 1 : LE FONCTIONNEMENT DE L'ATTENTION SELECTIVE VISUELLE **15**

1. LES MODELES COMPORTEMENTAUX DE L'ATTENTION SELECTIVE VISUELLE 16

1.1. Les approches classiques de l'attention : traitement des objets visuels simples *16*

1.1.1. Une théorie fondatrice de l'attention: le filtre attentionnel 17

1.1.2. L'attention visuo-spatiale endogène et exogène : le modèle de Posner 18

1.1.3. L'attention sélective partagée et focalisée : le modèle de Treisman 20

1.1.4. Les conceptions classiques de la distinction entre processus automatiques et contrôlés de l'attention 27

1.2. Les nouvelles approches de l'attention : analyse de scènes visuelles et aspects temporels *28*

1.2.1. Le rôle de l'attention dans l'analyse spatiale de scènes visuelles : le phénomène de cécité au changement ... 28

1.2.1.1. La cécité inattentionnelle 29

1.2.1.2. La cécité au changement 30

1.2.2 La composante temporelle de l'attention sélective visuelle: le phénomène de clignement attentionnel 34

1.2.3. Les nouvelles conceptions de la distinction entre processus automatiques et processus contrôlés de l'attention 38

2. LES MODELES ANATOMO-FONCTIONNEL DE L'ATTENTION SELECTIVE VISUELLE 40

2.1. Quelques notions d'anatomie cérébrale *40*

2.2. Les réseaux d'activation de l'attention sélective visuelle *41*

2.2.1. Les réseaux neuronaux impliqués dans le traitement de l'information visuelle 42

2.2.2. Les deux principaux modèles des réseaux de l'attention 43

2.2.2.1. Le modèle de Posner 43

2.2.2.2. Le modèle de Mesulam 45

2.2.3. Les réseaux spécifiques à l'attention sélective visuelle 47

2.2.3.1. Le réseau cérébral spécifique de l'attention sélective dans la recherche visuelle d'objets simples et dans l'analyse de scènes visuelles 47

2.2.3.2. La distinction entre les réseaux de l'attention sélective visuelle propres aux processus automatiques et aux processus contrôlés 50

2.3. Le fonctionnement par défaut du cerveau *51*

2.3.1. L'activité cérébrale au repos 51

2.3.2. Les déactivations cérébrales durant une tâche cognitive 52

RESUME DU CHAPITRE 1 56

CHAPITRE 2 : LE DEVELOPPEMENT NORMAL DE L'ATTENTION DE LA NAISSANCE A L'AGE ADULTE 58

1. LE DEVELOPPEMENT DU CERVEAU ET DE LA COGNITION 58

1.1. Comment penser le développement cognitif ? *58*

1.2. La maturation cérébrale après la naissance *60*

2. LE DEVELOPPEMENT DE L'ATTENTION SELECTIVE VISUELLE : LES DONNEES COMPORTEMENTALES 61

2.1. Les approches comportementales classiques et le développement des traitements attentionnels : objets visuels simples *61*

2.1.1. Un aperçu global du développement de l'attention sélective visuelle 61

2.1.2. Le développement de l'orientation de l'attention avec le paradigme d'indiçage 62

2.1.3. La mise en place précoce des processus de recherche parallèle avec le paradigme de recherche visuelle 63

2.1.4. Le débat sur la maturation des processus attentionnels de recherche sérielle avec le paradigme de recherche visuelle 65

2.2. Les nouvelles approches comportementales et le développement des traitements attentionnels : analyse de scènes visuelles et aspects temporels *66*

2.2.1. Le développement de l'implication de l'attention dans l'analyse de scène avec le flicker paradigm 66

2.2.2. Le développement des processus visuo-temporels de l'attention avec le paradigme d'attentional blink 68

3. LE DEVELOPPEMENT DE L'ATTENTION SELECTIVE VISUELLE : LES DONNEES ANATOMO-FONCTIONNELLES 69

RESUME DU CHAPITRE 2 72

CHAPITRE 3 : LES DYSFONCTIONNEMENTS COGNITIFS DES ENFANTS TRAITES POUR UNE TUMEUR DU CERVELET 74

1. LES FONCTIONS DU CERVELET 74

1.1. L'implication du cervelet dans les fonctions motrices et cognitives *75*

1.2. L'implication du cervelet dans l'attention *75*

2. LES TUMEURS DE LA FOSSE POSTERIEURE 78

2.1. La description de la pathologie *78*

2.2. Les déficits cognitifs tardifs des patients *79*

2.2.1. L'altération cognitive globale 79

2.2.2. L'atteinte spécifique de l'attention 83

2.3. Les conséquences psychologiques et sociales *85*

2.4. L'explication des troubles *85*

RESUME DU CHAPITRE 3 87

PARTIE EXPERIMENTALE 89

CHAPITRE 1 : LE DEVELOPPEMENT DE L'ATTENTION SELECTIVE VISUELLE DE 7 ANS A L'AGE ADULTE..... 91

1. ETUDE COMPORTEMENTALE DU DEVELOPPEMENT DES PROCESSUS D'ATTENTION SELECTIVE VISUELLE EN JEU LORS DE LA DETECTION DE FORMES VISUELLES SIMPLES CHEZ DES ENFANTS DE 7 ANS A L'AGE ADULTE (EXPERIENCE 1)..... 93

1.1. Problématique et hypothèses 93

1.2. Méthode 94

1.2.1. Participants 94

1.2.2. Matériel 95

1.2.3. Procédure 97

1.3. Résultats 98

1.3.1. Les résultats principaux : l'analyse des réponses positives 98

1.3.2. Les analyses complémentaires 109

1.3.2.1. Les réponses négatives 109

1.3.2.2. L'effet du genre 110

1.4. Discussion 111

2. ETUDE COMPORTEMENTALE DU DEVELOPPEMENT DES PROCESSUS D'ATTENTION SELECTIVE VISUELLE EN JEU LORS DE L'ANALYSE SEMANTIQUE DE SCENES VISUELLES COMPLEXES CHEZ DES ENFANTS DE 7 ANS A L'AGE ADULTE (EXPERIENCE 2)..... 114

2.1. Problématique et hypothèses 114

2.2. Méthode 115

2.2.1. Participants 115

2.2.2. Matériel 117

2.2.3. Procédure 120

2.3. Résultats 121

2.3.1. Les résultats principaux 122

2.3.2. Une analyse complémentaire : l'effet du genre 130

2.4. Discussion 130

3. ETUDE EN IMAGERIE FONCTIONNELLE DU DEVELOPPEMENT DES PROCESSUS D'ATTENTION SELECTIVE VISUELLE EN JEU LORS DE LA DETECTION DE FORMES VISUELLES SIMPLES CHEZ DES ENFANTS DE 7 ANS A L'AGE ADULTE (EXPERIENCE 3) 134

3.1. Problématique et hypothèses 134

3.2. Méthode 135

3.2.1. Participants 135

3.2.2. Matériel 138

3.2.2.1. Stimuli 138

3.3.2.2. Le choix de l'Imagerie fonctionnelle par Résonance Magnétique (IRMf) 138

3.3.2.3. Dispositif 139

3.2.3. Procédure 140

3.2.3.1. Programmation de l'expérience et acquisition des images 140

3.2.3.2. Déroulement de l'expérience 142

3.3. Résultats *142*
3.3.1. Les analyses sur le groupe des jeunes adultes 145
3.3.1.1. Le réseau d'activation 145
3.3.1.2. Le réseau de déactivation 147
3.3.2. Les analyses sur le groupe des enfants et des adolescents 151
3.3.2.1. Le réseau d'activation 151
3.3.2.2. Le réseau de déactivation 155
3.4. Discussion *158*
RESUME DU CHAPITRE 1 163
CHAPITRE 2 : LES DYSFONCTIONNEMENTS ATTENTIONNELS CHEZ LES ENFANTS TRAITES POUR UNE TUMEUR DE LA FOSSE POSTERIEURE 165
1. ETUDE COMPORTEMENTALE DU DYSFONCTIONNEMENT DES PROCESSUS D'ATTENTION SELECTIVE VISUELLE LORS DE LA DETECTION DE FORMES VISUELLES SIMPLES CHEZ DES ENFANTS TRAITES POUR UNE TUMEUR DE LA FOSSE POSTERIEURE (EXPERIENCE 4) 167
1.1. Objectif et hypothèses *167*
1.2. Méthode *167*
1.2.1. Participants 167
1.2.2. Matériel et procédure 169
1.3. Résultats *170*
1.3.1. Les résultats principaux : l'analyse des réponses positives 170
1.3.2. Les analyses complémentaires 176
1.4. Discussion *177*
2. ETUDE COMPORTEMENTALE DU DYSFONCTIONNEMENT DES PROCESSUS D'ATTENTION SELECTIVE VISUELLE LORS DE L'ANALYSE SEMANTIQUE DE SCENES CHEZ DEUX ENFANTS TRAITES POUR UNE TUMEUR DE LA FOSSE POSTERIEURE (EXPERIENCE 5) 179
2.1. Objectif et hypothèses *179*
2.2. Méthode *179*
2.2.1. Participants 179
2.2.2. Matériel et procédure 181
2.3. Résultats *182*
2.4. Discussion *186*
3. ETUDE EN IMAGERIE FONCTIONNELLE DU DYSFONCTIONNEMENT DES PROCESSUS D'ATTENTION SELECTIVE VISUELLE LORS DE LA DETECTION DE FORMES VISUELLES SIMPLES CHEZ DES ENFANTS TRAITES POUR UNE TUMEUR DE LA FOSSE POSTERIEURE (EXPERIENCE 6) 189
3.1. Objectifs et hypothèses *189*
3.2. Méthode *190*
3.2.1. Participants 190
3.2.2. Matériel et procédure 192
3.3. Résultats *192*
3.3.1. Les analyse sur le groupe des patients 194

3.3.1.1. Le réseau d'activation 194
3.3.1.2. Le réseau de déactivation 196
3.3.2. Les analyses comparatives des patients et des témoins 198
3.4. Discussion *199*
RESUME DU CHAPITRE 2 203
CONCLUSION GENERALE 205
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 208

Introduction théorique

La psychologie et la neuropsychologie cognitives sont au cœur de cette thèse à travers l'étude du développement normal de l'attention sélective visuelle, et l'étude de son altération chez des enfants ayant été traités pour une tumeur du cervelet. Les bases théoriques de ce domaine de recherche trouvent leur origine dans le fonctionnement mature de l'attention. Cette partie comporte donc trois chapitres d'introduction. Le premier chapitre présente une revue de la littérature sur le fonctionnement de l'attention sélective visuelle chez l'adulte. Les données théoriques évoquant la distinction entre les processus attentionnels automatiques et contrôlés sont présentées, aussi bien du point de vue comportemental que du point de vue du substrat cérébral. Puis, avec le second chapitre aborde la question du développement de l'attention sélective visuelle, à l'aide d'éléments théoriques rendant compte notamment du rythme de maturation des processus automatiques et contrôlés de l'attention. Enfin, dans le troisième chapitre, l'état actuel des connaissances scientifiques sur les séquelles attentionnelles que rencontrent les patients ayant été traités pour une tumeur du cervelet est décrit.

Chacun de ces chapitres d'introduction théorique comporte un résumé qui reprend les points théoriques essentiels à la compréhension de la problématique et de la suite expérimentale de ce travail, proposées dans la seconde partie de ce manuscrit.

Chapitre 1 :
Le fonctionnement de l'attention sélective visuelle

De façon générale, l'attention peut être définie comme le maintien d'un certain niveau d'alerte, la sélection des éléments pertinents de l'environnement pour une tâche à accomplir, et l'amélioration du traitement de l'information sélectionnée. Cette fonction cognitive est liée à plusieurs concepts tels que la vigilance, la concentration, la motivation, l'orientation, l'éveil ou encore la conscience. Plusieurs facteurs peuvent influencer l'attention comme la nature de la tâche, les conditions environnementales, le plaisir de la personne, la fatigue, ou encore la consommation de drogue. En effet, les fluctuations journalières, par exemple, modulent l'attention (Testu, 2008). A l'aide d'épreuves psychométriques et scolaires, Testu (1989) a constaté une chute des performances attentionnelles des adolescents à 8h30 et à 13h45, performances qui étaient améliorées à 11h45 et à 15h45. De la même manière, la privation de sommeil perturbe l'attention (Kendall, Kautz, Russo, & Killgore, 2006 ; Lim & Dinges, 2010), même si Pilcher, Band, Odle-Dusseau, et Muth (2007) ont précisé que ce déficit pouvait être compensé dans des tâches nécessitant un contrôle attentionnel.

La psychologie cognitive distingue cinq types d'attention pour rendre compte de ces différentes fonctions: les ressources attentionnelles, l'attention divisée, l'attention soutenue, l'attention sélective, et l'attention visuo-spatiale (revue dans Camus, 1996 ; Posner & Raichle, 1998). Même si ces cinq types d'attention représentent des aspects théoriques distincts, nous verrons des situations dans lesquels ils sont interdépendants. Les ressources attentionnelles (Kahneman, 1973) permettent d'optimiser le traitement d'une tâche. Ainsi lors de la réalisation d'actions simultanées, les ressources attentionnelles qui ont une capacité limitée peuvent être débordées. Cette surcharge peut entraîner une perturbation dans les tâches cognitives en cours. Il est alors important de se concentrer sur l'une des opérations afin de ne pas mobiliser de ressources pour la tâche perturbatrice. Ce choix s'effectue par un gestionnaire ou de façon volontaire par la personne. En situation d'attention divisée, les ressources attentionnelles sont réparties entre les différentes tâches devant être accomplies simultanément. Classiquement, l'attention divisée est étudiée à l'aide du paradigme d'écoute dichotique où le participant reçoit des informations auditives différentes sur chaque oreille. La personne doit alors se centrer sur le stimulus pertinent et ne pas se laisser perturber par l'autre,

dit distracteur. L'attention soutenue peut intervenir également dans ce type de tâche. Ce type d'attention est mis en jeu quand une personne est amenée à réaliser une tâche nécessitant de se concentrer pendant une longue période. L'attention sélective est mise en œuvre quand il faut extraire les informations pertinentes du flot d'éléments pouvant perturber la tâche à réaliser. Lors de ce type de tâche on peut s'intéresser également au déplacement de l'attention dans l'espace, on parle alors d'attention visuo-spatiale.

Dans ce travail, nous nous sommes focalisé sur l'attention sélective dans sa modalité visuelle. Dans la partie 1 de ce chapitre sont présentés les principaux modèles comportementaux et anatomo-fonctionnels de l'attention sélective et de l'attention visuo-spatiale.

1. Les modèles comportementaux de l'attention sélective visuelle

1.1. Les approches classiques de l'attention : traitement des objets visuels simples

L'étude de l'attention sélective trouve son origine avec l'effet *cocktail party* décrit par Cherry (1953). Cet effet rend compte de notre capacité à mener une conversation alors que d'autres personnes discutent autour de nous. Notre discussion n'est donc possible que par l'affranchissement des stimulations sonores non pertinentes. L'attention sélective permet dans ce cas une focalisation sur le stimulus intéressant à partir d'entrées sensorielles auditives.

Dans cette partie, des modèles classiques qui ont permis la compréhension de l'attention sélective visuelle sont présentés, en commençant par les premières théories de l'attention qui la considérait comme un filtre. Puis, deux modes de recherche visuelle de l'attention sélective sont examinés : la recherche parallèle et la recherche sérielle. Ensuite, les théories de l'orientation spatiale de l'attention sont exposées. Enfin, la distinction entre les processus attentionnels dits automatiques et les processus attentionnels dits contrôlés est examinée.

1.1.1. Une théorie fondatrice de l'attention: le filtre attentionnel

Les théories du filtre attentionnel ont émergé après la description du phénomène de *cocktail party*. Les modèles présentés ici ont donc été pensés essentiellement à partir d'entrées sensorielles auditives. Néanmoins, il s'agit de modèles princeps de l'attention sélective dont la notion centrale de filtre attentionnel reste importante dans la compréhension de théories actuelles en vision, comme par exemple l'explication du phénomène de clignement attentionnel par Di Lollo, Kawahara, Ghorashi et Enns (2005).

Broadbent (1958) a proposé de considérer l'attention comme un filtre ne traitant qu'une information à la fois. Il a été l'un des premiers auteurs à élaborer une théorie précise de l'attention sélective en décrivant le traitement de l'information comme une succession d'étapes. La première étape est l'encodage parallèle des caractéristiques physiques de toutes les entrées sensorielles. Puis une opération de sélection de l'information à traiter est réalisée en fonction de traits physiques des stimuli. Enfin, un traitement plus profond de perception et de reconnaissance de forme s'effectue via un simple canal à capacité limitée. Un élément important dans cette théorie est le canal à capacité limitée qui ne permet pas de répartir efficacement l'attention sur plusieurs stimuli, l'opération de filtrage précédente est donc essentielle. C'est cette limitation qui implique que les différentes étapes du système perceptif se produisent de façon sérielle. Une sélection simultanée de plusieurs stimuli, lors d'une écoute dichotique, entraîne la division de l'attention et un traitement moins performant de chaque stimulus. Selon l'auteur, le filtre attentionnel agit en limitant l'analyse aux informations pertinentes, les éléments non pertinents étant bloqués, ne faisant donc pas l'objet de traitement plus profond.

Treisman (1960, cité dans Lemaire 2006) a repris le modèle de Broadbent (1958) en y ajoutant sa théorie de l'atténuation. Elle a considéré que le filtre avait plutôt une fonction de modérateur, ne bloquant pas systématiquement le traitement des autres stimuli mais l'atténuant. Selon elle, certains messages ne sont pas traités, d'autres sont analysés de façon efficace, et d'autres enfin sont dégradés. Il ne s'agit donc plus d'une sélection mais d'une atténuation de l'information.

Dans ces deux modèles, l'action filtrante ou modératrice de l'attention sélective s'effectue juste après l'encodage sensoriel. Or Lewis (1970) a montré que le contenu sémantique du message non pertinent perturbait le traitement du message pertinent avec le

paradigme d'écoute dichotique. Ceci suggère une sélection tardive du stimulus pertinent, après une analyse sémantique des stimuli.

Cette perturbation du message distracteur sur la compréhension du message cible permet d'introduire la distinction entre les processus endogènes et exogènes de l'attention. Dans le cas précédent, on peut considérer que l'attention était capturée de façon exogène par le message non pertinent, et que pour mener à bien la tâche, l'individu devait orienter son attention de façon endogène vers le message pertinent. Cette distinction entre l'orientation endogène et exogène de l'attention est détaillée dans la partie ci-après.

1.1.2. L'attention visuo-spatiale endogène et exogène : le modèle de Posner

L'attention visuo-spatiale endogène et exogène correspondent à deux modes d'orientation de l'attention vers un stimulus visuel. Les chercheurs rapprochent fréquemment ces deux modes d'orientation de l'attention à la distinction entre les traitements cognitifs descendants (de l'anglais *top-down*) et montants (de l'anglais *bottom-up*). L'attention endogène se rapporte aux traitements cognitifs *top-down* à l'initiative de la commande cérébrale, et l'attention exogène aux traitements *bottom-up* stimulés par l'environnement sensoriel.

La compréhension de l'attention visuo-spatiale a beaucoup évolué grâce à Posner et ses collaborateurs qui la définissent comme une préparation attentionnelle sur la localisation d'un objet ou encore comme une orientation visuo-spatiale de l'attention. Posner et Raichle (1998) ont proposé un modèle décrivant cette attention, basé sur la distinction entre l'attention endogène engendrée par les attentes du participant qui peut être considérée comme un processus contrôlé, et l'attention exogène captée de façon automatique par un indice extérieur. Par exemple, l'attention endogène est mise en œuvre lorsqu'une personne se concentre volontairement sur un objet, alors que l'attention exogène est impliquée quand, par exemple, on est surpris par le déplacement d'un objet dans le champ visuel excentré. Deux procédures expérimentales particulières ont été élaborées pour mettre à l'épreuve ces deux modes d'orientation de l'attention (voir figure 1). Dans les deux cas, une cible apparaît à gauche ou à droite d'un point de fixation pendant un temps très court (150 ms) et le participant doit appuyer sur un bouton le plus rapidement possible pour dire de quel côté la cible est apparue, l'expérimentateur mesure les temps de réaction (TR) des participants. Selon Posner et Raichle (1998), la première procédure permet de mettre en œuvre des processus attentionnels précoces

et endogènes. Dans cette situation expérimentale, la cible est précédée par un indice (une flèche) indiquant le probable lieu d'apparition de la cible. Cet indice peut indiquer le côté où la cible apparaît (indice valide), le côté opposé (indice invalide), ou les deux côtés (indice neutre). Les auteurs ont montré qu'il y avait un effet de l'indiçage sur les TR. En effet, les TR étaient plus longs avec un indice invalide qu'avec un indice neutre ce qui traduit un coût de l'indiçage, et les TR étaient plus courts avec un indice valide qu'avec un indice neutre, ce qui représente un bénéfice de l'indiçage. Les chercheurs ont interprété ces résultats comme une représentation plus importante du stimulus qui provoquerait une accélération de sa perception, parce qu'il apparaît à l'endroit attendu. Ils ont introduit le terme d'attention couverte (en anglais *covert*) pour qualifier une orientation endogène de l'attention pour laquelle le déplacement attentionnel s'accompagne d'un mouvement oculaire. Posner et Raichle (1998) ont également proposé une seconde procédure permettant de mettre en œuvre des processus attentionnels exogènes. Dans cette situation expérimentale, l'indice situé en périphérie du champ visuel (surbrillance d'une zone) précède la cible de 50 à 250 ms, ce délai étant trop court pour permettre une saccade oculaire. Les chercheurs ont également observé des effets de l'indiçage avec cette seconde procédure. Ils en ont déduit que même sans mouvement oculaire un stimulus pouvait bénéficier d'un traitement attentionnel permettant d'accélérer sa détection. Ils ont qualifié l'attention ouverte (en anglais *overt*) pour rendre compte du traitement attentionnel d'un stimulus visuel sans fixation oculaire. Ce modèle décrit différentes étapes dans l'orientation de l'attention : l'alerte correspondant à un éveil attentionnel suite l'indice, la localisation de la cible et le désengagement de l'attention sur l'endroit indicé, et enfin l'orientation et l'engagement de l'attention vers la cible. Ces étapes expliquent les coûts et de bénéfices découlant du type d'indiçage. En effet, lors d'un indiçage valide, l'attention déjà engagée vers le lieu d'apparition de la cible, permet l'accélération de sa détection. Et dans le cas d'un indiçage invalide, ce sont les étapes de désengagement de l'attention du lieu de l'indice invalide, d'orientation et d'engagement attentionnels vers la cible qui ralentissent sa détection.

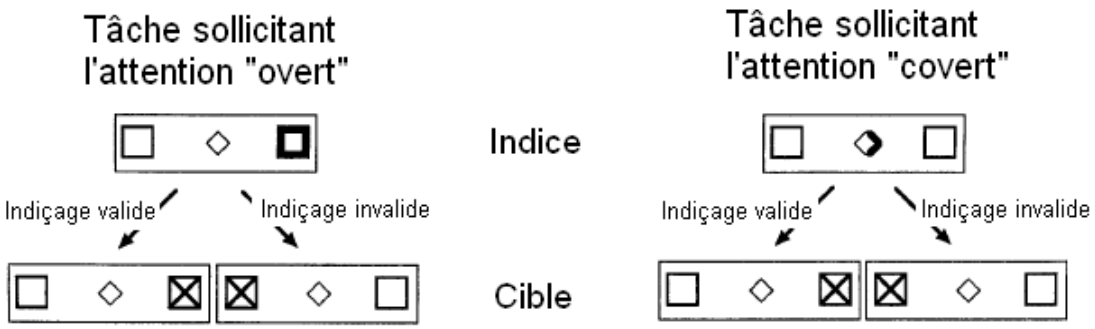


Figure 1. Représentation schématique des deux procédures expérimentales de Posner pour étudier l'attention *overt* et l'attention *covert*. (Source : Mesulam, Nobre, Kim, Parrish, & Gitelman, 2001)

Cependant, la distinction entre l'orientation endogène de l'attention et sa capture exogène par un stimulus visuel ne semble pas si simple. En effet, il existe des interactions entre ces deux modes d'orientation de l'attention (Theeuwes, 1991 ; Yantis & Egeth, 1999). Theeuwes (1991) considère l'attention comme le zoom d'un objectif, et propose qu'un changement abrupt de luminance provenant en dehors de la zone couverte par le focus attentionnel ne permette pas toujours d'attirer l'attention de façon exogène, sachant que la taille du focus attentionnel est variable sous contrôle endogène. Yantis et Egeth (1999) se sont intéressés à l'interaction entre les deux modes d'orientation de l'attention, et ont montré que la détection d'un élément visuel n'équivalait pas à une capture uniquement exogène. Ils ont proposé une expérience de recherche de cible dans laquelle la cible non saillante était présentée parmi des distracteurs et un élément saillant (par une dimension couleur ou mouvement). Leurs résultats ont révélé que les TR pour la détection de la cible étaient peu perturbés par la saillance du distracteur. Autrement dit, lors d'une compétition entre une capture exogène et un contrôle endogène de l'attention, le système cognitif peut privilégier l'orientation endogène de l'attention sans qu'il y ait de coût cognitif. Pour mettre ceci en évidence, ces auteurs ont utilisé le paradigme de recherche visuelle d'une cible parmi des distracteurs. Cette procédure expérimentale proposée au départ par Treisman et Gelade (1980) est détaillée dans la partie ci-après. Elle a permis de distinguer deux modes d'attention sélective.

1.1.3. L'attention sélective partagée et focalisée : le modèle de Treisman

Treisman et Gelade (1980) ont publié un article exposant la théorie de l'intégration attentionnelle des « attributs » ou « traits » visuels. Leur article, cité dans près de 3 000 publications selon la base de données Scopus en 2011, est une référence pour la communauté scientifique. Cette théorie, qui a certes évolué depuis, reste aujourd'hui incontournable pour

les études portant sur l'attention sélective visuelle. Avec la théorie de l'intégration attentionnelle des attributs visuels, les auteurs ont expliqué que l'attention permettait de lier les différents traits perçus d'un objet, rendant ainsi les ressources attentionnelles indispensables à la reconnaissance et à la discrimination des formes. Attention et perception sont étroitement liées puisque, d'un côté, la recherche visuelle est une voie expérimentale pour étudier l'attention sélective, et de l'autre côté, les théories de la perception visuelle sont nécessaires à la compréhension du rôle de l'attention.

A la base de la théorie de l'intégration des attributs de Treisman et Gelade (1980) se trouve l'étape d'extraction des attributs visuels. D'après Müller et Krummenacher (2006), ce sont des processus pré-attentionnels qui permettent d'extraire les « primitives visuelles » des stimuli (luminance, couleur, orientation, …). Certains proposent que la perception de ces attributs peut être améliorée lorsque l'attention est orientée par un indice visuel (Prinzmetal, Presti & Posner, 1986). Ces processus pré-attentionnels s'appliquent à un ensemble de signaux, mais une analyse plus complexe d'une zone ne peut s'effectuer qu'avec des processus attentionnels.

Treisman et Gelade (1980) ont développé un paradigme, devenu classique dans le domaine. Il consiste à demander aux participants de chercher visuellement une cible parmi d'autres objets appelés distracteurs. Cette détection de la cible s'effectue dans deux conditions : la condition disjonction et la condition conjonction. Dans la première condition, la cible est présentée parmi des items n'ayant qu'un trait commun avec elle (voir figure 2a). Lors de la présentation de ce stimulus, l'attention est fractionnée sur les divers éléments le composant. Les auteurs parlent ainsi d'attention partagée. Les attributs visuels sont alors enregistrés automatiquement à un niveau pré-attentionnel de traitement. D'après ses caractéristiques physiques, la cible se distingue facilement des distracteurs puisqu'elle en est très différente. On peut même dire qu'elle « saute aux yeux ». Cette saillance de la cible est décrit dans la littérature comme le phénomène de *pop-out*. La cible est ainsi recherchée rapidement, spontanément et de façon parallèle parmi les distracteurs. Ce traitement dont l'observateur a peu conscience peut s'apparenter aux traitements automatiques décrits par Shiffrin et Schneider (1984, cf. chapitre 1 partie 1.1.4.). A l'origine, selon Treisman, ce type de recherche est possible pour des traits visuels simples comme la couleur d'un objet ou encore l'orientation d'une droite, d'autres recherches ont montré depuis que ce type de recherche pouvait s'étendre à des traits plus sophistiqués comme les propriétés

tridimensionnelles et la direction de la lumière (Enns & Rensink, 1990a). Cependant la contribution de ces processus pré-attentionnels pose problème, car ils seraient en lien avec des traitements plus tardifs. Ils n'agiraient pas que dans un sens, car il y aurait dans certains cas un retour aux étapes précoces pour des détails non traités lors de l'étape pré-attentionnelle (Wolfe, 2003). Treisman et Gelade (1980) ont manipulé le nombre d'items présentés (en anglais *set size*), et montré que les temps de réponse (TR) des participants ne sont pas perturbés par cette variable en condition disjonction (voir figure 2b). La pente de la fonction montrant la variation des TR en fonction du nombre d'items est plate lorsque la cible est recherchée de façon parallèle.

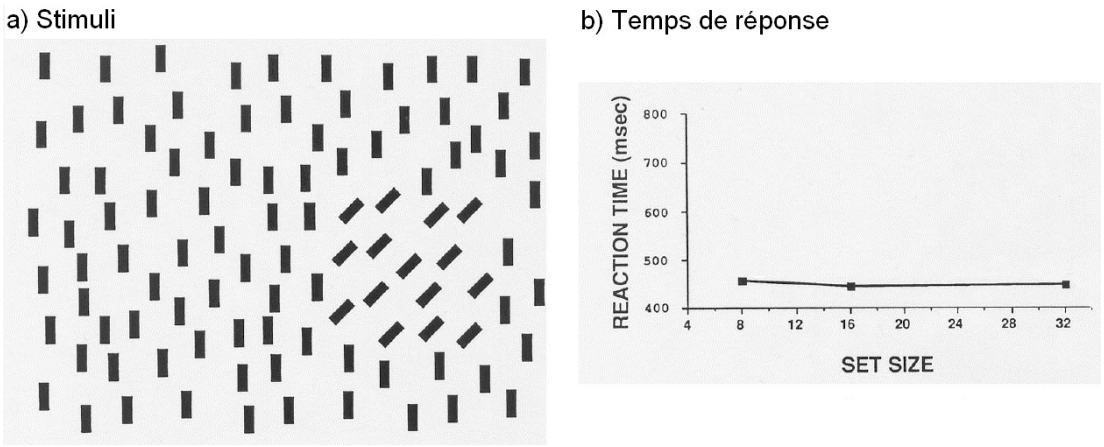


Figure 2. Exemple de stimuli impliquant une recherche parallèle de la cible (a) et représentation graphique des temps de réponses en fonction du nombre d'items lors de la présentation de ces stimuli (b). (Source : Wolfe, 1992)

Par contre, dans la seconde condition, la cible est une conjonction des traits des distracteurs, certains partageant par exemple la même couleur et d'autres la même forme que la cible (voir figure 3a). Le traitement passe alors à un niveau attentif. L'observateur ne peut alors se focaliser que sur un seul élément du stimulus à la fois. Dans ce cas une recherche sérielle est nécessaire pour identifier chaque objet, ce qui implique un délai plus important du traitement du stimulus. En effet, face à ce type d'image, le système cognitif ne peut agir de façon parallèle comme précédemment car la cible se confond davantage avec les distracteurs. Plus les items sont complexes, plus le traitement cognitif est exigeant. En effet, la recherche s'opère davantage au niveau de l'objet qu'au niveau de l'attribut. L'attention agit alors comme un « spot » (de l'anglais *spotlight*) en se déplaçant d'un item à l'autre afin de sélectionner l'item à traiter (Treisman, 1982). Treisman et Sato (1990) ont formulé l'hypothèse selon laquelle l'ordre de balayage des items serait dépendant de l'agencement spatial des items ou groupe d'items. La détection de la cible se réalise lorsque ce focus

attentionnel est placé sur elle. Les auteurs parlent alors d'attention focalisée. Ce déplacement volontaire du spot attentionnel s'apparente aux traitements contrôlés décrits par Schiffrin et Schneider (1984, cf. chapitre 1 partie 1.1.4.). Dans la condition conjonction, les TR augmentent avec le nombre d'items (voir figure 3b). Certains auteurs ont expliqué ce ralentissement en recherche sérielle par une différence du déplacement du focus attentionnel dans la condition conjonction par rapport à la condition disjonction (Nothdurft, 1999), alors que d'autres ont proposé une explication en termes de capacité limitée du système visuel (Wolfe, 1992). Cette influence du nombre de distracteurs a permis la mesure du coût d'un item en recherche sérielle qui correspondrait à la pente de la droite des TR évoluant en fonction du nombre d'items, soit 25 à 60 ms pour l'attention partagée et 150-200 ms pour l'attention focalisée (Wolfe, 2003). Au-delà de 25 ms par item Enns et Rensink (1990b) considèrent qu'il ne s'agit plus d'un traitement parallèle. Cependant aucun mécanisme cognitif crédible aussi rapide n'a pu être identifié pour donner un sens à ces valeurs. La considération de la pente comme indicateur permet de s'affranchir au plus de ces étapes non attentionnelles dans la production de la réponse. En effet, divers processus sont impliqués comme la perception sensorielle du stimulus, ou encore l'exécution motrice de la réponse. Ces étapes de l'élaboration de la réponse sont prises en compte dans la mesure de TR. C'est pour cela que les chercheurs dans le domaine classiquement s'intéressent à la pente de la droite révélant la variation du TR en fonction du nombre de distracteurs.

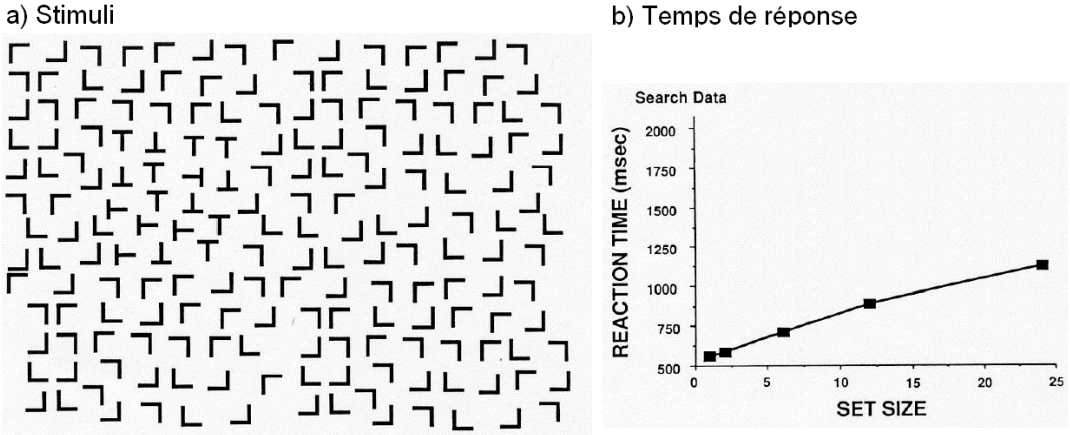
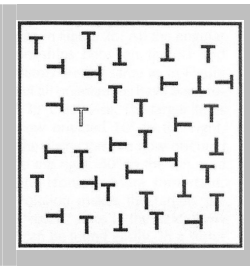
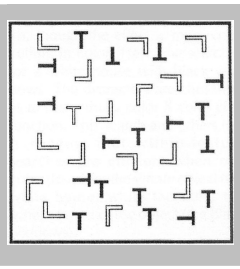


Figure 3. Exemple de stimuli impliquant une recherche sérielle de la cible (a) et représentation graphique des temps de réponses en fonction du nombre d'items lors de la présentation de ces stimuli (b). (Source : Wolfe, 1992)

Toutes les différences entre les deux modes de recherche visuelle suivant la théorie de Treisman et Gelade (1980) sont récapitulées dans le tableau 1.

Tableau 1. *Caractéristiques des recherches parallèle et sérielle selon Treisman et Gelade (1980).*

	Recherche Parallèle	**Recherche Sérielle**
Condition expérimentale	Disjonction	Conjonction
Exemple de stimulus **la cible est un T blanc (source : Wolfe, 1992)**		
Mode d'attention	Partagée	Focalisée
Profondeur du traitement	Pré-attentif	Attentif
Temps de recherche	Rapide	Plus long
Automatisation du traitement	Automatique	Contrôlé
Niveau de conscience du traitement	Peu conscient	Très conscient
Ralentissement du temps de recherche par le nombre de distracteurs présentés	Non	Oui

Des travaux (Bacon & Egeth, 1997 ; Duncan & Humphreys, 1989 ; Kaptein, Theeuwes & van der Heijden, 1995 ; Shen, Reingold & Pomplun, 2003 ; Treisman & Sato, 1990 ; Wolfe, 1992) ont manipulé certaines caractéristiques des distracteurs en situation de recherche sérielle, afin d'étudier les variables importantes pour la détection de la cible et les stratégies mises en place. Parmi ces caractéristiques il y a la couleur, la forme, l'orientation, la luminance, le regroupement spatial des items ou encore la ressemblance entre les distracteurs et la cible. Ainsi par exemple, il a été montré que la détection de la cible était facilitée par une ressemblance visuelle importante entre les distracteurs, et une ressemblance visuelle faible entre les distracteurs et la cible (Duncan & Humphrey, 1989). Le *distractor-ratio* a été aussi étudié, il correspond à la proportion en condition conjonction entre les deux types de distracteurs, par exemple entre ceux qui se différencient de la cible par la couleur et ceux différant par la forme ; lorsqu'un type de distracteurs est sous-représenté, l'analyse de l'image est facilitée puisqu'alors seuls les items de cette minorité sont traités de façon sérielle, une stratégie de recherche par sous-ensemble de distracteurs étant mise en place. De plus l'hétérogénéité des distracteurs partageant des dimensions définissant la cible rend la

détection de la cible plus difficile. Enfin, certaines recherches se sont centrées sur la réponse à l'absence de la cible. Ainsi Chun et Wolfe (1996) ont développé un modèle portant sur les facteurs conduisant à la décision de dire « non » à la présence de la cible. Ce modèle prédit que lorsqu'un participant répond rapidement en se trompant, c'est qu'il n'a pas effectué suffisamment de vérification des distracteurs.

Treisman et ses collaborateurs ont fait évolué la théorie de l'intégration des attributs quelques années plus tard (Treisman & Sato, 1990 ; Treisman, 1992). Selon eux, finalement la distinction entre les deux modes d'attention ne serait pas si simple que ça. Les auteurs ont alors proposé de considérer ces deux modes d'attention aux extrémités d'un même continuum, en intégrant dorénavant des nuances entre ces points extrêmes. Mais ils ont également précisé que les extrémités de ce continuum restaient les modalités les plus fréquemment utilisées. Le premier élément faisant évoluer la théorie de départ est que dans certaines situations nécessitant a priori une recherche sérielle, la détection de la cible peut s'effectuer de façon parallèle, en fonction par exemple de l'entraînement à la tâche ou encore de la facilité à discriminer des traits du stimulus (Treisman & Sato, 1990 ; Treisman, 1992 ; Wolfe, Cave & Franzel, 1989). En effet, après un entraînement intensif (16 sessions de plusieurs essais) à une tâche de recherche visuelle nécessitant au début de l'attention focalisée, le temps de détection de la cible était nettement amélioré et la cible « sautait presque aux yeux » des participants (Treisman, 1992). L'auteur a tout de même précisé que cet effet de l'entraînement intensif était fonction des traces mnésiques spécifiques à l'entraînement de chaque participant. Ce changement de mode de recherche peut également s'observer lorsque les traits sont très discriminables (Treisman et Sato, 1990 ; Wolfe et al., 1989). Dans cette situation, la recherche en conjonction peut être plus rapide, et dans certains cas même parallèle. Certains traits, comme la taille, permettrait d'obtenir ce changement de mode recherche plus facilement qu'avec la conjonction d'autres attributs, comme la couleur, le mouvement ou l'orientation (Treisman & Sato, 1990). Un second élément qui a fait évoluer la théorie de départ est l'introduction dans le mode de recherche contrôlée d'une stratégie de recherche par inhibition des attributs en plus du déplacement du focus attentionnel (Treisman & Sato, 1990). La génération de cartes d'items codant des traits non cible permettrait de diminuer l'effet de l'ensemble des distracteurs, via l'élimination parallèle de tous les groupes de distracteurs ne partageant pas d'attribut avec la cible. Un troisième élément poussant Treisman à faire évoluer la théorie de départ est la contribution additive des traits au niveau du temps requis

pour scanner le stimulus. En effet, ceci suggère que les processus de recherche opèrent davantage en séparant les traits plutôt qu'en faisant une conjonction des traits (Treisman & Sato, 1990).

Wolfe et ses collaborateurs (Wolfe et al., 1989 ; Wolfe, 1992 ; Wolfe, 1994) ont proposé une théorie alternative à la théorie de l'intégration des attributs de Treisman pour expliquer la recherche visuelle. Wolfe et al. (1989) ont proposé une expérience lors de laquelle la cible peut être une conjonction de deux ou trois attributs des distracteurs. Les résultats ont montré qu'il était plus facile de détecter la cible lorsqu'elle était la conjonction de trois attributs (couleur, taille et forme) plutôt que de deux, cette détection qu'on pourrait penser plus complexe reste en fait indépendante du nombre de distracteurs présentés. Ils interprètent ce résultat selon leur modèle de la recherche guidée (figure 4). Dans ce modèle, l'attention est guidée vers la cible lors de recherche en condition conjonction grâce à l'extraction et l'identification parallèles des attributs de chaque item, qui constitue des cartes d'attributs. Autrement dit, la représentation ainsi élaborée à partir des informations extraites du système visuel, permet d'orienter les processus attentionnels vers des groupes items ou des positions dans un environnement riche visuellement. De plus, en 1994 Wolfe a revisité son modèle, en précisant que la constitution de ces cartes d'attributs pouvaient être sujettes à un contrôle volontaire.

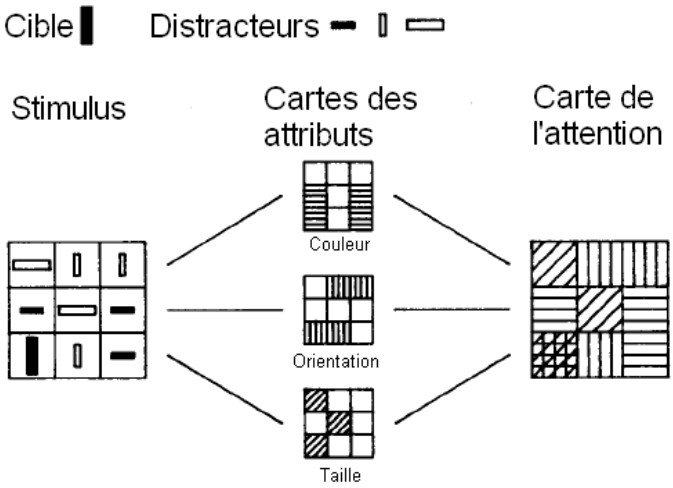


Figure 4. Représentation schématique du modèle de la recherche guidée. Ici la cible est une conjonction de trois attributs des distracteurs. (Source : Wolfe et al., 1989)

L'implication de la mémoire dans le processus de recherche visuelle a été étudiée via notamment le mécanisme d'inhibition de retour (Wolfe, 2003). Ce mécanisme permet d'éviter un traitement supplémentaire des distracteurs par vérification, et ainsi il permet d'améliorer la

recherche visuelle. Cependant son rôle n'est pas encore clair. Afin d'éclaircir ce point, Horowitz et Wolfe (1998) ont proposé une expérience avec une version statique et une version dynamique du paradigme, la version dynamique correspondant à une modification de la position des items toutes les 111 ms. Les résultats ont montré que la pente des droites dans les deux versions était sensiblement la même, suggérant ainsi que la recherche visuelle n'ait pas de mémoire pour rejeter les distracteurs. La contribution de la mémoire resterait donc modeste.

Toutes ces recherches s'intéressant aux formes visuelles simples participent également à la compréhension du traitement de stimuli plus complexes. En effet, le traitement cognitif d'objets plus élaborés comme des visages passe par l'intégration d'attributs plus simples, comme ceux que nous venons d'aborder.

1.1.4. Les conceptions classiques de la distinction entre processus automatiques et contrôlés de l'attention

Nous avons abordé cette distinction précédemment au travers des études portant sur le mode de recherche visuelle d'une cible parmi des distracteurs (cf. chapitre 1 partie 1.1.3.) et celles concernant l'orientation visuo-spatiale de l'attention (cf. chapitre 1 partie 1.1.2.). En effet, Treisman et Gelade (1980) ont montré avec l'effet de *pop-out* que la détection d'une cible pouvait se réaliser de façon automatique avec une recherche parallèle de cette cible parmi des distracteurs, alors que dans d'autres cas une recherche sérielle de cette cible guidée par des processus attentionnels contrôlés était nécessaire. De la même manière, Posner et Raichle (1998) ont décrit d'une part une orientation endogène de l'attention sous-tendue par des processus contrôlés et d'autre part une capture exogène de l'attention automatique impliquant des processus cognitifs automatiques.

Shiffrin et Scheinder (1984) sont notamment connus pour leur travail sur la distinction spécifique entre les processus cognitifs automatiques et contrôlés. Selon eux, les processus cognitifs automatiques sont mis en place de façon rapide et parallèle. Sur le plan attentionnel, ils ne sont pas très coûteux en termes d'effort et de ressource ce qui implique qu'ils ne limitent pas les capacités de la mémoire à court terme. Ils peuvent être exécutés de façon simultanée avec une autre activité contrôlée. Ils n'ont pas besoin d'un niveau de conscience élevé et sont difficiles à ignorer ou à supprimer. Enfin ils ne peuvent être sous le contrôle direct du sujet. A l'inverse, les processus cognitifs contrôlés se réalisent plus lentement et de

manière sérielle. Sur le plan attentionnel, ils sont plus coûteux en effort et limitent les capacités cognitives. Ils ne peuvent être exécutés en même temps qu'une autre activité contrôlée. Ils se développent lorsque la personne est face à des informations nouvelles, incohérentes ou variées. Ils nécessitent un certain niveau de conscience qui donne la possibilité à l'individu de les modifier, les réguler, les interrompre ou de les ignorer selon ses désirs.

Ces auteurs ont été les pères fondateurs de la distinction entre les processus cognitifs automatiques et contrôlés et notamment pour les traitements attentionnels. Mais dans la prochaine partie (chapitre 1 partie 1.2.3.), une nouvelle conception de cette distinction est présentée, spécifique à l'attention sélective visuelle. Elle intègre et affine celles décrites ici. En effet, le modèle d'Enns et Trick (2006) se base sur deux dimensions : l'automatisation du processus, avec des notions décrites par Shiffrin et Scheinder (1984), et l'origine du traitement qui fait référence au caractère exogène ou endogène de l'attention comme l'ont décrit Posner et Raichle (1980) et Treisman et Gelade (1980).

1.2. Les nouvelles approches de l'attention : analyse de scènes visuelles et aspects temporels

Jusqu'ici nous avons vu que l'attention avait une place importante dans la reconnaissance de formes visuelles simples. Dans cette partie, nous nous sommes intéressés, d'une part, à l'implication de l'attention dans des traitements plus tardifs, à travers l'analyse de scènes visuelles complexes, avec le phénomène de cécité au changement, et d'autre part, nous avons étudié la dimension temporelle de l'attention avec la mesure de la durée d'un épisode attentionnel, grâce au phénomène de cécité attentionnelle. Ces deux phénomènes rendent compte des limites du système cognitif tout en nous renseignant sur son fonctionnement.

1.2.1. Le rôle de l'attention dans l'analyse spatiale de scènes visuelles : le phénomène de cécité au changement

Le monde visuel qui nous entoure est riche en détails. A chaque fixation oculaire, nous les explorons et les percevons un peu plus. Pourtant nous ne sommes parfois pas conscients d'une partie des éléments de notre environnement. Par exemple, chacun d'entre nous a pu

faire l'expérience de ne pas entendre une question posée par une personne alors que nous étions plongée dans une activité prenante.

1.2.1.1. La cécité inattentionnelle

Le phénomène de cécité inattentionnelle (de l'anglais *inattentional blindness*) a été décrit par Mack et Rock (1998) dans leur expérience où les participants ont échoué à percevoir un objet cible inattendu alors que leur attention était divertie par un autre objet. En effet, dans leur expérience 25% des participants ont déclaré ne pas percevoir d'élément supplémentaire à la présentation d'une croix dans l'essai test comparé aux essais précédents. Ce phénomène persistait que l'objet supplémentaire soit une barre en mouvement, un petit carré noir ou coloré, ou encore une forme géométrique de couleur. Par contre tous les participants ont réussi à détecter le stimulus test dans la condition contrôle (sans la croix), et beaucoup l'ont perçu également dans la condition d'attention divisée, c'est-à-dire lorsqu'ils s'attendaient aux deux évènements. Cette incapacité à percevoir l'objet cible semble donc être causée par le fait que les participants n'attendaient pas cet objet cible mais un autre stimulus.

Simons et Chabris (1999) ont précisé que la probabilité de détecter un objet non attendu était fonction d'une part de la similarité entre l'objet cible et les autres objets, et d'autre part de la difficulté de contrôle sur la tâche. Dans leur expérience surprenante, ils ont proposé aux participants de regarder une vidéo durant laquelle deux équipes de basket de trois joueurs faisaient des passes. Leur tâche était de compter le nombre de passes réalisées dans une équipe soit en ne retenant que le nombre total de passes (tâche facile), soit en distinguant les passes aériennes des passes avec rebond (tâche difficile). Au cours de la vidéo, un personnage inattendu se promenait parmi les joueurs. Il s'agissait soit d'une femme avec un parapluie soit d'un gorille (figure 5). Cette étude a montré que 46% des participants ne percevaient pas le personnage inattendu, et que deux facteurs pouvaient influencer cette incapacité à le percevoir. La difficulté de contrôle sur la tâche ainsi que la similarité entre la cible et les autres objets ont favorisé l'incapacité à détecter l'objet inattendu. En effet 45% des participants ont perçu l'évènement inattendu lors de la tâche difficile, contre 64% des participants lors de la tâche facile. De plus, 44% des participants ont détecté la présence du gorille, alors que 65% ont perçu la femme avec le parapluie.

Figure 5. Photographies extraites de deux films proposés par Simons et Chabris (1999) dans leur expérience. Les participants concentrés à compter les passes entre les joueurs de basket aux T-shirts blanc et noir, ne perçoivent pas le passage d'un personnage inattendu, une femme avec un parapluie sur l'image de gauche, et une personne déguisée en gorille sur l'image de droite. (Source : Simons & Chabris, 1999)

1.2.1.2. La cécité au changement

Quotidiennement, nous observons des scènes dans lesquelles nous pouvons noter facilement un changement survenant par exemple suite à un mouvement ou une modification abrupte de luminance. Dans ce cas notre attention est attirée rapidement par ce changement de façon exogène. Rensink, O'Regan & Clark (1997) ont introduit une interruption de la scène visuelle, rendant le changement beaucoup plus difficile à percevoir. Ce changement peut être détecté avec des processus de recherche *top-down* (Caplovitz, Frendrich & Hughes, 2008). Le focus attentionnel doit alors être déplacé de façon endogène sur chaque élément de la scène. Ainsi l'analyse de scènes visuelles s'effectue à partir d'informations locales acquises de façon sérielle.

Le phénomène de cécité au changement (de l'anglais *change blindness*) a été décrit par Rensink et al. (1997) pour rendre compte de l'incapacité à détecter d'importants changements sur des objets ou dans des scènes d'une vue sur l'autre. En effet, même quand le regard est au bon endroit, 40% des observateurs ne perçoivent pas le changement (O'Regan, Deubel, Clark, & Rensink, 2000). Ce phénomène illustre une limitation remarquable des processus attentionnels. Le phénomène de cécité au changement peut être mis en évidence par le *flicker paradigm* avec l'introduction d'une interruption dans la scène. Pour ce faire Rensink et al. (1997) ont placé un simple masque gris de 80 ms entre une image A et une image A' (réplique de A avec un changement), chacune présentée pendant 240 ms. Les images A, A' et les masques alternaient dans l'ordre suivant : A A A' A' avec un masque entre deux images consécutives (figure 6). Cette séquence de stimuli, appelée itération, était répétée jusqu'à la réponse du participant. Il avait pour consigne d'appuyer sur un bouton à la détection du changement entre A et A', puis de le décrire. La séquence s'arrêtait au bout de 60 secondes si

le participant n'avait pas donné de réponse. Dans ces conditions, il a été difficile pour les participants de percevoir le changement. Ce phénomène de cécité au changement persiste même quand les changements sont grands et répétés. Rensink et al. (1997) ont précisé que le retrait des masques accélérait l'identification du changement (1.4 itérations en moyenne soit moins d'une seconde). Ceci confirme que la difficulté de percevoir le changement est bien induite par le *flicker paradigm*.

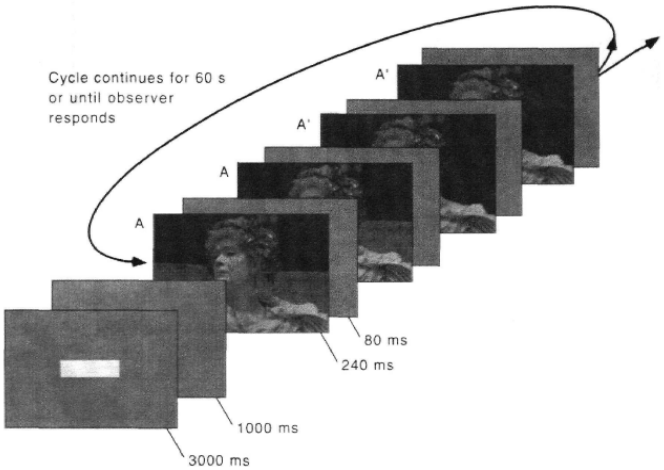


Figure 6. Déroulement de la présentation des stimuli lors d'un essai du *flicker paradigm* dans l'expérience de Rensink et al. (1997). (Source : Rensink et al., 1997)

Il est possible d'utiliser différents types de changement dans ce paradigme. Rensink et al. (1997) ont manipulé ce facteur en proposant comme changement une modification de la couleur d'un objet, une suppression de l'objet (absence), ou une modification de la position spatiale de l'objet dans la scène. Cependant ce facteur n'a pas eu d'effet sur les performances des participants qui étaient aveugles de la même manière aux trois types de changement. Toutefois, dans chacune des conditions, les éléments centraux restaient mieux perçus que les éléments marginaux de la scène.

En effet, un résultat classique du paradigme concerne les aspects sémantiques de la scène. Rensink et al. (1997) ont montré que l'identification du changement était facilitée lorsque l'objet concerné avait un intérêt central dans la scène. Dans leur expérience, il fallait 17.7 itérations, soit 10.9 s en moyenne, aux observateurs pour identifier un changement marginal et 7.3 itérations, soit 4.7 s en moyenne, pour un changement central. Kelley, Chun et Chua (2003) ont confirmé l'importance du contexte pour la détection des changements, en utilisant une inversion de l'image (haut-bas) afin de perturber l'information contextuelle générale de la scène. Ils ont proposé des scènes dans lesquelles il y avait deux changements, l'un peu lié et l'autre très lié au contexte. Ils ont observé une diminution de la détection du

changement central pour une orientation de la scène inversée (81% de détection pour une image orientée normalement, contre 69% pour une image inversée). Tous ces résultats suggèrent que la scène est traitée sémantiquement avant que le focus attentionnel n'opère.

D'autres facteurs peuvent moduler ce phénomène. L'expertise dans un domaine facilite la détection du changement provenant d'images du domaine d'expertise. En effet, Werner et Thies (2000) ont montré que les experts dans un domaine étaient moins sensibles à la cécité au changement quand ils regardaient des images de leur domaine. Un autre facteur modulant la cécité au changement est la capture exogène du changement. Scholl (2000) a révélé que cette capture exogène de l'élément modifié facilitait sa détection comparée à un contrôle endogène dans la recherche de la cible.

Différents arguments sont en faveur d'une explication attentionnelle du phénomène de cécité au changement. Il a été montré que l'attention est nécessaire pour la détection du changement. En effet, lorsque des signaux visuels perturbaient l'attention, les observateurs échouaient à détecter le changement (Simons & Ambinder, 2005). L'attention est donc nécessaire, cependant elle n'est pas suffisante puisque même des objets attendus ne sont parfois pas détectés. Les résultats de Simons et Levin (1998) ont montré qu'un participant s'adressant pourtant à son expérimentateur (figure 7a), ne se rendait pas compte que ce dernier avait été remplacé par un complice (figure 7c et 7d) lors d'une interruption rapide de contact visuel entre le participant et l'expérimentateur (figure 7b).

Figure 7. Images extraites d'une vidéo de l'expérience de Simons et Levin (1998) lors de laquelle le participant n'a pas conscience que son interlocuteur a été remplacé par un autre. (Source : Simons & Levin, 1998)

D'autres interprétations de la cécité au changement ont été envisagées et écartées. Caplovitz et al. (2008) ont montré que le clignement des yeux ne pouvait expliquer le phénomène, puisqu'il persistait malgré la suppression du clignement. Rensink et al. (1997) ont écarté un problème de visibilité comme source de la cécité au changement puisqu'un indice verbal a permis sa détection, et ils ont exclu également une interprétation en terme de consolidation en mémoire insuffisante car l'augmentation des temps de présentation n'a pas davantage aidé à la détection. Les représentations de la scène et le mécanisme de la comparaison ont également été écartées comme source possible du dysfonctionnement (Simons & Rensink, 2005).

Un autre aspect fascinant avec ce phénomène concerne la conscience de l'objet non détecté. Sans attention il n'y a effectivement pas de détection consciente du changement, cependant il est possible qu'il y ait une perception inconsciente du changement. Rensink (2004) a de ce fait décrit le phénomène de *mindsight* pour qualifier des situations dans lesquelles des personnes ont senti le changement sans pour autant le voir. D'autres études (Fernandez-Duque & Thornton, 2000 ; Laloyaux, Destrebecqz, & Cleeremans, 2003) se sont intéressées à la perception des items non détectés et ont démontré que des changements non détectés consciemment, donc ne capturant pas l'attention de l'observateur, influençaient certaines performances dans une seconde tâche (jugement ou reconnaissance). Cela suggère

une perception inconsciente du changement pourtant non détecté. La détection d'un changement ne renseigne donc pas complètement sur la représentation de ce changement.

Nous avons vu avec le phénomène de cécité au changement comment l'étude des limites de l'attention peut nous renseigner sur son implication dans l'analyse sémantique de scènes visuelles. Dans la partie suivante, un autre phénomène rendant également compte des limites de l'attention est abordé, non pas dans l'exploration spatiale, mais dans sa dimension temporelle.

1.2.2 La composante temporelle de l'attention sélective visuelle: le phénomène de clignement attentionnel

Récemment mis en lumière, le phénomène de clignement attentionnel peut être comparé à la modalité visuelle du phénomène de *cocktail party*. Dans les deux cas le système cognitif face à la surcharge d'informations privilégie une information au détriment des autres qui sont atténuées (Shapiro, Caldwell, & Sorensen, 1997).

Le clignement attentionnel (de l'anglais *attentional blink*) décrit par Raymond, Shapiro et Arnell (1992) correspond à l'incapacité de traiter une cible lorsque le système cognitif est déjà engagé dans le traitement d'une cible précédente pendant un certain délai. Pour cela ils ont utilisé un paradigme de présentation visuelle sérielle et rapide d'images (RSVP). Comme le montre la figure 8a, après un point de fixation, les auteurs ont présenté aux participants une cible T1 (appelée *target*) et une seconde cible T2 (ou *probe*) parmi des distracteurs (nommées *pre* et *post target* items dans la figure 8b). La tâche T1 était une tâche d'identification de la lettre blanche présentée parmi les lettres distractrices noires, et T2 correspondait à la détection de la présence de la lettre X de couleur noire. Les auteurs ont manipulé la position de T2 par rapport à T1 ; cette distance entre les deux cibles (sachant que T1 précède toujours T2) est aussi appelée *lag*. Les chercheurs ont également manipulé le nombre de tâches à effectuer. Les participants devaient effectuer soit uniquement la tâche T2 (condition simple tâche), soit les tâches T1 et T2 (condition double tâche). Ils ont obtenu une courbe en U représentant la performance à la détection de T2 en fonction du *lag* dans la condition de double tâche (figure 8c). En simple tâche, les performances de détection de T2 étaient supérieures à 80% quel que soit le *lag*, alors qu'en double tâche, les participants avaient une détection supérieure à 80% uniquement pour les *lags* 0, 1, 7 et 8. En effet, pour les *lags* intermédiaires, il y avait une chute des performances avec un creux à environ 45% au *lag* 3. Autrement dit quand T1

précède T2 de 180 à 450 ms le traitement de T2 est impossible, la réponse s'effectuant au hasard. Cependant lorsque les deux cibles sont très rapprochées ou très éloignées temporellement la détection de T2 peut être accomplie. Cette forme en U est typique du phénomène de clignement attentionnel.

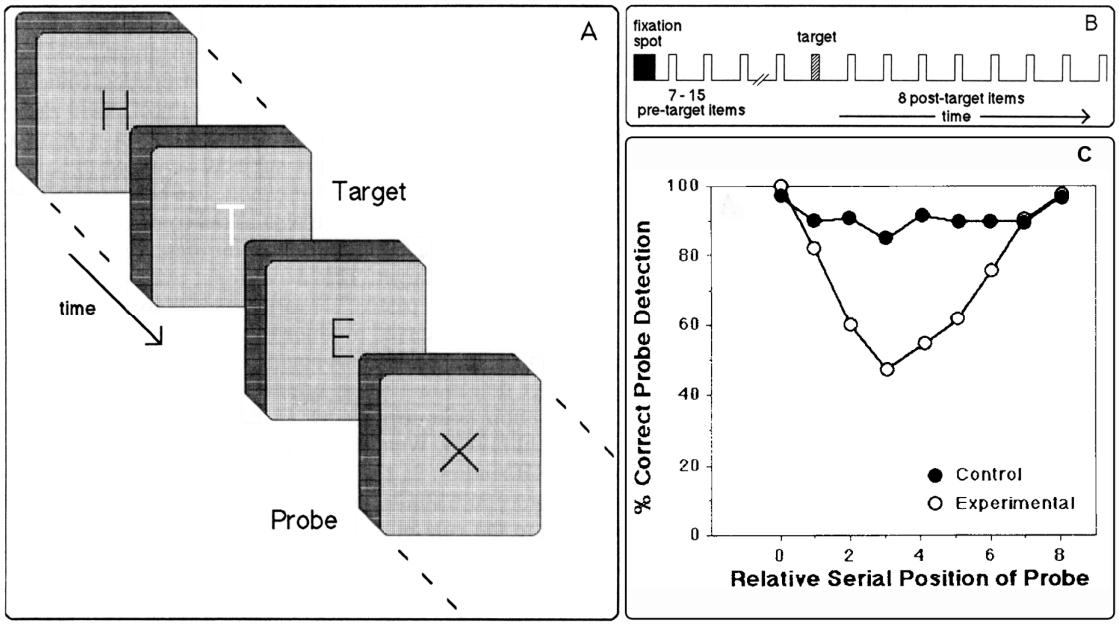


Figure 8. Représentations schématiques et graphiques du paradigme de RSVP. Illustration des lettres présentées (A), décours temporel de la présentation de ces lettres (B) et performances de détection de T2 (C) en simple tâche (*control*) et en double tâche (*experimental*) en fonction de la position de T2 relative à T1. (Source : Raymond et al., 1992)

Raymond et al. (1992) ont parlé de clignement attentionnel car ils ont interprété ce déficit de détection de T2 par une absence de traitement attentionnel dans leur modèle de l'inhibition. Selon eux, le traitement cognitif nécessaire à l'identification de T1 se fait en deux étapes : la distinction entre la cible et les distracteurs via les caractéristiques visuelles de la cible, et l'identification de la cible via un traitement attentionnel profond. Ces étapes, d'une durée d'environ 500 ms, correspondent à un épisode attentionnel. Avec le traitement de T1 se produit une ouverture attentionnelle dont profite T2 lorsqu'elle est présentée rapidement après T1. T2 peut être ainsi traitée dans le même épisode attentionnel, sinon elle doit attendre que le système cognitif ait terminé de traiter T1 pour pouvoir amorcer un nouvel épisode attentionnel. Les informations liées aux cibles étant stockées en mémoire à court terme, une surcharge d'informations peut entraîner une interférence lors du traitement. Pour éviter la surcharge, le système cesse de traiter les informations des stimuli présentés jusqu'à la fin du traitement de T1. Cet arrêt d'analyse des nouvelles informations empêche la détection de T2

lorsqu'elle arrive. D'après ce modèle, le phénomène de clignement attentionnel se situe donc à un niveau précoce du traitement visuel.

Cependant ce blocage attentionnel précoce proposé par Raymond et al. (1992) est remis en cause pour une interprétation plus tardive (Shapiro, Raymond & Arnell, 1994 ; Shapiro et al. 1997). Luck & Vogel (2001) par exemple, grâce à la technique des potentiels évoqués, ont montré que T2 était tout à fait identifiée pendant le clignement attentionnel, même si elle n'est pas correctement rapportée par les participants. Un autre exemple en faveur d'une origine plus tardive du phénomène est l'influence de la nature de T2 sur le clignement attentionnel. En effet Shapiro et al. (1997) ont montré que lorsque T2 a une signification particulière pour les participants (leur propre nom), ils ne manifestaient pas de clignement attentionnel. Ces observations suggèrent que T2 bénéficie d'un traitement de haut niveau même pendant le clignement attentionnel et donc remet en cause une origine précoce du phénomène.

De plus, un autre élément du modèle de Raymond et al. (1992) fait débat dans la littérature, il s'agit de l'influence de la nature de la tâche T1 sur l'ampleur de clignement attentionnel. Selon leur modèle, les traitements de T1 et T2 s'effectuent de façon sérielle, impliquant donc qu'un traitement profond de T1 entraîne un clignement attentionnel plus long qu'un traitement plus superficiel de T1. Or Shapiro et al. (1994) ont montré que l'ampleur de clignement attentionnel était sensiblement la même qu'il soit précédé d'une tâche T1 d'identification ou d'une simple tâche de détection. On fait ici bien référence à des tâches T1 de nature différentes, et non de difficultés différentes. L'influence de la difficulté de la tâche T1 sur l'ampleur du clignement attentionnel a toutefois montré des résultats contradictoires (Visser, 2007).

Shapiro et al. (1994) ont proposé un second modèle explicatif du clignement attentionnel toujours basé sur un épuisement des ressources attentionnelles: le modèle de l'interférence. Selon eux, les informations de T1 et T2 correspondant aux modèles à retrouver entrent dans la mémoire à court terme visuelle, ainsi que les distracteurs les plus proches qui succèdent aux deux cibles. Tous ces stimuli entrent en compétition pour l'allocation de ressources attentionnelles. T1, présentée en premier, est privilégiée ainsi que l'item qui lui succède. Ceci explique que quand T1 et T2 sont proches, la performance à la détection de T2 est bonne. Mais si l'item qui succède à T1 est un distracteur, c'est lui qui bénéficie des ressources attentionnelles qui ne sont alors plus disponibles lorsque T2 est présentée dans un délai de 200 à 600 ms après T1. En résumé, ce modèle propose que l'entrée en mémoire à

court terme visuelle des items présentés juste après T1 et T2 cause une surcharge et donc des interférences dans le traitement des items à rappeler.

Toutefois, ces modèles n'expliquent pas pourquoi la moitié des études sur le clignement attentionnel rapporte une performance de détection de T2 ne correspondant pas à la courbe U, mais seulement à la seconde partie de cette courbe (Visser, Bischof & Di Lollo, 1999). La différence entre ces deux patterns de résultats est liée au fait que dans le premier cas T2 est très bien détectée au *lag* 1. Dans le deuxième cas, la chute de performance à T2 se produit dès le *lag* 1. En général, dans les études rapportant des performances à T2 qui suivent une courbe en U classique comme dans le travail de Raymond et al. (1992) présenté dans la figure 8, on observe le phénomène de *lag 1 sparing*, c'est-à-dire une « économie au lag 1 ». Autrement dit, T2 est mieux détectée au *lag* 1 comparé au *lag* 2. Et c'est l'absence de ce bénéfice qui différencie les deux types de résultats que l'on peut rapporter dans la littérature.

Afin d'expliquer les différences de résultat, Di Lollo et al. (2005) ont proposé le modèle de la perte temporaire de contrôle endogène. Ce modèle considère la double tâche dans la RSVP comme une tâche d'alternance (*switching*), dans laquelle les ressources attentionnelles allouées à T1 doivent ensuite être redirigées vers T2. La détection de T2 quand celle-ci est proche de T1 est donc le reflet d'un *switch* et d'une reconfiguration du système réussis. Au début d'un essai, le système cognitif filtre les stimuli pour ne sélectionner que T1 et inhiber les distracteurs. Cette action de filtre ne parvient pas à se poursuivre pendant le traitement de T1. Cette perte temporaire de contrôle sur le filtrage entraîne un déficit attentionnel. Les auteurs ont précisé que si un stimulus de même catégorie que T1 est présenté au *lag* 1, le système restant dans la même configuration, le stimulus pouvait être traité. Ils ont expliqué la non détection de T2 à partir du *lag* 2, par le fait que la présentation au *lag* 1 d'un stimulus d'une catégorie différente de T1 entraîne une modification exogène du système. Cette modification empêche le traitement de la cible présentée en *lag* 2 indépendamment de sa catégorie. La détection de T2 s'améliore progressivement à mesure que le *lag* augmente, jusqu'à ce que ce délai permette au système de terminer le traitement de T1 et de rétablir un contrôle endogène. L'obtention d'une courbe de détection de T2 en U est donc fonction de la correspondance entre T2 et le filtre pour T1.

Le clignement attentionnel est un phénomène complexe qui reste difficile d'expliquer à travers un unique modèle. C'est ainsi que Kawahara, Enns, et Di Lollo (2006) l'ont considéré

comme un phénomène non unitaire, couplant deux modèles explicatifs pour rendre compte de ces principaux effets. Le débat pour expliquer ce phénomène reste d'actualité.

1.2.3. Les nouvelles conceptions de la distinction entre processus automatiques et processus contrôlés de l'attention

Récemment et spécifiquement pour l'attention auditive, Wetzel, Widmann, Berti et Schröger (2006) ont repris la distinction entre processus automatiques et contrôlés en opposant l'attention volontaire à l'attention involontaire. Ils ont montré que lorsque l'attention était involontaire le traitement automatique de stimuli non pertinents pouvait interférer avec la réalisation de la tâche en cours, et que la mise en place de l'attention volontaire de par son caractère endogène et contrôlé permettait d'effectuer une tâche avec succès.

D'autres chercheurs ont proposé une nouvelle conception de cette distinction spécifique à l'attention sélective visuelle, dans laquelle ils ont différencié les processus automatiques des traitements endogènes, et les processus contrôlés des traitements exogènes. En effet, Enns et Trick (2006) ont distingué dans leur modèle de l'attention sélective visuelle quatre modes de sélection en fonction de deux dimensions classiques mais jusqu'ici appréhendées séparément : l'automatisation du processus et l'origine de la sélection du traitement. L'automatisation correspond au degré de conscience des processus sélectifs et oppose des processus automatiques à des processus contrôlés. L'origine de la sélection peut être provoquée par un stimulus extérieur ou guidée par l'individu, elle comporte un versant endogène et un versant exogène. Les quatre modes de sélection proposés par les auteurs sont la sélection réflexe, habituelle, exploratoire et délibérée dont les caractéristiques sont détaillées dans le tableau 2. La sélection reflexe est un processus inné, automatique et guidé par la présence de certains stimuli, donc exogène. La sélection habituelle est un processus appris de façon endogène dans un contexte qui est devenu automatique. La sélection exploratoire est un processus contrôlé, inné, sans but précis, guidé de façon exogène lors de nouvelles situations. Enfin, la sélection délibérée est un processus contrôlé et endogène car il est guidé par les connaissances et les stratégies.

Tableau 2. *Caractéristiques des quatre modes attentionnels de sélection proposés par Enns et Trick en 2006. (Source : Enns & Trick, 2006)*

	Traitement d'origine exogène	**Traitement d'origine endogène**
Processus automatique	**La sélection attentionnelle réflexe** - Innée - Déclenchée par les stimuli prioritaires pour le système nerveux - Inconsciente, automatique, rapide, obligatoire, sans effort - Evitée uniquement de façon délibérée - Emerge à des moments précis du développement - Stable une fois acquise	**La sélection attentionnelle habituelle** - Apprise par répétition en contexte avec un but précis - Déclenchée par les stimuli par des buts précis passés - Inconsciente, automatique, rapide, obligatoire, sans effort - Evitée uniquement de façon délibérée - Peut émerger n'importe quand - Peut s'estomper et être remplacée à tout moment, l'intensité variant avec l'entraînement
Processus contrôlé	**La sélection attentionnelle exploratoire** - Innée pour des nouvelles situations - Mode par défaut des processus contrôlés - Consciente, contrôlée, lente, optionnelle, coûteuse - Produite uniquement dans le but d'explorer - But générique facilement remplacé par un but spécifique (allant vers la sélection délibérée)	**La sélection attentionnelle délibérée** - But interne spécifique à l'individu et au contexte - Produite par des buts internes précis et en contexte - Consciente, contrôlée, lente, optionnelle, coûteuse - Buts spécifiques changeant à volonté mais avec un coût temporel - Nécessaire pour surmonter des processus automatiques non désirés - Interfère avec d'autres buts délibérés sélectionnés

Les processus attentionnels que nous avons précédemment évoqué peuvent être lus à la lumière de ce modèle. L'effet de pop-out peut être ainsi considéré comme une sélection réflexe, dans le sens où la cible se distingue tellement des distracteurs qu'elle attire notre attention ; il est impossible de la manquer tellement elle saute aux yeux. Il en est de même pour l'orientation exogène décrite par Posner. L'apparition abrupte d'un élément lumineux attire l'attention et le regard malgré soi. L'orientation endogène de Posner, la recherche sérielle de Treisman et la recherche du changement de Rensink correspondrait davantage à une sélection délibérée puisqu'il s'agit d'un déplacement volontaire de l'attention par l'individu qui a un but précis. En effet, avec l'orientation endogène l'individu cherche à

optimiser la détection de la cible. Avec la recherche sérielle et la recherche du changement, l'exploration de l'image doit conduire à la détection de la cible et du changement.

Les neurosciences et la neuropsychologie cognitive permettent de compléter l'approche de la psychologie et de mettre à l'épreuve ses modèles théoriques. Ainsi, il est possible de mettre à l'épreuve cette dissociation les processus automatiques et contrôlés de l'attention observée comportementalement, par l'étude du substratum anatomique sous-tendant ces processus à l'aide de technique d'imagerie cérébrale (cf. chapitre 1 partie 2.2.3.2.).

2. Les modèles anatomo-fonctionnel de l'attention sélective visuelle

Dans cette partie sont présentées les structures cérébrales qui sous-tendent les processus attentionnels, ainsi que leur fonction dans ces processus. Les recherches actuelles tendent à déterminer les fonctions des différentes régions de cerveau, cependant, il faut garder à l'esprit deux points essentiels. Premièrement, un processus cognitif n'implique pas une structure isolée mais un réseau de structures parallèles et distribuées. Et deuxièmement, l'implication d'une structure cérébrale dans un processus cognitif ne signifie pas qu'il s'agisse de son unique fonction. Les régions du cerveau sont spécialisées certes, mais elles peuvent intervenir dans différents réseaux, dans différentes tâches, et ainsi avoir plusieurs fonctions.

2.1. Quelques notions d'anatomie cérébrale

L'objectif dans cette partie est de faire une présentation globale du cerveau, afin de fournir au lecteur des repères anatomiques indispensables à la compréhension de la suite de ce travail (revue dans Posner & Raichle, 1998). Les cellules nerveuses 3 mm sous la surface constituent le cortex cérébral. Il présente plusieurs circonvolutions et représente 50 % du volume cérébral (soit 500 cm^3). Dans la partie interne du cerveau (voir figure 9a) se trouvent notamment divers noyaux, le thalamus (relais pour les informations sensorielles vers le cortex), le mésencéphale (dont le colliculus supérieur a un rôle dans le contrôle des mouvements oculaires et attentionnels), le cervelet (coordinateur musculaire, contrôleur de l'équilibre et de fonctions cognitives) et le tronc cérébral (prolongement inférieur des

hémisphères). Chaque structure est connectée à plusieurs autres par des neurones assemblés en faisceaux constituant la substance blanche.

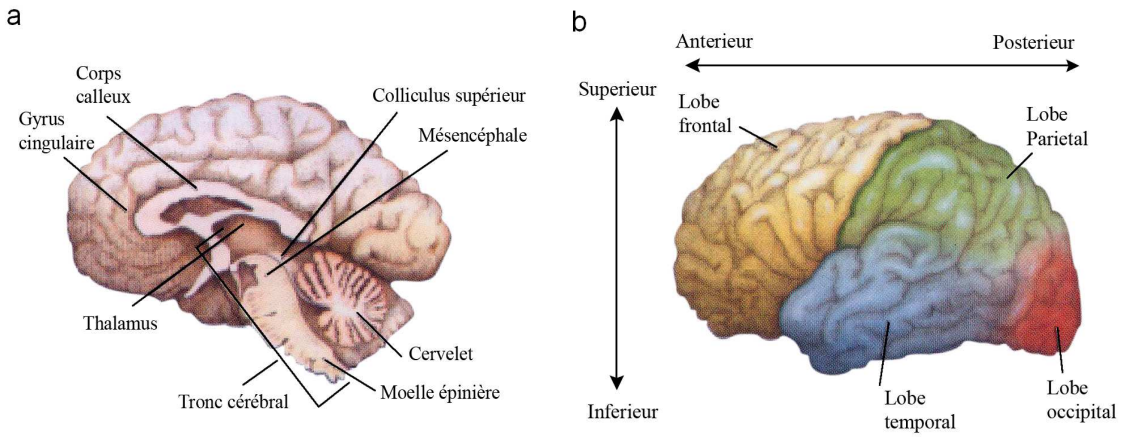


Figure 9. Représentations schématiques des structures principales cérébrales avec une coupe médiane (a) et des quatre lobes de l'hémisphère cérébral gauche avec une coupe latérale (b). (Source : Posner & Raichle, 1998)

Le cerveau est divisé en deux hémisphères cérébraux : l'hémisphère droit et l'hémisphère gauche. Chaque hémisphère cérébral est composé de quatre lobes principaux: les lobes frontal, pariétal, occipital et temporal (voir figure 9b). Le lobe frontal, du sillon central jusqu'au pôle frontal, est composé de trois grandes structures que sont le cortex moteur, le cortex pré-moteur et le cortex préfrontal. Il est notamment impliqué dans la planification, le langage et le mouvement volontaire. Le lobe pariétal, délimité par les sillons central, latéral et pariéto-occipital, comporte trois principales circonvolutions que sont le cortex post-central, le cortex pariétal supérieur et le cortex pariétal inférieur. Il joue un rôle important dans l'intégration des informations sensorielles et dans l'attention. Le lobe temporal, délimité par le sillon latéral, est constitué des cortex temporaux inférieur, moyen et supérieur ainsi que des gyrus fusiforme et parahippocampique. Il est impliqué dans divers processus cognitifs comme le langage (avec l'aire de Wernicke), les traitements visuels de haut niveau, la mémoire et les émotions. Enfin le lobe occipital, à l'arrière du crâne, comporte les cortex occipitaux inférieur, moyen et supérieur. Il intervient dans les premières étapes du traitement des informations visuelles par le cerveau.

2.2. Les réseaux d'activation de l'attention sélective visuelle

L'étude des réseaux de structures en jeu dans l'attention est importante car elle nous permet non seulement d'en savoir plus sur le fonctionnement du cerveau, mais aussi elle nous permet de mettre à l'épreuve des modèles théoriques et d'en proposer de nouveaux. Par

exemple, dans la conception qu'à Posner de l'attention (cf. chapitre 1 partie 2.2.2.1.), l'attention se divise selon lui en trois composantes fonctionnelles (orientation, détection et alerte), chacune étant sous-tendue par un réseau identifié de structures cérébrales.

2.2.1. Les réseaux neuronaux impliqués dans le traitement de l'information visuelle

Nous nous sommes intéressés dans ce travail exclusivement aux recherches qui ont étudié l'attention à partir de la modalité sensorielle visuelle. Les voies visuelles sont donc bien souvent activées dans tous les travaux que nous verrons dans cette partie, sans forcément que les chercheurs les mentionnent (e.g. Corbetta, Shulman, Miezin, & Petersen, 1995). En effet, dans ces modèles, l'intérêt principal des chercheurs était de révéler les structures spécifiquement impliquées dans l'attention et non dans la vision. Cependant, il apparaît que le réseau cérébral de l'attention se manifeste dès les voies visuelles. C'est pour cela qu'une présentation des voies visuelles nous a semblé indispensable.

Les travaux d'Ungerleider et de ses collaborateurs (Ungerleider & Mishkin, 1982 ; Ungerleider & Haxby, 1994 ; Webster & Ungerleider, 1998) ont permis de distinguer deux voies cérébrales du traitement de l'information visuelle : la voie ventrale et la voie dorsale. Ces deux voies sont essentielles à la compréhension des circuits corticaux sous-tendant certains processus comme la perception et l'attention, ainsi qu'à la compréhension des effets de l'attention sur d'autres processus cognitifs. La voie ventrale est impliquée dans l'identification de l'objet, on l'appelle la voie du « quoi » ou de « la reconnaissance ». Elle est responsable de l'identification des objets par la formation de représentations conscientes. Le circuit cérébral de cette voie comprend des structures des cortex occipitaux et temporaux inférieurs. La voie dorsale est impliquée dans la détermination de la position de l'objet, on la nomme la voie du « où » ou de « l'action ». Elle est associée à un guidage inconscient des actions vers les objets de l'environnement visuel. Le réseau cérébral qui la sous-tend comprend des structures des cortex occipitaux et pariétaux postérieurs.

Spécifiquement dans une tâche de recherche visuelle, Corbetta, Miezin, Dobmeyer, Shulman et Petersen (1991) ont pu différencier une implication différente des voies visuelles suivant l'attribut référant pour la recherche de la cible. Ils ont ainsi trouvé une activation pariétale pour la vitesse, occipitale pour la couleur, et enfin temporale pour la forme.

L’attention portée à différents attributs visuels implique une majoration de l’activation dans les régions visuelles correspondantes soit à la voie dorsale, soit à la voie ventrale.

L’implication de ces voies visuelles est influencée par les processus attentionnelle. En effet, Ungerleider et Haxby (1994) ont révélé que l’activité des aires visuelles extra-striées (après V1) était modulée par l’attention sélective. Avec d’autres procédures, des études plus récentes ont révélé que l’activation des aires visuelles (de V1 à V5) était plus importante quand l’attention portait sur la cible à détecter que lorsqu’il s’agissait d’un distracteur à ignorer (Saenz, Buracas, & Boynton, 2002 ; Hoph et al., 2004). La voie dorsale et la voie ventrale font parties intégrantes du réseau de l’attention selon Vidyasagar (1999). En effet, il a proposé qu’en recherche visuelle, le réseau de structures permettant l’action filtrante des entrées visuelles, réalisée par le projecteur attentionnel, prenne naissance dans la voie dorsale. Il a également suggéré que ce réseau du projecteur attentionnel inclut des structures de la voie temporale lors de recherche sérielle pour déterminer les attributs pertinents de la cible, ces attributs étant la conjonction de ceux des distracteurs.

Le réseau impliqué dans les processus attentionnels inclut des structures dès les voies visuelles comme nous venons de le voir. Les modèles dont nous allons parler maintenant ont proposé l’implication d’autres structures plus antérieures dans ce réseau de l’attention.

2.2.2. Les deux principaux modèles des réseaux de l’attention

2.2.2.1. Le modèle de Posner

Le modèle de Posner est l’un des plus connus dans la littérature (Posner & Raichle, 1998). L’auteur a proposé chez l’adulte l’implication de trois réseaux anatomiques en relation avec trois fonctions de l’attention sélective visuelle : l’orientation de l’attention, la détection d’évènements et le maintien de l’état d’alerte (voir figure 10).

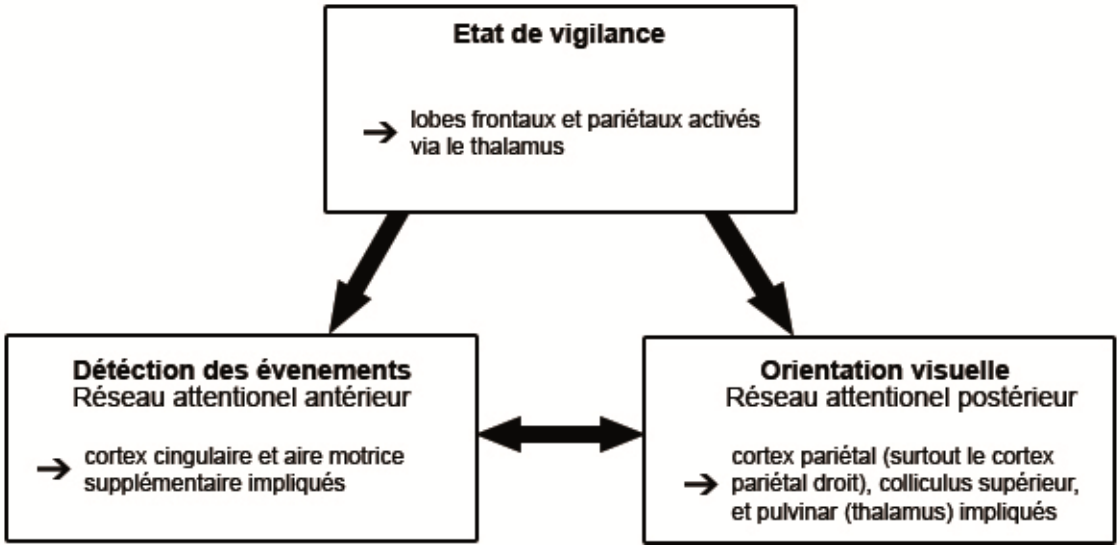


Figure 10. Représentation schématique du modèle attentionnel proposé par Posner et Raichle (1998).

Le circuit relatif à l'orientation visuelle a été étudié en rendant compte des différentes étapes de cette fonction à l'aide du paradigme d'attention visuo-spatiale développé par les auteurs (cf. chapitre 1 partie 1.1.2.). Leurs recherches ont mis en évidence un réseau postérieur, avec l'implication du cortex pariétal dans le désengagement du foyer attentionnel, du colliculus supérieur dans le déplacement vers la localisation attendue, et du pulvinar du thalamus pour l'amplification de la nouvelle cible. Corbetta, Miezin, Shulman et Petersen (1993) avec une étude TEP ont précisé que le lobe pariétal supérieur droit serait particulièrement impliqué dans l'orientation spatiale de l'attention, car dans leur étude cette région s'activait que l'attention soit orientée de façon endogène ou exogène, pour un déplacement de l'attention vers la gauche comme vers la droite. De plus en 2000, Corbetta, Kincade, Ollinger, McAvoy et Schulman ont précisé l'implication du lobe pariétal droit avec une étude en IRMf. Selon eux, le sillon intra-pariétal est spécifiquement impliqué dans l'orientation spatiale de l'attention. Et la jonction temporo-pariétale est, quant à elle, mise en jeu pour la détection de la cible surtout lorsque l'indiçage est invalide (Corbetta et al., 2000). Fan, McCandliss, Fossella, Flombaum et Posner (2005) ont confirmé l'implication du lobe pariétal supérieur et de la jonction pariéto-temporale, et ont également trouvé une activation de l'aire frontale visuelle dans ce circuit de l'orientation. Dans leur étude Corbetta et al. (1998) ont distingué les réseaux sous-tendant l'attention *overt* et l'attention *covert* (cf. chapitre 1 partie 1.1.2.). Leurs résultats ont montré que ces deux types d'orientation de l'attention impliquaient des structures pariétales, frontales et temporales superposables.

Le circuit relatif à la détection d'évènement impliquerait des aires plus antérieures. Posner et Raichle (1998) ont expliqué qu'afin de pouvoir détecter un évènement, l'information visuelle arrive à un niveau plus antérieur pour permettre la conscience de l'objet. Ainsi le cortex cingulaire antérieur aurait un rôle important dans la détection de l'objet, et l'aire motrice supplémentaire du cortex frontal dans la programmation de la réponse motrice adéquate (revue dans Fiori, 2006).

Concernant l'état d'alerte (ou vigilance), un circuit comportant l'activation des lobes latéraux frontaux et pariétaux, ainsi que celle du locus cœruleus du mésencéphale permettant l'éveil a été décrit (Posner & Raichle, 1998). De plus dans l'état d'alerte, les auteurs ont montré que l'activité du gyrus cingulaire n'augmentait pas, traduisant l'absence de détection des autres objets potentiellement source d'interférences. Fan et al. (2005) ont montré une activation des lobes frontaux et pariétaux pour ce circuit de l'alerte qui ferait partie d'un réseau comprenant également le thalamus.

Posner et Raichle (1998) ont également précisé que même si ces trois circuits étaient distincts il existait des connexions entre eux. Le réseau de la vigilance notamment, pourrait influencer le fonctionnement des deux autres circuits. Des recherches récentes sur ces réseaux ont permis d'apporter quelques informations supplémentaires. Fan et al. (2005) se sont également intéressés à un circuit spécifique à l'action, pour lequel ils ont décrit une implication du gyrus cingulaire antérieur et du cortex préfrontal. Et en se centrant sur les interactions entre réseaux, ils ont montré que le réseau d'alerte inhibait celui de l'action et celui de l'orientation favorisait celui de l'action.

2.2.2.2. Le modèle de Mesulam

Un autre modèle des réseaux de l'attention très connu dans la littérature est celui proposé par Mesulam (1981, 1990). Ce modèle se base sur l'étude de singes cérébro-lésés ayant notamment développés une négligence spatiale. Les régions qu'il a décrites sont assez similaires à celles proposées par l'équipe de Posner, mais avec une organisation des relations et mécanismes qui les contrôlent différents. Ce modèle met notamment en avant en traitement parallèle et distribué dans le réseau.

Mesulam et ses collaborateurs ont décrit un réseau impliquant trois composantes principales : une composante pariétale, une composante cingulaire et une

composante frontale (voir figure 11). La composante pariétale, plus précisément le cortex pariétal postérieur, fournit une carte perceptive via une représentation interne du monde extérieur. La composante cingulaire régule la distribution spatiale de la valence motivationnelle. La composante frontale, à travers la région appelée *frontal eye field* qui fait partie du cortex pré-moteur, coordonne la programmation des mouvements d'exploration, de poursuite et de fixation visuelle. En effet, cette région joue un rôle central dans l'initiation de la saccade (Connolly, Goodale, Goltz, & Munoz, 2004), mais son activation reste indépendante de l'exécution motrice des mouvements oculaires (Nobre et al., 1997). Toutes ces composantes sont sous l'influence du système réticulo-activateur. Cette composante réticulaire mésencéphalique (du tronc cérébral) permet l'élévation du niveau d'éveil.

En outre, des connexions réciproques existent entre ces composantes qui sont également reliées à d'autres structures (revue dans Webster & Ungerleider, 1998). Ainsi, le colliculus supérieur est connecté aux *frontal eyes fields* et au cortex pariétal, le pulvinar et le striatum sont eux liés aux trois composantes, enfin des connexions avec les cortex oribito-frontal et temporal inferieur existent également.

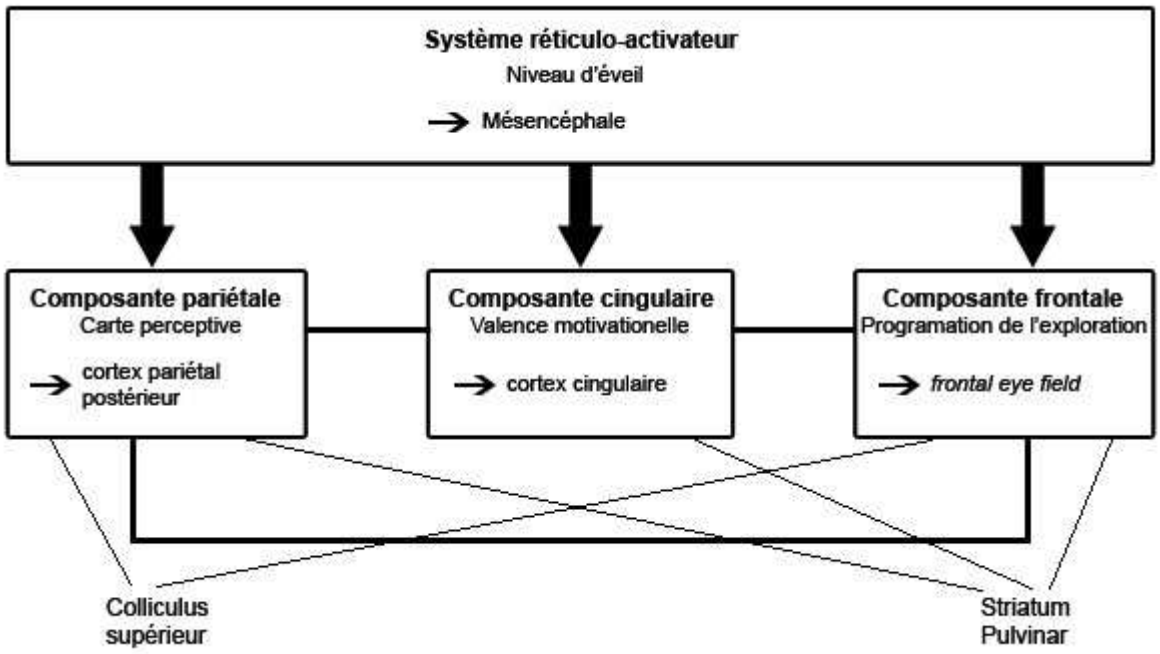


Figure 11. Représentation schématique du modèle attentionnel proposé par Mesulam (1990).

2.2.3. Les réseaux spécifiques à l'attention sélective visuelle

2.2.3.1. Le réseau cérébral spécifique de l'attention sélective dans la recherche visuelle d'objets simples et dans l'analyse de scènes visuelles

Posner et Petersen (1990) ont proposé deux circuits impliqués dans l'attention sélective, qui sont assez similaires aux réseaux du modèle de Posner (chapitre 1 partie 2.2.2.1.). Le système attentionnel postérieur, impliquant le cortex pariétal supérieur, le pulvinar et le colliculus supérieur, est responsable de la sélection de la position d'un stimulus parmi les autres et du balayage d'un stimulus à l'autre. Le système attentionnel antérieur implique le cortex cingulaire antérieur et les ganglions de la base. Il permet le recrutement de l'attention et un certain contrôle cognitif pour les tâches complexes.

Des études (Corbetta et al., 1991 ; Corbetta et al., 1995 ; Donner et al., 2000 ; Leonards, Sunaert, Van Hecke, & Orban 2000 ; Pollman, Weidner, Müller, & Cramon, 2000 ; Booth et al., 2003), utilisant une adaptation du paradigme de Treisman et Gelade (1980), se sont intéressées aux circuits cérébraux impliqués dans la réalisation de cette tâche à l'aide de la TEP et de l'IRMf, comme le montre la synthèse présentée dans le tableau 3. De manière générale, elle montre une implication commune aux deux types de recherche visuelle de cibles du cortex occipital, du cortex pariétal supérieur, du cortex cingulaire antérieur, du cortex moteur et pré-moteur du lobe frontal, du thalamus et du cervelet. L'implication du cortex orbito-frontal et du cortex insulaire n'est observé dans ces études qu'en recherche parallèle, et celle du cortex frontal inférieur spécifique à la recherche sérielle.

Tableau 3. *Tableau comparatif de l'implication des régions cérébrales dans les recherches visuelles parallèle (RP) et sérielle (RS) dans six études.*

	Corbetta et al. (1991)	**Corbetta et al. (1995)**	**Donner et al. (2000)**	**Leonards et al. (2000)**	**Pollman et al. (2000)**	**Booth et al. (2003)**
Cortex Occipital	RP	RP, RS	RS	RP, RS	RP	RS
Cortex Pariétal Supérieur		RS	RS	RP, RS		RS
Cortex Insulaire	RP					
Cortex Temporal	RP				RP	
Cortex Cingulaire Antérieur				RS	RP	
Cortex Moteur/Pré-Moteur	RP	RP, RS	RS		RP	RS
Cortex Frontal Inférieur						RS
Cortex Orbito-Frontal	RP					
Thalamus	RP			RP		RS
Cervelet		RP, RS				RS

Des différences relatives au nombre de distracteurs ont été mises en évidence dans certaines études. En effet, Tomasi, Ernst, Caparelli et Chang (2006) ont utilisé une autre procédure que celle de Treisman et Gelade (1980), dans laquelle le participant devait se rappeler si une boule lumineuse test était la même que la boule cible présentée précédemment ; une phase distractrice où les boules se mettaient en mouvement séparait la présentation de la boule cible de celle de la boule test. Les auteurs ont augmenté le nombre de boules présentées afin d'opérationnaliser une difficulté croissante de la tâche. Ils ont observé une variation de l'intensité du signal BOLD de certaines régions activées durant la tâche variait en fonction de la difficulté de la tâche. Ainsi, l'activation des cortex occipitaux et pariétaux inférieurs et supérieurs, des cortex frontaux moyens et inférieurs, du thalamus et du cervelet augmentait avec le nombre de distracteurs présentés. De plus, Booth et al. (2003), en utilisant une adaptation du paradigme de Treisman et Gelade (1980), ont montré que le gyrus fusiforme, le cortex pariétal supérieur, le cortex préfrontal dorsolatéral, le cortex frontal inférieur, le thalamus et le cervelet étaient plus activés quand il y avait huit distracteurs que qu'en il n'y en avait aucun. Enfin, une troisième étude a également mis en évidence des différences dans le recrutement d'aires cérébrales relatives au nombre de distracteurs. Les

résultats de Leonards et al. (2000), qui ont également utilisé le paradigme de Treisman et Gelade (1980), ont mis en évidence une augmentation de l'activation cérébrale de régions pariétales et frontales en condition conjonction comparé à la condition trait. De plus, ils ont observé une augmentation de l'activation cérébrale du cortex occipital avec le nombre de distracteurs uniquement en condition conjonction, et non en condition trait.

Concernant l'analyse de scènes visuelles, on dénombre en revanche beaucoup moins d'études sur les réseaux cérébraux à travers le *flicker paradigm* de Rensink et al. (1997). Huettel, Güzeldere, et McCarthy (2001) se sont intéressés à l'activité cérébrale durant le phénomène de cécité au changement. Ils ont montré l'activation d'un réseau impliquant la partie extra-striée des voies dorsales et ventrales, le cortex insulaire, et la région des *frontal eye fields* du cortex pré-moteur. Toutes ces régions regroupent celles décrites dans le tableau 3, qui concernent des tâches visuelles plus simples. Les mécanismes de recherche visuelle d'objets simples et d'analyse de scènes visuelles seraient donc sous-tendus par un réseau de structures assez similaire.

Même si le rôle spécifique de ces régions présentées dans le tableau 3 dans le réseau de l'attention sélective visuelle n'est pas toujours claire, trois d'entre elles apparaissent comme centrales dans ce circuit et ont fait l'objet de recherches ciblées pour tenter de déterminer de façon plus précise leur implication dans ce réseau : le cortex pariétal supérieur, le cortex cingulaire antérieur et le cortex moteur/pré-moteur.

Concernant spécifiquement le cortex pariétal, plusieurs études ont pu préciser son rôle dans l'attention sélective visuelle (Behrman, Geng, & Shomstein, 2004 ; Corbetta et al., 1995 ; Shafritz, Gore, & Marois, 2002). Ainsi, selon Behrman et al. (2004), il permettrait le filtrage des entrées et la sélection de l'information à privilégier. De plus, Corbetta et al. (1995) ont trouvé une activation du cortex pariétal supérieur droit uniquement dans la condition conjonction (mouvement et couleur). Cette zone correspond exactement à celle impliquée dans une autre tâche d'alternance nécessitant également de l'attention spatiale. Ils en ont conclu que dans cette condition il s'agirait d'avantage d'une recherche de la cible avec une alternance de critère (couleur ou mouvement) plutôt qu'un balayage de position. Shafritz et al. (2002) ont précisé que le cortex pariétal était plus impliqué lors de la recherche d'une cible étant la conjonction d'attributs de distracteurs plutôt que lors de la recherche d'une cible ne partageant qu'un attribut avec les distracteurs, mais ce uniquement lorsque les items apparaissaient simultanément à des positions différentes (et non pas dans leur seconde

situation où les distracteurs apparaissaient de façon séquentielle à la même position). Les auteurs ont interprété ce résultat comme un rôle du cortex pariétal dans la résolution de l'ambiguïté causée par des attributs différant entre les objets.

Le cortex cingulaire antérieur est quant à lui connu pour relayer des aspects davantage de contrôle (monitoring), il est également impliqué dans la sélection de la réponse ou encore l'identification de la cible (Mesulam et al., 2001). Il n'entre en fonction qu'au moment de la recherche et de l'émission de la réponse, et non pas au moment de la recherche visuelle, ce qui lui confère un rôle davantage exécutif (Huettel et al., 2001). Il est à distinguer du cortex cingulaire postérieur qui est lié à la vitesse de détection d'une cible spatiale (Mesulam et al., 2001) et qui associé au cortex préfrontal établirait une interface entre attention et motivation (Small et al., 2003).

Le cortex moteur/pré-moteur joue également un rôle important dans l'attention sélective visuelle. L'étude menée chez des primates par Buschman et Miller (2009) a montré une implication spécifique en recherche sérielle de la région appelée *frontal eye field* (pas d'activation en situation de *pop-out*). Cette région a un rôle central dans l'initiation de la saccade en lien avec le déplacement du projecteur attentionnel (Connolly et al., 2004 ; Thompson, Biscoe, & Takashi, 2005). Nous avons vu dans la partie 2.2.2.2. du chapitre 1 avec le modèle de Mesulam que cette partie du cortex pré-moteur permet la coordination des mouvements oculaires pour l'exploration par fixation visuelle.

2.2.3.2. La distinction entre les réseaux de l'attention sélective visuelle propres aux processus automatiques et aux processus contrôlés

Des études (Corbetta & Shulman, 2002 ; Nobre, Gitelman, Dias, & Mesulam, 2000) ont tenté de différencier les réseaux cérébraux sous-tendant une capture exogène versus une orientation endogène de l'attention. Ainsi, une orientation endogène de l'attention fait appel à un réseau supérieur bilatéral impliquant le cortex pariétal supérieur et les cortex pré-moteur et dorsolatéral (surtout droit), alors qu'un réseau inférieur spécifique à une capture exogène se loge davantage dans l'hémisphère droit et inclut le cortex temporal (notamment la jonction temporo-pariétale), le cortex insulaire et le cortex préfrontal et frontal inférieur.

Au sein du cortex pariétal, des différences apparaissent dans la localisation de régions sous-tendant les traitements attentionnels top-down et bottom-up (Behrman et al., 2004). En

effet, dans cette étude, les traitements attentionnels déclenchés par les stimuli environnementaux impliquaient particulièrement la jonction temporo-pariétale, alors que les traitements attentionnels initiés par la commande cérébrale étaient davantage liés au cortex pariétal supérieur et au precuneus.

En résumé, il semble en regroupant toutes ces études, que les processus attentionnels automatiques, difficiles à cibler, sont néanmoins sous-tendus par un réseau incluant le cortex temporal jusqu'à la jonction temporo-pariétale, le cortex insulaire et le cortex pré-frontal, et que de plus, le réseau des processus attentionnels contrôlés implique de façon supplémentaire le cortex pré-moteur et le cortex pariétal supérieur.

2.3. Le fonctionnement par défaut du cerveau

Les études en IRMf utilisent fréquemment une procédure en bloc (détaillée dans la partie expérimentale), lors de laquelle alternent des phases dites d'activation, avec réalisation d'une tâche cognitive, et des phases dites de repos, servant de niveau de base. Les études en imagerie cérébrale se sont longtemps focalisées sur les réseaux d'activation, c'est-à-dire les réseaux de structures dont l'activité augmente durant les phases d'activation par rapport aux phases de repos. Depuis peu, une nouvelle approche dans le domaine des neurosciences s'intéresse aux réseaux de structures dont l'activité diminue durant l'exécution d'une tâche cognitive, réseau pouvant approcher le réseau de repos.

2.3.1. L'activité cérébrale au repos

Des chercheurs se sont récemment intéressés à l'activité cérébrale au repos. Mais le cerveau ne connaît pas de repos! Même durant les phases dites de repos, on enregistre une activité cérébrale liée à ce qu'on appelle la cognition spontanée de l'individu. En interrogeant les personnes, on s'est aperçu que cette cognition spontanée concernait essentiellement la projection de soi. Trois formes de projection de soi peuvent être distinguées. Premièrement, la prospection concerne des pensées d'évènements futurs potentiels, dans une perspective de planification ou encore de résolution de problème cognitif ou social. Deuxièmement, la théorie de l'esprit peut porter aussi bien sur le présent que sur le futur, et est liée à la cognition sociale avec l'adoption du point de vue d'autrui. Troisièmement, la remémoration consiste en le rappel d'un souvenir passé. D'après Buckner et Carroll (2007) ces différentes formes de projection de soi impliquent un réseau incluant les lobes frontaux et la région temporo-

pariétale médiane, aires cérébrales responsables de la planification et de la mémoire épisodique. La figure 12 présente les réseaux cérébraux qui sous-tendent ces trois types de projection de soi.

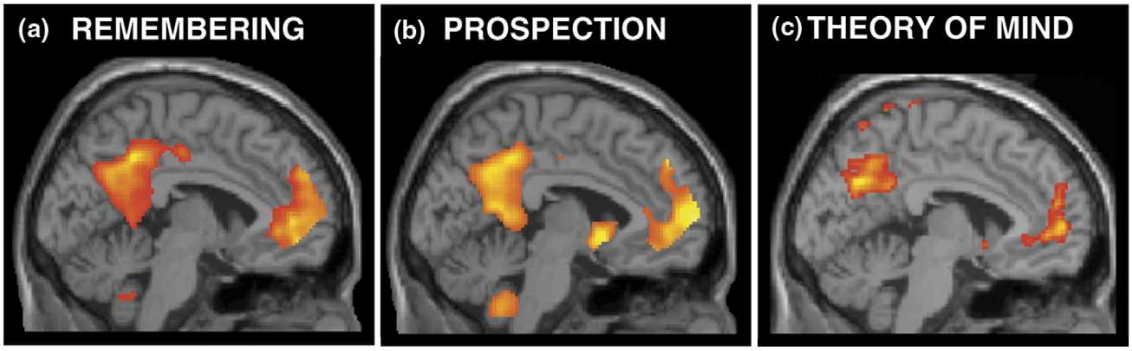


Figure 12. Réseau cérébral activé durant trois formes de projection de soi : (a) la remémoration, (b) la prospection et (c) la théorie de l'esprit. (Source : Buckner & Caroll, 2007)

2.3.2. Les déactivations cérébrales durant une tâche cognitive

Durant une tâche cognitive, certaines régions du cerveau s'activent davantage qu'à l'état de repos. A l'inverse, il apparaît que d'autres régions cérébrales ont une activité qui diminue durant la tâche comparativement au repos. Ce réseau de déactivation du cerveau serait indépendant de type de tâche cognitive et du genre de l'individu (Weissman-Fogel, Moayedi, Taylor, Pope, & Davis, 2010). Même si les études ne décrivent pas toutes exactement le même réseau, elles s'accordent sur l'implication de deux structures : le cortex préfrontal médian et le cortex cingulaire postérieur (Geday & Gjedde, 2009 ; Grecius, Krasnow, Reiss, & Menon, 2003 ; Shulman et al., 1997 ; Sridharan, Levitin & Menon, 2008 ; Van Horn, 2004). Certaines recherches ont inclus dans ce réseau de déactivation le cortex angulaire, le cortex cingulaire ventral antérieur, le precuneus, le cortex orbito-frontal, le cortex frontal moyen, le cortex frontal supérieur, ou encore l'hippocampe (Grecius et al., 2003 ; Shulman et al., 1997 ; Van Horn, 2004).

La diminution de l'activation dans ces régions permettrait au cerveau de focaliser ses dépenses énergétiques dans les structures indispensables à la tâche en cours. En effet, ces régions sont connues comme étant impliquées dans des fonctions qui pourraient perturber le participant de la tâche cognitive proposée dans les expériences (principalement des tâches de mémoire de travail et d'attention). Le cortex préfrontal ventral médian par exemple jouerait un rôle important dans les émotions, ainsi sa déactivation permettrait l'inhibition du signal émotionnel afin de maximiser les performances (Pochon et al., 2002). De la même façon, le

precuneus et le cortex cingulaire postérieur sont connus pour avoir un rôle dans les processus cognitifs visuo-spatiaux, tels que l'orientation de l'individu dans l'espace et l'interprétation de l'environnement, activités cognitives non nécessaires dans le cadre des tâches cognitives proposées (Gusnar & Raichle, 2001).

Des études, se focalisant plus spécifiquement sur l'attention visuelle portant sur des objets simples, ont retrouvé dans le réseau d'aires cérébrales déactivées durant cette tâche, des structures identiques à celles précédemment décrites comme étant communes au réseau de déactivation d'autres fonctions cognitives. Ce réseau de structures déactivées regroupe : le precuneus, le gyrus post-central, le cortex cingulaire antérieur, le cortex insulaire, le cortex préfrontal médian et le cortex frontal supérieur (Geday & Gjedde, 2009 ; Tomasi et al., 2006). De façon supplémentaire à ce réseau d'aires déactivées commun à diverses fonctions cognitives, la jonction temporo-pariétale droite apparaît comme étant déactivées particulièrement durant la recherche visuelle (Shulman, Astafiev, McAvoy, d'Avossa & Corbetta, 2007). Une étude utilisant le *flicker paradigm* (Huettel et al., 2001) a mis en lumière un réseau de structures déactivées durant une tâche de cécité au changement. Ces auteurs ont en effet observé l'implication de structures décrites dans les études présentées jusqu'à présent le gyrus angulaire, le cortex cingulaire postérieur et le cortex frontal médian et supérieur.

Nous avons vu dans ce chapitre, qu'au niveau des activations il existait des différences entre le réseau sous-tendant une recherche parallèle et celui sous-tendant une recherche sérielle, ainsi que des différences liées à la difficulté de la tâche, soit le nombre de distracteurs (cf. partie 2.2.3.1.). Une étude récente (Mayer, Roebroeck, Maurer, & Linden, 2010) a montré que certaines régions étaient davantage déactivées en recherche sérielle qu'en recherche parallèle. Ces régions étaient le cortex angulaire gauche, le cortex pariétal postérieur, le cortex temporal moyen gauche et supérieur bilatéral, le cortex cingulaire antérieur gauche, le cortex insulaire droit, les SMA latéralisées à droite, le cortex frontal médian bilatéral, le cortex frontaux inférieur droit et supérieur droit, ainsi que les ganglions de la base de façon bilatérale. L'étude de Tomasi et al. (2006) présentée précédemment dans la partie 2.2.3.1. de ce chapitre, ne s'est pas intéressée à l'effet du type de recherche visuelle, mais à l'effet du nombre de distracteurs sur les structures déactivées durant une tâche attentionnelle. Ils ont ainsi observé une variation du signal BOLD dans certaines structures déactivées durant la tâche en fonction du nombre de distracteur. En effet, l'activation du precuneus bilatéral, du

gyrus post-central bilatéral, du gyrus para-central, du gyrus parahippocampique gauche et du cortex temporal moyen bilatéral, augmentait avec la difficulté de la tâche.

Des études se sont centrées sur le lien fonctionnel entre les structures du réseau de déactivation et celles du réseau d'activation (Fox et al., 2005 ; Grecius et al., 2003 ; Sridharan et al., 2008 ; Uddin, Kelly, Biswal, Castellanos, & Milhan, 2009). Ainsi Grecius et al. (2003) ont trouvé une corrélation négative entre le signal BOLD de trois régions préfrontales dont l'activité augmentait durant la tâche cognitive (cortex préfrontaux ventro-latéraux et cortex préfrontal dorsolatéral droit), et deux régions cingulaires dont l'activité diminuait durant la tâche (cortex cingulaire postérieur et cortex cingulaire antérieur ventral). Toujours dans la même optique, Fox et al. (2005) ont également montré une corrélation négative entre le cortex cingulaire postérieur qui était déactivé et les structures activées durant leur tâche cognitive (le cortex temporal moyen, le sulcus intrapariétal et les *frontal eye fields* du cortex précentral). Tout ceci suggère une atténuation du réseau par défaut durant les processus cognitifs. A l'inverse, Uddin et al. (2009) ont montré qu'au repos les réseaux incluant le cortex préfrontal ventro-médian, le cortex cingulaire postérieur et d'autres régions corrélant positivement avec ces deux structures, ont un effet inhibant sur des réseaux de structure mis en jeu durant une tâche cognitive. Grecius et al. (2003) ont étudié le décours temporel du signal BOLD de régions cibles, et ont montré des fluctuations inverses du signal entre les régions activées et celles déactivées durant la tâche. La figure 13 présente le décours temporel du signal BOLD de trois régions cibles : le cortex cingulaire postérieur et le cortex préfrontal médian du réseau de déactivation, et une région du réseau d'activation, le sulcus intrapariétal. Concernant le passage du réseau d'activation au réseau de déactivation, il semblerait que le cortex cingulaire antérieur et surtout le cortex insulaire droit permettent de réaliser la transition entre les deux réseaux (Sridharan et al., 2008).

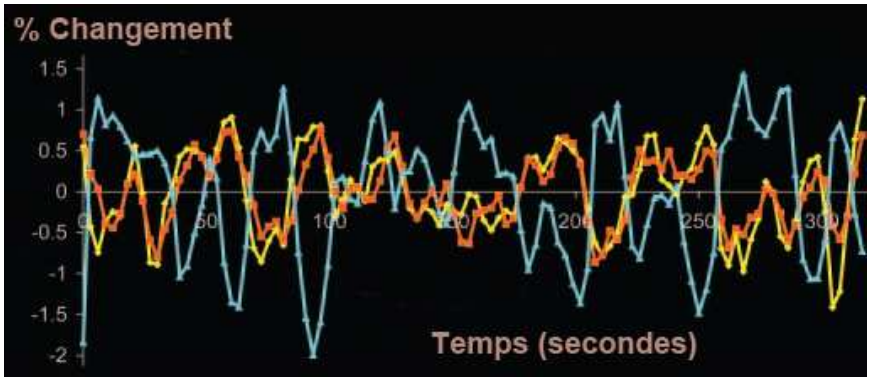


Figure 13. Décours temporel sur une séquence du niveau d'activation du cortex cingulaire postérieur en jaune, du cortex préfrontal médian en orange, et du sulcus intrapariétal en bleu d'après l'expérience de Fox et al. (2005). (Source : Fox et al., 2005)

Résumé du chapitre 1

Dans ce chapitre, nous avons discuté des données de la littérature se rapportant à différents aspects de l'attention sélective visuelle. A travers l'approche classique de Treisman et Gelade (1980), nous avons vu comment l'étude de l'intégration des attributs visuels (couleur, forme, …) d'objets simples a permis d'en savoir davantage sur le fonctionnement de l'attention sélective visuelle. En effet, cette approche classique a montré que la détection d'une cible était fonction des attributs des items avec lesquels elle est présentée. Puis avec la présentation du phénomène de cécité au changement (Rensink et al., 1997), nous avons vu comment l'étude de l'analyse de scènes visuelles renseigne sur le fonctionnement de l'attention sélective visuelle. En effet, cette nouvelle approche a observé que la détection d'un objet dans une scène était facilitée par son traitement attentionnel et sémantique. De plus, nous avons souligné la distinction qui peut être faite entre les processus attentionnels ayant un caractère automatique, comme par exemple avec une capture exogène de l'attention par un stimulus environnemental, et les processus attentionnels ayant un aspect plus contrôlé, notamment avec un déplacement volontaire de l'attention sur l'objet cible (Enns & Trick, 2006 ; Shiffrin & Scheinder, 1984).

Au niveau cérébral, un réseau commun à tout épisode attentionnel émerge (Gitelman et al., 1999 ; Hopfinger, Buonocore & Mangun, 2000 ; Nobre et al., 1997 ; Nobre, Coull, Frith & Mesulam, 1999 ; Nobre et al., 2000), incluant principalement trois structures : le cortex pariétal supérieur lié à la représentation de l'espace, le cortex pré-moteur latéral permettant l'orientation et les mouvements exploratoires, et le cortex cingulaire antérieur pour l'attention exécutive. Des études, se centrant spécifiquement sur les recherches visuelle parallèle et sérielle (Booth et al., 2003 ; Corbetta et al., 1991 ; Corbetta et al., 1995 ; Donner et al., 2000 ; Leonards et al. , 2000 ; Pollman et al., 2000), ont révélé un réseau cérébral très proche pour ces deux types de recherche visuelle. Seules des régions occipitales dans ce réseau cérébral seraient influencées par le nombre de distracteurs (Leonards et al., 2000). De plus, une nouvelle approche en neurosciences a permis de faire émerger un réseau de structures qui se mettrait en sommeil lors de la réalisation d'une tâche cognitive. Le cortex préfrontal médian et le cortex cingulaire postérieur serait au centre de réseau de déactivation (Geday & Gjedde, 2009 ; Grecius et al., 2003 ; Shulman et al., 1997 ; Sridharan et al., 2008 ; Van Horn, 2004).

La dissociation entre les réseaux de structures qui sous-tendent les processus de recherche parallèle et de recherche sérielle est plus évidente en considérant les réseaux de déactivation que les réseaux d'activation dont nous avons précédemment parlé. L'étude de Mayer et al. (2010) s'est spécifiquement intéressée à ces différences de structures cérébrales déactivées, et a mis en évidence une déactivation plus forte de certaines régions lors d'une recherche sérielle en comparaison à une recherche parallèle. Ces régions comprennent le cortex angulaire gauche, le cortex pariétal postérieur, le cortex temporal moyen gauche et supérieur bilatéral, le cortex cingulaire antérieur gauche, le cortex insulaire droit, les SMA latéralisées à droite, le cortex frontal médian bilatéral, le cortex frontal inférieur droit et supérieur droit, ainsi que les ganglions de la base de façon bilatérale.

Chapitre 2 :
Le développement normal de l'attention de la naissance à l'âge adulte

La concentration et la vigilance constituent une aide importante lors de l'apprentissage de nouveaux comportements, connaissances ou procédures. La vie est ponctuée de ces acquisitions qui débutent dès l'enfance. L'attention permet notamment l'optimisation de ces apprentissages. C'est pour cela que l'attention est une fonction importante à considérer dans le développement cognitif de l'enfant.

Dans le précédent chapitre, différentes théories sur le fonctionnement normal des processus attentionnels chez l'adulte ont été exposées. Ces derniers font l'objet d'un développement avant de devenir matures, développement débutant dès les premiers mois de la vie (Alder & Orprecio, 2006). La connaissance de l'évolution de ces mécanismes permet de compléter nos savoirs sur les théories existantes. Par exemple, une mise en place différentielle des processus pourrait suggérer une dissociation fonctionnelle des processus cognitifs adultes.

Ce second chapitre théorique débute par une présentation de la conception du développement cognitif en psychologie et un état des lieux des connaissances scientifiques actuelles portant sur la maturation du cerveau, incarnant ce développement cognitif. La suite du chapitre est centrée plus particulièrement sur l'attention sélective visuelle dans une approche comportementale, et se termine avec les données en imagerie anatomique et fonctionnelle rendant compte du développement du réseau cérébral de l'attention.

1. Le développement du cerveau et de la cognition

1.1. Comment penser le développement cognitif ?

Jean Piaget est l'un des pionniers de l'étude du développement cognitif. Il a notamment proposé un modèle très complet qui comprend aussi bien la compréhension par l'enfant du monde environnant et de ses propres pensées, que sa capacité à agir dans cet environnement (Piaget & Inhelder, 1966). Selon Piaget (1959), le développement cognitif résulte d'une

équilibration perpétuelle entre deux processus complémentaires d'adaptation : l'assimilation et l'accommodation. Par l'assimilation, l'individu incorpore les objets de son environnement à sa structure interne, autrement dit, il les modifie pour les appréhender. Avec l'accommodation, c'est l'individu qui s'ajuste à l'environnement en modifiant sa structure interne, il peut ainsi incorporer des éléments faisant l'objet d'apprentissages. Le développement cognitif est ainsi une évolution dans les opérations logiques de l'enfant, évolution se réalisant par la succession de quatre stades. Au stade sensori-moteur (de la naissance à 2 ans), la cognition de l'enfant évolue avec ses sens et sa motricité, il appréhende petit à petit la permanence de l'objet et les relations spatio-temporelles et causales entre les objets environnants. Le stade préopératoire (de 2 à 6 ans) débute avec l'acquisition du langage et l'enfant découvre la notion de quantité. Au stade opératoire (de 6 à 10 ans), l'enfant acquiert la conservation physique de la matière et des objets. Enfin, avec le stade des opérations formelles (de 10 à 16 ans), l'adolescent ne se contente plus d'un raisonnement concret, mais élabore des hypothèses et une logique hypothético-déductive.

Le modèle piagétien a inspiré de nombreux auteurs, dont Case (1985) qui reprend la conception d'une progression en stades, en précisant qu'un développement cognitif efficace dépend de disponibilité et l'utilisation par l'enfant des processus de traitement de l'information. Une théorie alternative à cette conception par stades a été élaborée par Siegler en 1995 (cité dans Halford & McCredden, 2007), avec une vision du développement en vagues qui se chevauchent. Contrairement à la théorie piagétienne qui considère que chaque stade est à la base du suivant et qu'un caractère ne peut apparaître avant un autre, cette nouvelle approche postule que les enfants ont à leur disposition plusieurs stratégies en même temps, et que les stratégies privilégiées à un moment donné par l'enfant vont faire l'objet d'un développement plus important.

Quelles que soient les approches, la cognition se développe progressivement dès la naissance au travers des interactions de l'enfant avec son environnement. Le développement cognitif apparait ponctué par des acquisitions, acquisitions nécessaires à la mise en place et/ou à la maîtrise des processus cognitifs ultérieurs. Il est toutefois important de préciser que l'acquisition d'une nouvelle stratégie n'équivaut pas à la suppression de la précédente : les nouvelles stratégies contrôlent et intègrent les précédentes. Parallèlement au développement de la cognition, s'opère la maturation du cerveau dont nous allons maintenant discuter.

1.2. La maturation cérébrale après la naissance

La plupart des opérations constitutives du développement du cerveau se produisent in utéro. Ainsi à la naissance, les quatre lobes cérébraux et toutes les structures internes du cerveau sont présents. Pour autant le cerveau n'est pas complètement mature. Luria (1973, cité dans Braun, 2000) a été l'un des premiers à élaborer un modèle du développement du cerveau. Selon lui, les premières régions qui se développent après la naissance sont le système réticulé et les structures reliées, les régions visuelles, auditives et somesthésiques primaires (de la naissance à 12 mois). Le cortex associatif poursuit son développement jusqu'à l'âge de 5 ans. Puis c'est la jonction temporo-pariéto-occipitale qui se développe de 5 à 8 ans. La région du cerveau qui mature en dernier dans ce modèle est le cortex préfrontal (de 12 à 24 ans).

Mais comment explique-t-on ces différences de rythme dans la maturation des régions cérébrales ? Un indicateur important des mécanismes de la maturation cérébrale est la modification de la substance blanche. De nombreuses études ont révélé des différences au niveau de la substance blanche de la naissance à l'âge adulte (Barnea-Goraly et al., 2005 ; Hermoye et al., 2006). Les changements développementaux concernent essentiellement une amélioration qualitative de la connexion neuronale. Cette amélioration qualitative se traduit par l'épaississement de la gaine de myéline, l'élargissement du diamètre de l'axone, et l'amélioration de l'organisation de la substance blanche. Les modifications de la substance blanche sont particulièrement intenses et rapides durant les premières années de la vie (Barnea-Goraly et al., 2005). Cette maturation ne s'effectue pas au même rythme dans chaque région du cerveau. Partant des régions postérieures vers les régions antérieures, la maturation cérébrale s'achèverait avec le cortex frontal, qui ferait ainsi partie des régions les plus tardivement matures (Yakolev, 1962). Parallèlement à cette maturation qualitative, le volume de la substance blanche augmente linéairement durant l'enfance et l'adolescence jusqu'à l'âge adulte, gagnant ainsi environ 12% entre 4 et 22 ans (Giedd et al., 1999). Alors que la substance blanche augmente avec le développement, on note une diminution globale de la substance grise (Giedd et al., 1999). Cette variation du volume de la substance grise avec l'âge n'est pas la même dans toutes les régions du cerveau. Au niveau occipital, le volume de la substance grise augmente linéairement avec l'âge. Aux niveaux frontal, pariétal et temporal, la courbe de variation du volume de la substance grise a une allure en cloche, qui atteint un maximum respectivement aux alentours de 12 ans, 11 ans, et 16.5 ans. Cette

maturation du cerveau est le support du développement de la cognition qui s'opère parallèlement.

2. Le développement de l'attention sélective visuelle : les données comportementales

2.1. Les approches comportementales classiques et le développement des traitements attentionnels : objets visuels simples

De nombreuses recherches ont été menées sur le développement de l'attention. Des travaux s'intéressant à la maturation des composantes visuelles et sélectives de l'attention de la naissance au début de l'adolescence sont exposés dans cette partie. Dans le chapitre 1, nous avons distingué dans l'attention sélective visuelle, des processus attentionnels dits automatiques d'autres dits contrôlés. Nous allons voir maintenant s'ils se distinguent également par des rythmes de développement différents.

2.1.1. Un aperçu global du développement de l'attention sélective visuelle

Des études récentes chez les nourrissons ont montré que l'attention visuelle débutait sa mise en place dès les premiers mois de la vie (Colombo, 2001). Durant les premiers mois de la vie, la balance entre l'attrait de l'attention envers les objets versus les positions évolue (Harman, Posner, Rothbart & Thomas-Thrapp, 1994). En effet, alors qu'à 3 mois les enfants ont un attrait pour les objets équivalent à l'attrait pour les positions, à 6 mois l'attrait pour les objets se renforce. La mise en place des stratégies d'attention sélective débuterait dès 3,5 ans (Blumberg & Torenberg, 2003). Dès cet âge, les enfants seraient sensibles aux caractéristiques spatiales de l'environnement pour adopter des stratégies d'attention sélective (Blumberg, Torenberg & Randall, 2005). La variation de la taille du focus attentionnel et la concentration des ressources attentionnelles dans cette zone s'optimisent avec l'âge. Deux périodes de changement développemental importante autour de 4-5 ans et au-delà de 9 ans ont ainsi été identifiées (Pasto & Burack, 1997).

La période de 8-10 ans semble en effet être une période charnière dans le développement des processus d'attention sélective visuelle (Huang-Pollock, Carr & Nigg, 2002 ; Klenberg, Korkman & Lahti-Nuuttila, 2001 ; Porporino, Shore, Iarocci & Burack, 2004). Porporino et al. (2004) ont remarqué une différence développementale entre la perception de la forme locale et globale, avec une maturation à 6 ans des performances de la forme locale, et au-delà de 8 ans pour la perception globale. L'étude de Huang-Pollock et al. (2002) a montré des différences entre des enfants de 7-8 ans et de 9-10 ans, dans leurs capacités à repérer laquelle des deux cibles proposées venait d'être présentée parmi des distracteurs. Et Klenberg et al. (2001), à l'aide de tests neuropsychologiques, ont constaté chez des enfants de 10 ans, une stabilisation de l'attention visuelle, auditive et focalisée. Ces derniers ont précisé qu'entre 8 et 10 ans l'attention focalisée évoluait rapidement, bénéficiant de changements plus graduels de 10 ans jusqu'à 13 ans.

Des différences dans le développement de l'attention liées au genre ont également été étudiées. Klenberg et al. (2001) ont montré un effet du genre chez les enfants de 3 à 5 ans en faveur des filles pour l'attention focalisée, ces différences disparaissant au-delà de 5 ans.

2.1.2. Le développement de l'orientation de l'attention avec le paradigme d'indiçage

Comme nous l'avons vu dans la partie 1.1.2. du chapitre 1, avec le paradigme d'indiçage, l'équipe de Posner (e. g. Posner & Raichle, 1998) a mis en place une procédure expérimentale permettant de distinguer l'attention orientée de façon endogène (indiçage par flèche) et de façon exogène (indiçage par surbrillance). Ils ont notamment montré que les performances relatives à ces deux modes d'orientation de l'attention sont améliorés par un indice valide et perturbés par un indice non valide. Les études développementales se sont intéressées principalement à la mise en place de l'attention endogène durant l'enfance.

Un effet bénéfique de l'indiçage est observé chez les bébés dès 3 mois (Hood, Willen, & Driver, 1998). Rueda et al. (2004), dans une adaptation du paradigme d'indiçage de Posner, ont trouvé un effet simple de l'âge sur les performances d'enfants répartis suivant quatre groupes d'âge (6, 7, 8 et 9 ans), mais sans interaction avec les coûts et les bénéfices liés à la congruence de l'indice. Ce résultat, contraire à l'hypothèse des auteurs, peut s'expliquer par le faible nombre de participants pour chacun des groupes (N=12). En effet, un an auparavant, une autre équipe de recherche (Schul, Townsend & Stiles, 2003) avait mis en évidence une

efficacité grandissante entre 7 ans et l'âge adulte de l'orientation attentionnelle. Leurs résultats ont notamment montré une interaction entre l'âge et la validité de l'indice sur le pourcentage de réponses correctes (%RC) et le temps de réponse (TR), dans le sens d'un bénéfice de l'indiçage valide augmentant avec l'âge. Néanmoins, ces auteurs n'ont pas précisé par des analyses supplémentaires si à partir d'un certain âge, la performance des enfants et/ou des adolescents égalait celle des adultes.

2.1.3. La mise en place précoce des processus de recherche parallèle avec le paradigme de recherche visuelle

Des études ont été menées auprès de bébés. Comme le montre la figure 14, des outils ont été adaptés à cette population en utilisant des techniques de mesure spécifiques comme un écran tactile (e.g. Gerhardstein & Rovee-Collier, 2002) ou l'enregistrement des mouvements oculaires (e.g. Alder & Orprecio, 2006).

Figure 14. Utilisation d'écran tactile chez les bébés dans l'expérience de Gerhardstein & Rovee-Collier (2002) sur l'attention sélective visuelle. (Source : Gerhardstein & Rovee-Collier, 2002)

Un des phénomènes attentionnels assez précoce à se mettre en place est l'effet de *pop-out*. Lorsqu'une cible diffère des distracteurs parmi lesquels elle est présentée, ne serait-ce que par un attribut visuel (couleur, forme, orientation), elle saute aux yeux quel que soit le nombre de ces distracteurs. Treisman et Gelade (1980) ont montré que les adultes effectuaient

dans ce cas une recherche parallèle de la cible parmi les autres items. Gerhardstein et Rovee-Collier (2002) se sont intéressés à la recherche parallèle chez des enfants de 1 an à 3 ans, avec une adaptation du paradigme de recherche visuelle de Treisman et Gelade (1980). Leurs résultats ont montré une diminution du temps de réponse (TR) avec l'âge, résultat classiquement observé dans les études sur le développement cognitif (Hale, 1990 ; Smulders et al., 2005). Une diminution de la vitesse de traitement a été observée dans des tâches impliquant différentes fonctions cognitives (e. g. attention, rotation mentale, abstraction). A 10 ans, les enfants sont presque deux fois plus lents que les adultes, et c'est à 15 ans qu'ils deviennent aussi rapides qu'eux (Hale, 1990). Des composantes non attentionnelles comme la maturation motrice peuvent intervenir dans la diminution de la vitesse de réponse chez les enfants qu'ont observés Gerhardstein et Rovee-Collier (2002). Ainsi afin de s'affranchir au mieux de ces étapes non attentionnelles, les chercheurs dans le domaine s'intéressent classiquement à la pente de la droite révélant la variation du TR en fonction du nombre de distracteurs présentés. Dans cette étude, les auteurs ont ainsi montré que, lorsque la cible différait d'un trait des distracteurs, les enfants étaient aussi rapides pour la détecter qu'il y ait 2, 4, 8 ou 12 distracteurs présentés en même temps qu'elle. L'analyse de la pente de cette fonction a révélé un bénéfice significatif de l'âge, la pente se rapprochant de plus en plus du 0 entre 1 an et 3 ans. Un résultat surprenant est que l'analyse de cette pente a montré que certains enfants passaient moins de 25 ms par item, ce qui suggère qu'ils effectuaient une recherche parallèle de la cible aussi efficace que celle des adultes (Enns & Rensink, 1990b). Ces mesures réalisées sur une dizaine d'enfants par tranche d'âge, mériteraient d'être vérifiées avec des inclusions supplémentaires.

Plus récemment, Alder et Orprecio (2006) ont également pu mettre en évidence le phénomène de *pop-out* auprès de bébés âgés de 3 à 4 mois. Ils ont utilisé une adaptation du paradigme de Treisman et Gelade (1980) avec une cible ne différant des distracteurs que par la forme. Ils ont mesuré la latence de la première fixation oculaire des bébés suivant la présentation du stimulus. Leurs résultats ont montré que ces nourrissons étaient capables de détecter la cible : leur première fixation avait lieu plus souvent sur la cible que sur les distracteurs. De plus, en présence de la cible, la latence des saccades n'était pas affectée par le nombre de distracteurs (voir figure 15). Un effet de *pop-out*, similaire à celui observé chez les adultes, est donc présent chez des nourrissons de 3 mois. Ces processus attentionnels, qui correspondent à la sélection réflexe définie par Enns et Trick (2006), sont donc présents dès la

naissance. Ces processus de recherche parallèle restent stables au cours de l'enfance et l'adolescence. En effet, des études ont montré que la pente de la fonction, montrant la variation des TR en fonction du nombre de distracteurs, était nulle de 7 ans à l'âge adulte (Garrad-Cole, Shapiro, & Thierry, 2011).

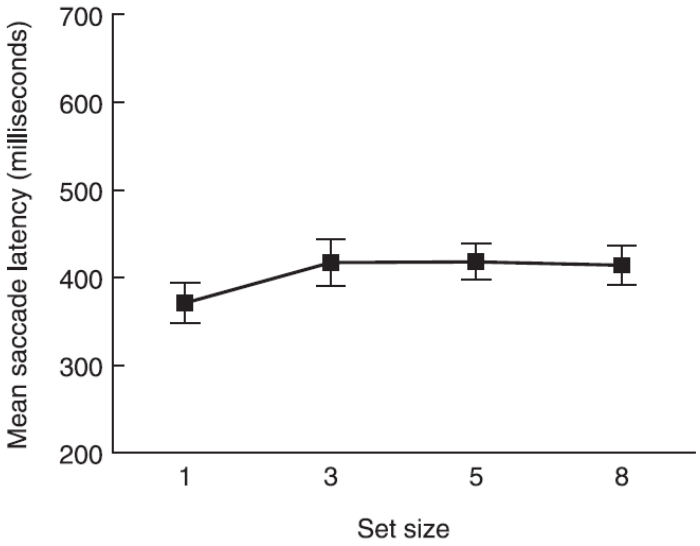


Figure 15. Résultats de l'expérience d'Alder et Orprecio (2006) montrant la durée de latence de la première saccade oculaire entre le point de fixation et la cible chez des nourrissons de 3 mois en fonction du nombre de distracteurs présentés avec la cible. (Source : Alder & Orprecio, 2006)

2.1.4. Le débat sur la maturation des processus attentionnels de recherche sérielle avec le paradigme de recherche visuelle

Des recherches se sont intéressées aux différences développementales liées à la recherche d'une cible étant la conjonction de plusieurs traits de distracteurs parmi lesquels elle est présentée, en utilisant le paradigme de Treisman et Gelade (1980). Dans cette situation, les auteurs ont montré chez les adultes que le système attentionnel avait tendance à procéder sériellement pour détecter cette cible. Contrairement aux processus de recherche parallèle, les processus de recherche sérielle ne seraient efficaces pas dès la naissance. En effet, Bertin et Bhatt (2001) ont montré que des bébés de 5 mois échouaient à trouver une cible lorsqu'elle était la conjonction des traits des distracteurs parmi lesquels elle était présentée, alors qu'ils réussissaient à la trouver lorsqu'elle différait d'eux par un seul attribut. Ces processus de recherche évoluent dès les premiers mois de la vie. L'amélioration liée à l'âge entre 1 an et 3 ans serait la même que pour les processus de recherche parallèle. En effet, Gerhardstein et Rovee-Collier (2002) n'ont pas montré d'effet d'interaction significatif entre l'âge et la tâche (disjonction ou conjonction) sur la pente du TR en fonction du nombre

de distracteurs. Selon ces auteurs, les processus de recherche visuelle sont qualitativement présents dès 18 mois, même s'ils n'ont pas achevé leur maturation.

Les études dans le domaine ne s'accordent pas sur l'amélioration au cours de l'enfance et adolescence des processus de recherche sérielle de l'attention sélective (revue dans Garrad-Cole et al., 2011). En effet, Garrad-Cole et al. (2011) ont trouvé une amélioration de la vitesse de traitement avec l'âge, sans différence au niveau attentionnel. Même s'ils ont relevé un effet du nombre de distracteurs sur le TR des enfants qui diminuaient avec l'âge, l'analyse de la pente de TR en fonction du nombre de distracteurs n'a pas montré d'effet de l'âge. Ils en ont conclu que dès 7 ans, les enfants avaient des processus de recherche sérielle aussi efficaces que les adultes. A l'inverse, Lobaugh, Cole et Rovet (1998) ont trouvé un effet tendanciel de l'âge sur la pente de la fonction relevant la variation du TR avec le nombre de distracteurs, avec une différence significative entre les enfants de 7-8 ans et les adultes. Ce résultat suggère que pour trouver la cible, les enfants de 7 ans étaient significativement plus perturbés par l'augmentation du nombre de distracteurs que les adultes.

2.2. Les nouvelles approches comportementales et le développement des traitements attentionnels : analyse de scènes visuelles et aspects temporels

2.2.1. Le développement de l'implication de l'attention dans l'analyse de scène avec le flicker paradigm

Le phénomène de cécité au changement a été décrit par Rensink et al. (1997) pour rendre compte de l'incapacité d'observateurs à détecter d'importants changements sur des objets ou dans des scènes d'une image sur l'autre. La littérature, portant sur le développement de l'attention, est pauvre en recherche utilisant le *flicker paradigm* de Rensink et al. (1997) encore très récent. Les quelques études recensées permettent néanmoins de mieux comprendre l'évolution des priorités attentionnelles avec l'âge lors de l'analyse de scènes complexes.

Shore, Burack, Miller, Joseph et Enns (2006) se sont intéressés à la détection du changement dans la perception de la réalité d'un objet (et non d'une scène) auprès d'enfants âgés de 5 à 12 ans et d'adultes. Ils ont montré que ces processus attentionnels faisaient l'objet d'une amélioration avec l'âge. Cette amélioration avec l'âge était plus importante lorsque le changement consistait en une modification de la couleur ou de la suppression d'une partie

d'un objet, comparativement à une modification de l'orientation de l'objet. L'effet de l'âge mériterait dans cette étude d'être davantage détaillé afin de préciser quels sont les groupes d'âge qui différent entre eux.

Fletcher-Watson, Collis, Findlay et Leekan (2009) ont également étudié les aspects développementaux liés au *flicker paradigm* auprès d'enfants de 6 à 12 ans et d'adultes, mais en utilisant comme stimuli des scènes visuelles. Comme dans l'étude précédente, ils ont trouvé un effet simple de l'âge sur le pourcentage de réponses correctes (%RC) et le TR. Leurs analyses post-hoc ont montré que les enfants de 10 ans étaient aussi performants que les adultes sur ces deux variables dépendantes. Ce résultat suggère une maturité à 10 ans des processus attentionnels de détection de changement lors d'une présentation discontinue de scènes visuelles complexes. Cette étude a montré que les enfants ont les mêmes priorités sémantiques que les adultes lors de l'analyse visuelle d'une scène. Comme le montre la figure 16, la détection des éléments sémantiquement centraux évoluait peu avec l'âge car dès 6 ans, ces changements centraux étaient très bien détectés. Par contre, les changements marginaux perturbaient davantage les enfants de 6 ans que les adultes. L'attention des enfants était donc plus sensible aux aspects sémantiques d'une scène visuelle complexe que celle des adultes. Le bénéfice d'un changement d'intérêt central par rapport à un changement d'intérêt marginal sur le %RC et le TR diminuait avec l'âge. Il était significativement plus grand chez les 6-8 ans que chez les adultes. Toutefois les auteurs n'ont pas précisé si ce bénéfice était différent entre les autres groupes d'enfants et les adultes. Ces informations complémentaires permettraient de préciser l'âge de maturité de ces processus attentionnels.

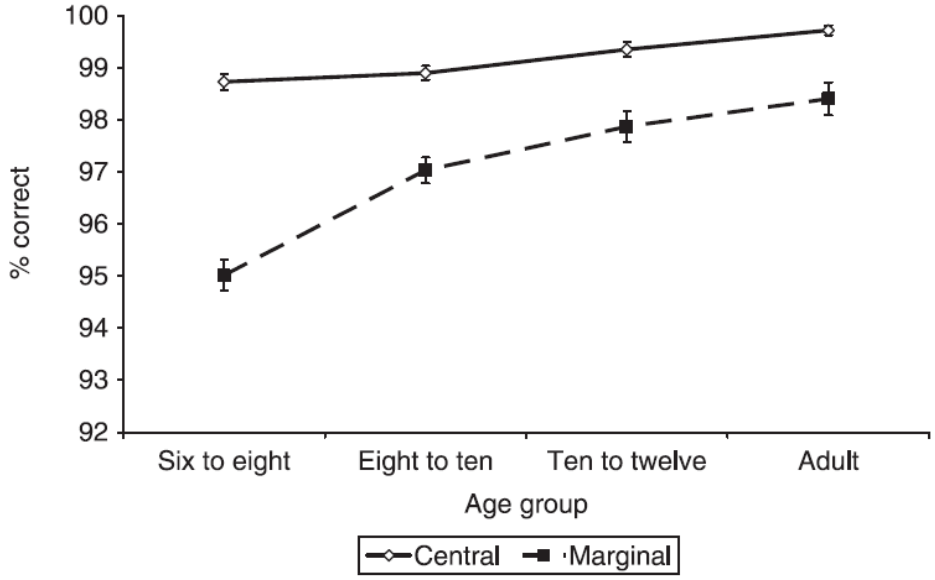


Figure 16. Représentation graphique de la variation de l'effet de l'intérêt sémantique d'une scène (central ou marginal) chez des enfants de 6 à 12 ans et des adultes sur le pourcentage de réponses correctes dans l'expérience de Fletcher-Watson et al. (2009). (Source : Fletcher-Watson et al., 2009)

2.2.2. Le développement des processus visuo-temporels de l'attention avec le paradigme d'attentional blink

Concernant les aspects développementaux de la composante temporelle de l'attention, des études ont été menées à l'aide d'un paradigme de RSVP. Ce paradigme permet d'évaluer le phénomène de clignement attentionnel (Shapiro et al., 1992) qui correspond à l'incapacité à traiter une cible (T2) lorsque le système cognitif a précédemment traité une première cible (T1) dans un certain délai. L'équipe de Shapiro a révélé qu'il existait des différences dans la durée de l'*attentional blink* entre l'enfance et l'âge adulte, dans le sens d'une diminution du phénomène avec l'âge (Garrad-Cole et al., 2011 ; Shapiro & Garrad-Cole, 2003). En effet, ces études ont montré que les enfants de 7 ans à 12 ans étaient aveugles plus longtemps à la deuxième cible que les adultes. Chez les enfants de 7 ans, le phénomène d'*attentional blink* durait entre 1000 et 1500 ms (Garrad-Cole et al., 2011 ; Shapiro & Garrad-Cole, 2003). La figure 17 montre que lorsque T2 était présentée 318 à 1060 ms après T1, les enfants de 7 ans détectaient moins bien T2, alors que leur taux de détection de T2 variait peu en fonction du délai de présentation entre T1 et T2 lorsque T2 était présentée seule. La durée du phénomène était de 1100 ms chez les enfants de 12 ans (Shapiro & Garrad-Cole, 2003). Le phénomène de clignement attentionnel s'étendait donc sur des délais deux à trois fois plus longs entre 7 et 12 ans que lorsqu'il est complètement mature à l'âge adulte. C'est au cours de l'adolescence,

vers 15 ans, que les processus cognitifs en jeu dans cette détection rapide de cibles deviendraient matures (Shapiro & Garrad-Cole, 2003). Chez les enfants de 15 ans, la durée d'un épisode attentionnel diminuait, équivalant alors à celle d'un adulte. Les auteurs ont expliqué ces différences développementales par la maturation tardive des aires frontales responsables de la mémoire de travail, fonction cognitive également en jeu dans cette tâche. Cependant ce résultat ne peut s'expliquer uniquement par la composante visuelle de mémoire de travail, qui selon Riggs, Taggart, Simpson et Freeman (2006), montre des différences importantes entre 5 et 10 ans, et à 10 ans des performances proches de celles des adultes.

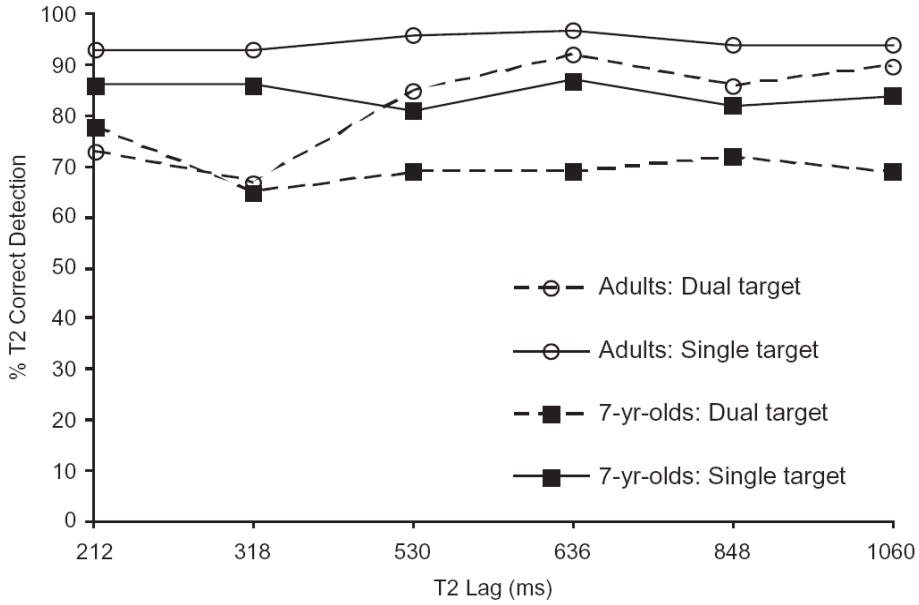


Figure 17. Représentation graphique du pourcentage de détection de T2 en simple et double tâche chez des enfants de 7 ans et des adultes lors d'une présentation visuelle rapide d'items dans l'expérience de Garrad-Cole et al. (2011). (Source : Garrad-Cole et al., 2011)

3. Le développement de l'attention sélective visuelle : les données anatomo-fonctionnelles

Les techniques d'imagerie cérébrale, lorsqu'elles sont couplées à des tâches cognitives, permettent de faire le lien entre la maturation du cerveau et le développement cognitif. Une étude en imagerie anatomique a mis en évidence une relation causale entre la maturation du cerveau et le développement de l'attention sélective visuelle. En effet, Mabbott, Noseworthy, Bouffet, Laughlin et Rockel (2006) ont montré que l'évolution de la matière blanche jouait un rôle dans l'amélioration de la vitesse de recherche visuelle entre 6 et 17 ans. Plus spécifiquement, c'est l'intégrité de la matière blanche dans les régions frontales et pariétales

qui amplifierait l'effet de l'âge sur la vitesse de recherche visuelle. En étendant l'analyse à la totalité du cerveau, cet effet disparaissait. Les résultats de cette étude suggèrent que la maturation de la matière blanche spécifiquement dans les régions frontales et pariétales est un facteur important pour la maturation des processus d'attention sélective visuelle.

D'autres recherches ont utilisé l'imagerie cérébrale fonctionnelle. De façon générale, ces études menées auprès d'enfants sont peu nombreuses car elles sont difficiles à mettre en place. En effet, elles nécessitent de la part des enfants un état d'éveil, de concentration pour réaliser une tâche cognitive et de ne pas bouger, tout ceci au sein d'un espace exigu comme celui d'une IRM par exemple. Ces contraintes font que plus les enfants sont jeunes, plus il est difficile d'utiliser cette méthode. Des études ont suggéré que les circuits cérébraux immatures des enfants évoluaient vers un réseau définitif à l'âge adulte. Konrad al. (2005) ont étudié les différences anatomo-fonctionnelles (en IRMf) entre les mécanismes de l'alerte, de l'orientation et du contrôle exécutif (cf. chapitre 1 partie 2.2.2.1.) chez des enfants de 8-12 ans et des adultes. Pour cela, ils ont utilisé une adaptation de la tâche de Posner mettant en jeu l'orientation endogène de l'attention. Leurs résultats ont montré que les activations cérébrales des enfants étaient plus faibles que celles des adultes pour les régions impliquées dans l'alerte (lobe frontal), l'orientation (jonction temporo-pariétale) et le contrôle exécutif (cortex préfrontal dorsolatéral). Dans une tâche d'alternance de critère de sélection de cible (couleur versus forme), Casey et al. (2004) ont également reporté une diminution de l'activation cérébrale chez des enfants comparés à des adultes dans des régions préfrontales et pariétales.

Concernant plus précisément l'attention sélective visuelle, Booth et al. (2003) ont observé des différences d'activation cérébrale entre des enfants (de 9-12 ans) et des adultes (ayant entre 20 et 30 ans) qui participaient à une tâche du même type que celle développée par Treisman et Gelade (1980). Dans cette expérience, la cible partageait toujours la forme et la couleur avec les autres items. Il pouvait y avoir un ou neuf distracteurs. Les résultats ont montré l'implication du thalamus, du lobe pariétal supérieur et du cortex pré-moteur chez les enfants comme chez les adultes. La comparaison entre les deux groupes a montré une activation plus importante chez les enfants du cortex cingulaire antérieur et du thalamus.

Il n'y a à notre connaissance aucune recherche concernant l'évolution avec l'âge du réseau de déactivation lors d'une tâche d'attention sélective visuelle. Depuis quelques années des études dans le domaine ont émergé, mais elles ne portent pas forcément sur l'attention. Ainsi en 2009, Vuontela et al. ont montré qu'à partir de 11 ans, des adolescents présentaient le

même pattern de régions déactivées lors d'une tâche de mémoire de travail que des adultes. Toutefois, les études sur la connectivité au repos vont dans le sens d'un renforcement de la connexion intra-réseau avec l'âge (Fair et al., 2008 ; Stevens, Pearlson, & Calhoun, 2009). En effet, Fair et al. (2008) ont montré que les connexions identifiées chez les adultes à l'intérieur du réseau par défaut entre le cortex préfrontal ventral, le cortex cingulaire postérieur et le cortex pariétal latéral, étaient inexistantes chez les enfants de 7-9 ans. Ce résultat suggère une modification de la cohésion du réseau par défaut avec l'âge, qui se développerait donc au cours de l'adolescence.

Résumé du chapitre 2

La cognition se développe progressivement dès la naissance au travers des interactions de l'enfant avec son environnement (revue dans Halford & McCredden, 2007). Le développement cognitif apparait être ponctué par les acquisitions nécessaires au développement des processus cognitifs ultérieurs. Ce développement de la cognition est soutenu par la maturation du cerveau. A la naissance, toutes les structures internes du cerveau sont présentes, mais le cerveau n'est pas mature pour autant. C'est essentiellement la qualité des connexions neuronales du cerveau qui va s'améliorer avec l'âge, et ceci jusqu'à l'âge adulte (Barnea-Goraly et al., 2005 ; Hermoye et al., 2006). Les différentes régions du cerveau n'évoluent ni en même temps ni au même rythme. Le cortex frontal est l'un des derniers à achever sa maturation.

Certains processus attentionnels, comme l'effet de *pop-out* ou de recherche parallèle, sont présents dès les premiers mois de la vie (Alder & Orprecio, 2006). En effet, des études ont montré que lorsque la cible différait d'un trait visuel des distracteurs, les enfants d'1 an passaient 25 ms par item, ce qui est compatible avec une recherche parallèle (Gerhardstein & Rovee-Collier, 2002). La recherche parallèle et la recherche sérielle évoluent de la même façon entre 1 et 3 ans (Gerhardstein & Rovee-Collier (2002). Cependant même si des études ont montré que la recherche sérielle était présente qualitativement dès 18 mois, sa maturation n'est pas encore achevée à cet âge. Cette maturation donne lieu à un débat dans la littérature. En effet, alors que Garrad-Cole et al. (2011) ont trouvé une amélioration de la vitesse de traitement avec l'âge, sans différence sur le plan attentionnel, Lobaugh et al. (1998) ont trouvé une tendance à l'amélioration des processus de recherche sérielle avec l'âge. Concernant les processus d'analyse de scène révélés par la cécité au changement, il y a très peu d'études chez les enfants. Fletcher-Watson et al. (2009) ont montré que les enfants avaient les mêmes priorités d'analyse de scènes que les adultes, mais qu'ils étaient plus sensibles à l'effet de l'intérêt sémantique du changement. On compte également très peu d'études développementales sur la cécité attentionnelle. La cécité attentionnelle dure trois fois plus longtemps chez les enfants de 7 ans que chez les adultes, c'est à 15 ans que le phénomène se stabilise (Garrad-Cole et al., 2011 ; Shapiro & Garrad-Cole, 2003).

Au niveau fonctionnel, les différences développementales du réseau de l'attention indiquent chez les enfants une activation plus faible des aires préfrontales et pariétales (Casey et al., 2004) et une activation plus importante du cortex cingulaire et du thalamus (Booth et al., 2003). Les études sur l'évolution avec l'âge du réseau de déactivation lors de tâches cognitives sont encore émergentes. Elles semblent indiquer qu'à partir de 11 ans, les adolescents déactivent les mêmes régions que les adultes (Vuontela et al., 2009).

Chapitre 3 :
Les dysfonctionnements cognitifs des enfants traités pour une tumeur du cervelet

Les études menées auprès d'enfants ayant eu une tumeur du cervelet sont actuellement émergentes car l'avancée des traitements thérapeutiques permet aujourd'hui d'améliorer considérablement le pronostic vital de ces patients. Cependant les données cliniques des patients rendent compte d'atteintes cognitives et comportementales malgré une imagerie morphologique apparemment normale en dehors de la structure lésée (Riva & Giorgi, 2000 ; Steinlin et al., 2003). Le monde scientifique s'attèlent aujourd'hui à évaluer l'ampleur et la nature de ces déficits cognitifs, qui touchent notamment l'attention, ainsi qu'à comprendre leur origine. Dans ce chapitre, une présentation du cervelet, structure lésée dans cette pathologie, est proposée, avant de discuter les données actuelles permettant de définir les déficits cognitifs et attentionnels observés chez ces patients.

1. Les fonctions du cervelet

Le mot cervelet vient du latin *cerebellum* qui signifie « petit cerveau ». En effet, il présente certaines similitudes avec le cerveau : la présence de matière grise, un cortex, des noyaux profonds et des connexions neuronales. Toutefois, le cervelet est beaucoup plus petit que le cerveau. Pour autant il concentre plus de 50% des neurones cérébraux (Kandel, Schwartz et al., 2000). Dans l'organisation interne du cervelet, on distingue classiquement trois lobes (revue dans Botez-Marquart & Lallonde, 2005). Le lobe flocculo nodulaire ou archicervelet est impliqué dans la locomotion et l'équilibre. Le lobe antérieur ou paléocervelet est connu pour son rôle dans le tonus musculaire. Enfin, le lobe postérieur ou néocervelet, lobe le plus volumineux, participe à l'initiation du mouvement. Outre cette organisation interne unique, le cervelet présente des connexions avec le cortex. Il reçoit et envoie des informations au cortex, notamment au travers de boucles cortico-cérébello-corticales. Des études ont montré qu'il était entre autre relié aux cortex frontaux, pariétaux et temporaux, ainsi qu'aux aires para-

hippocampiques et qu'au thalamus (Middleton & Strick, 2000 ; Ramnani et al., 2006 ; Schmahmann, 1997).

Depuis quelques années, les données de la littérature remettent en question les savoirs jusque-là partagés par la communauté scientifique sur le rôle du cervelet. De nombreuses recherches participent à ce débat à partir de l'étude d'individus sains, ayant une lésion ou ayant eu une ablation partielle du cervelet.

1.1. L'implication du cervelet dans les fonctions motrices et cognitives

Dans un premier temps, le cervelet était connu pour son implication dans les fonctions motrices, comme la coordination, l'initiation et l'ajustement du mouvement. Puis des rôles plus cognitifs lui ont été associés, mais toujours en rapport avec le mouvement, comme pour la programmation motrice (revue dans Botez-Marquart & Lallonde, 2005). Hors aujourd'hui, un certain nombre d'études ont fait la preuve de son implication dans des fonctions non motrices comme la perception temporelle (Ivry & Keele, 1989), la mémoire sémantique (Steinlin et al., 2003), la mémoire de travail (Gottwald, Mihajlovic, Wilde & Mehdorn, 2003 ; Schmahmann & Sherman, 1998), l'organisation visuo-spatiale (Schmahmann & Sherman, 1998 ; Steinlin et al., 2003), l'attention (Allen, Buxton, Wong & Courchesne, 1997 ; Golla, Thier & Haarmeier, 2005 ; Gottwald et al., 2003), les fonctions exécutives (Schmahmann & Sherman, 1998 ; Steinlin et al., 2003), ou encore l'affect (Schmahmann & Sherman, 1998). Ces études ont été menées auprès de patients ayant une lésion au niveau du cervelet. Les chercheurs ont interprété leurs troubles dans ces différentes fonctions cognitives comme les conséquences de l'interruption de la modulation cérébelleuse dans les réseaux de structures qui lient le cervelet aux cortex préfrontaux, pariétaux, temporaux et limbiques.

1.2. L'implication du cervelet dans l'attention

Nous allons maintenant tenter de préciser l'implication du cervelet dans les processus attentionnels, en abordant dans un premier temps les données comportementales issues de la littérature, puis les études en neuro-imagerie. Des études ont évalué les performances comportementales et/ou les activations cérébrales de patients ayant une lésion ou une ablation

partielle du cervelet durant des tâches d'attention divisée (Gottwald et al., 2003), d'orientation de l'attention (Golla et al., 2005), ou encore d'attention sélective (Gottwald et al., 2003).

Dans leur étude, Gottwald et al. (2003) se sont intéressés aux capacités d'attention divisée de seize adultes avec une lésion cérébelleuse. Avec l'aide d'une tâche informatisée, ces patients devaient effectuer deux tâches de détection simultanément. Dans la première tâche, des stimuli visuels étaient présentés les uns après les autres, et les participants devaient détecter un stimulus cible particulier. Dans la seconde tâche, il s'agissait de détecter une cible sonore parmi d'autres stimuli sonores. Leurs résultats ont montré que les patients étaient plus en difficulté que les témoins dans la réalisation de ces deux tâches simultanées.

Ces mêmes auteurs (Gottwald et al., 2003) ont également évalué l'attention sélective de ces mêmes patients. Les patients devaient détecter la présence (tâche go/no go) de deux cibles dans une présentation visuelle sérielle de stimuli. La vitesse moyenne de réponse à cette tâche ne se distinguait pas de celle des témoins. Les auteurs ont donc conclu que les processus d'attention sélective étaient intacts chez ces patients. Cependant, les patients présentaient une instabilité dans leur réponse, les écarts types des temps de réponse des patients étant nettement en dehors de la norme. Il serait donc peut être intéressant de proposer un paradigme expérimental permettant une mesure plus fine des processus d'attention sélective à des patients ayant une lésion du cervelet.

Concernant l'orientation spatiale de l'attention, comme nous l'avons déjà vu dans le chapitre 1 (cf. partie 1.1.2.), Posner et Raichle (1998) ont proposé un paradigme permettant de distinguer l'attention captée de façon exogène par un stimulus extérieur, de l'attention orientée de façon endogène par l'individu sur un objet environnant. Golla et al. (2005) ont proposé à des adultes ayant des lésions cérébelleuses une adaptation du paradigme d'indiçage de Posner. Leurs résultats ont montré que seule l'attention exogène des patients était perturbée, l'attention endogène n'étant pas altérée. Les auteurs ont donc proposé que la contribution du cervelet dans l'orientation visuo-spatiale de l'attention soit confinée à la capture exogène. Le cervelet serait donc davantage impliqué dans les processus attentionnels à caractère automatique qu'à caractère contrôlé.

L'étude de Schweizer, Alexander, Cusimano et Stuss (2007) a rendu compte de l'atteinte de la composante temporelle des processus d'attention sélective visuelle. A l'aide d'une adaptation du paradigme de RSVP proposé par Raymond et al. (1992, cf. chapitre 1

partie 1.2.2.), ils ont étudié la manifestation du phénomène de clignement attentionnel chez des patients ayant une lésion focale du cervelet et chez un groupe contrôle. Ce phénomène rend compte de la difficulté du système cognitif à détecter une cible T2 lorsqu'elle est précédée de 180 à 450 ms par une première cible T1, car les ressources attentionnelles allouées au traitement de T1 ne sont pas encore disponibles pour le traitement de T2 (Raymond et al., 1992). Les résultats de Schweizer et al. (2007) ont montré que la durée du clignement attentionnel chez les patients n'était pas prolongée, les patients comme les contrôles retrouvaient une bonne performance à la détection de T2 au même *lag* (*lag* 8). En revanche, l'ampleur du phénomène était plus importante chez les patients dont la détection de T2 étaient rendu impossible au *lag* 2, leurs réponses se faisant au hasard (voir figure 18). Même s'il ne concerne pas la durée du phénomène, ce résultat apporte un argument en faveur de l'implication du cervelet dans les processus spatio-temporels de l'attention.

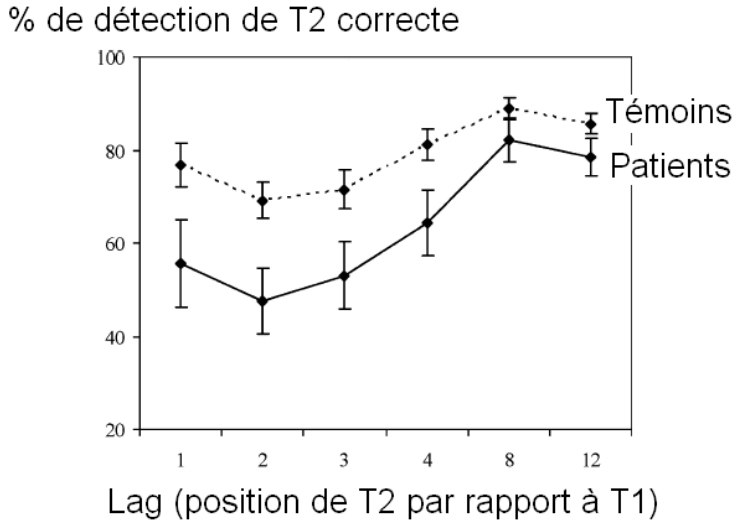


Figure 18. Représentation graphique du pourcentage de détection correcte de T2 en double tâche chez des patients avec une lésion du cervelet et des témoins dans l'étude de Schweizer et al. (2007). (Source : Schweizer et al., 2007)

Les données en neuro-imagerie ont également contribué à l'argumentation de l'implication du cervelet dans les fonctions cognitives. L'étude d'Allen et al. (1997) a permis de dissocier la fonction motrice du cervelet de son rôle dans l'attention. En effet, les auteurs ont proposé à des individus sains trois tâches : une tâche motrice basique, une tâche d'attention sélective, et une tâche motrice d'attention sélective. Dans la tâche d'attention sélective, les participants devaient compter intérieurement l'apparition du nombre de cibles dans une présentation sérielle de stimuli. Dans la tâche motrice, les participants devaient effectuer un mouvement moteur répétitif sans présentation de stimuli. Et dans la tâche motrice d'attention sélective, les participants devaient répondre à la présence d'une cible par un appui

de la main droite. En regardant très finement les régions cérébelleuses, les auteurs ont ainsi montré que l'activation du cervelet liée à la sélection d'une cible était indépendante de celle en lien avec des performances motrices basiques. Autrement dit, ce sont des régions cérébelleuses distinctes qui étaient impliquées dans la motricité et dans les processus attentionnels.

Nous avons vu que le cervelet était impliqué dans des activités cognitives, certainement au travers de réseaux de structures incluant des régions du cortex cérébral telles que le cortex frontal et le cortex pariétal. Nous allons maintenant nous centrer sur les études menées auprès d'enfants ayant été traités pour une tumeur de la fosse postérieure.

2. Les tumeurs de la fosse postérieure

2.1. La description de la pathologie

Les américains ont estimé l'incidence annuelle des tumeurs cérébrales chez l'enfant à 3 cas pour 100 000. Les tumeurs de la fosse postérieure (TFP) sont les plus fréquentes parmi les tumeurs cérébrales de l'enfant. Dans une revue des études dans le domaine, Mulhern, Merchant, Gajjar, Reddick et Kun (2004) ont relevé deux périodes de prédominance pour l'apparition de la maladie, ou en tout cas de son diagnostic. La première période concerne l'enfance de la naissance à l'âge de 10 ans. La seconde période s'étend de la fin de l'adolescence au début de l'âge adulte.

Les symptômes cliniques qui alertent généralement les patients et leur famille sont liés au syndrome cérébelleux et à une hypertension intracrânienne. Les patients peuvent avoir été sujets à des vomissements matinaux, des céphalées, des troubles de la marche, une paralysie faciale ou encore des troubles de la parole. Afin de parvenir au diagnostic, les médecins s'appuient sur un examen clinique approfondi. L'examen clinique permet d'évaluer la présence d'un syndrome cérébelleux, qui peut présenter une atteinte du vermis ou une atteinte hémisphérique, en fonction de la nature de l'altération du comportement moteur du patient. Cet examen peut évaluer également l'état nutritionnel et d'hydratation du patient consécutifs aux vomissements. Des examens neuroradiologiques complémentaires renseignent également pour le diagnostic. L'imagerie médicale permet en plus de déterminer le siège et la taille de la tumeur. Il existe plusieurs types de tumeurs dont les astrocytomes, les épendymomes, les

médulloblastomes qui sont les plus répandues ou encore les tumeurs atypiques tératoïde/rhabdoïde beaucoup plus rares. Ces tumeurs diffèrent de par leur nature, et par conséquent ne sont pas forcément traitées avec le même protocole thérapeutique.

Le diagnostic, les traitements et la prise en charge de ces patients nécessitent le regroupement de plusieurs professionnels de la santé, avec des spécialistes de la neurochirurgie, de l'oncologie, de la radiothérapie, de l'imagerie cérébrale, de la réhabilitation médicale, ou encore de la neuropsychologie. Par conséquent, ces patients sont suivis généralement dans des centres de neuro-oncologie regroupant ces professionnels.

Une fois le diagnostic posé, le patient doit être opéré en urgence. L'exérèse complète de la tumeur est préconisée. Suite à la chirurgie, d'autres traitements médicaux peuvent être associés. En effet, la radiothérapie et la chimiothérapie peuvent intégrer le protocole thérapeutique (Mulhern et al., 2004 ; Palmer & Leigh, 2009). Le dosage et la durée de ces traitements varient en fonction de la nature de la tumeur. La radiothérapie peut concerner une zone plus ou moins étendue du cerveau. L'irradiation peut être localisée sur la fosse postérieure (IFP) ou s'étendre sur tout le cerveau, on parle alors d'irradiation crânio-spinale (ICS).

2.2. Les déficits cognitifs tardifs des patients

2.2.1. L'altération cognitive globale

Les études s'intéressant aux altérations cognitives des patients traités pour une TFP rendent généralement compte de ces déficits à partir de l'évaluation du Quotient Intellectuel (QI). Les échelles de Wechsler (WPPSI et WISC) sont des tests cognitifs spécialisés chez l'enfant et très utilisés aussi bien en clinique qu'en recherche. Elles permettent d'apprécier à travers le calcul du QI, le niveau de cognition globale d'un individu. Elles estiment en outre les capacités de compréhension verbale, de raisonnement perceptif, de mémoire de travail, et de vitesse de traitement de l'information. Dans la population normale, le QI est stable dans le temps. Hors la majorité des patients traités pour une TFP présentent un déclin du QI dans le temps (Kieffer-Renaux et al., 2005 ; Mulhern et al., 2004). En effet, dans l'étude de Kieffer-Renaux et al. (2005), 4 ans après le diagnostic, 24 enfants sur 40 présentaient un déclin du QI total. Les chercheurs ont donc voulu affiner ces résultats, en se focalisant sur d'éventuelles atteintes cognitives spécifiques. Les patients présentent en effet plusieurs atteintes

spécifiques : un désordre de l'organisation visuo-spatiale (De Smet et al., 2009 ; Steinlin et al., 2003), un déficit de la mémoire spatiale et sémantique (Copeland et al., 1999 ; Steinlin et al., 2003), une atteinte de la fluence verbale (De Smet et al., 2009 ; Kieffer-Renaux et al., 2000) et de la compréhension écrite (Kieffer-Renaux et al., 2000), un ralentissement de la vitesse de traitement (Kieffer-Renaux et al., 2000 ; Steinlin et al., 2003), une altération de la mémoire de travail (Konczak, Schoch, Dimitrova, Gizewski & Timmann, 2005) et une perturbation des fonctions exécutives et de la sensibilité à l'interférence (De Smet et al., 2009 ; Steinlin et al., 2003). Cependant, toutes ces fonctions cognitives ne sont pas altérées de la même manière. Poggi et al. (2005) ont observé que le QI performance était plus déficitaire que le QI verbal chez ces patients. Ce résultat suggère que leurs capacités verbales qui sont des compétences dites cristallisées (e. g. la compréhension de mots et l'accès au lexique) sont mieux préservées que leurs compétences fluides (e.g. le raisonnement logique et les compétences visuo-constructives).

Généralement, les études dans le domaine ont observé une inégalité entre les patients face à la sévérité des déficits cognitifs. Ces recherches ont permis de faire émerger des facteurs de risque liés à une atteinte cognitive plus ou moins importante : le genre, l'âge du patient et ses compétences cognitives au moment du diagnostic, la localisation de la tumeur, les complications chirurgicales, le type de traitement thérapeutique, le dosage du traitement par radiothérapie ou encore le volume du cerveau recevant l'irradiation (George et al., 2003 ; Kieffer-Renaux et al., 2005 ; Mabbott, Penkman, Strother, & Bouffet, 2008 ; Mulhern et al, 2004 ; Palmer et al., 2003).

En effet, les études ont observé que plus l'enfant était âgé au moment du diagnostic et des traitements, meilleure était la préservation de ses capacités cognitives par la suite. L'âge avancé au moment du diagnostic est protecteur pour la préservation des capacités cognitives globales (George et al., 2003 ; Kieffer-Renaux et al., 2005 ; Palmer et al., 2003), des compétences de lecture en milieu scolaire (Mabbott et al., 2006) et du déclin dans à long terme de la cognition (Kieffer-Renaux et al., 2005). En effet, Kieffer-Renaux et al. (2005) ont montré que plus les patients étaient jeunes au moment du diagnostic, plus le déclin deux ans et demi plus tard des QI performance, QI verbal et QI total était important. Les compétences cognitives ne semblent pas se détériorer au même rythme en fonction de l'âge des patients au diagnostic. Comme le montre la figure 19, Palmer et al. (2003) ont montré que les patients diagnostiqués à l'âge de 6 ans présentaient un déclin immédiat de leurs compétences

cognitives globales en se stabilisant six ans après le diagnostic, alors que chez les patients diagnostiqués à l'âge de 11 ans ces compétences étaient préservées durant les deux années suivant le diagnostic, puis elles déclinaient progressivement au moins durant les cinq années suivantes.

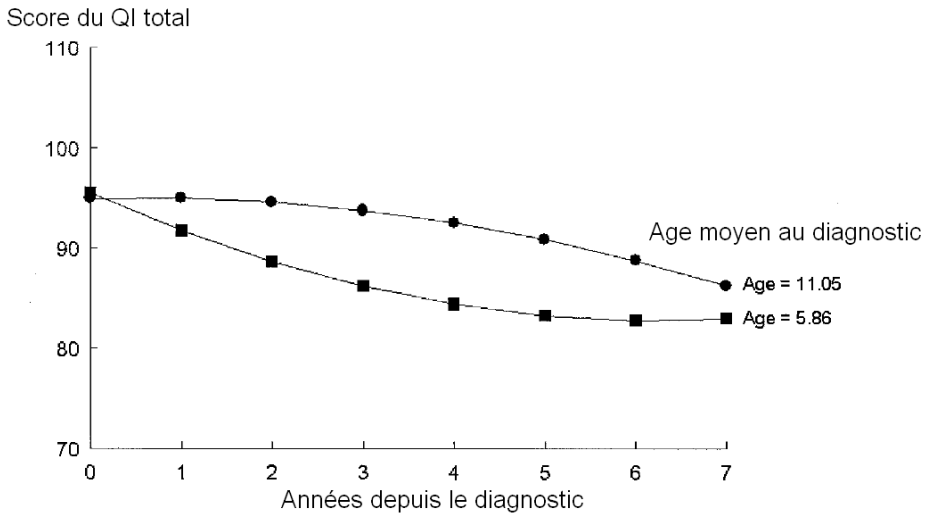


Figure 19. Représentation graphique de la variation du QI total des patients traités pour une TFP en fonction de leur âge au moment du diagnostic durant les 7 années qui suivent e diagnostic dans l'étude de Palmer et. al. (2003). (Source : Palmer et al., 2003)

Certaines études ont observé un effet de la localisation de la tumeur sur l'importance des déficits cognitifs. L'atteinte du vermis, surtout à gauche, est liée à une altération cognitive plus sévère (Steinlin et al., 2003). Dans cette recherche, l'âge d'opération du patient et la taille de la tumeur n'avaient pas d'influence sur les performances cognitives.

Un autre facteur prédisant le déclin des capacités cognitives globales a été étudié par Palmer et al. (2003), il s'agit des compétences cognitives de base des patients. Ils ont effectué chez vingt-six patients, une évaluation cognitive en moyenne trois mois après le diagnostic. Leurs résultats ont montré que les patients qui avaient les meilleures compétences cognitives trois mois après le diagnostic, perdaient en moyenne trois points par an sur le score du QI total. Les patients ayant les moins bonnes performances cognitives trois mois après le diagnostic ne perdaient qu'un demi-point par an sur le score du QI total. La figure 20 présente les résultats de cette étude, et suggère que huit ou neuf ans après le diagnostic les compétences cognitives globales de ces deux groupes de patients sont les mêmes. Une recherche longitudinale sur une plus longue période permettrait de savoir si le déclin des performances cognitives générales continue à ce rythme pour ces deux groupes de patients.

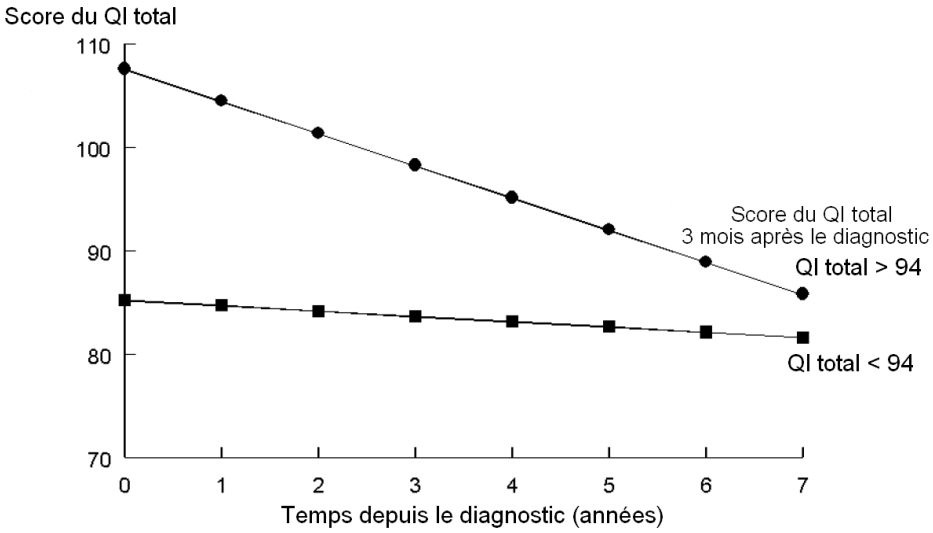


Figure 20. Représentation graphique de la variation du QI total des patients traités pour une TFP en fonction de leur score au QI total avant le début des traitements et durant les 7 années qui suivent e diagnostic dans l'étude de Palmer et. al. (2003). (Source : Palmer et al., 2003)

Plusieurs recherches ont mis en évidence un effet du type de traitement sur la sévérité de l'altération cognitive chez ces patients. Une étude se centrant sur des patients n'ayant eu comme traitement qu'une chirurgie, a observé que seule la moitié d'entre eux présentait des troubles d'attention, de la mémoire, de la vitesse de traitement et des capacités visuo-constructives, l'autre moitié n'ayant aucun trouble cognitif (Steinlin et al., 2003). Ceci renforce l'hypothèse de la participation du cervelet aux fonctions cognitives. Concernant l'effet de la chimiothérapie, une recherche a montré que, chez des patients tous traités par chirurgie et ICS, associer ou non une chimiothérapie à ce protocole thérapeutique n'influençait pas la sévérité de leur atteinte cognitive globale (Palmer et al., 2003). D'autres études ont montré que les traitements par radiothérapie étaient associés à des déficits cognitifs globaux et spécifiques comme une altération de la mémoire spatiale et de la vitesse de traitement plus importants (Copeland et al., 1999 ; Kieffer-Renaux et al., 2005 ; Mabbott et al., 2008). De plus, une dose importante d'irradiation lors de la radiothérapie semble également être un facteur aggravant sur la mémoire verbale et la vitesse de traitement (Kieffer-Renaux et al., 2000 ; Mulhern et al., 2004). Dans leur étude, Kieffer-Renaux et al. (2005) se sont intéressés aux compétences cognitives globales de patients ayant reçu différentes combinaisons de traitements. Le premier groupe de patients a été traité avec une IFP, le second avec une ICS avec une dose réduite en plus d'une IFP, le troisième groupe avec une ICS dosage standard et une IFP, et le quatrième avec une chimiothérapie importante et une IFP. Comme le montre la figure 21, seuls les patients du premier groupe n'ayant reçu qu'une IFP présentaient un QI normal jusqu'à huit ans après le diagnostic. Un autre facteur de

risque lié au traitement est le volume cérébral recevant l'irradiation : plus le volume cérébral soumis aux radiations est petit, meilleures sont les compétences cognitives des patients (Mulhern et al., 2004). A la vue des résultats de toutes ces recherches, on peut penser que ce sont les traitements proposant uniquement une chirurgie et uniquement une IFP qui sont les moins néfastes pour la préservation à long terme des capacités cognitives générales.

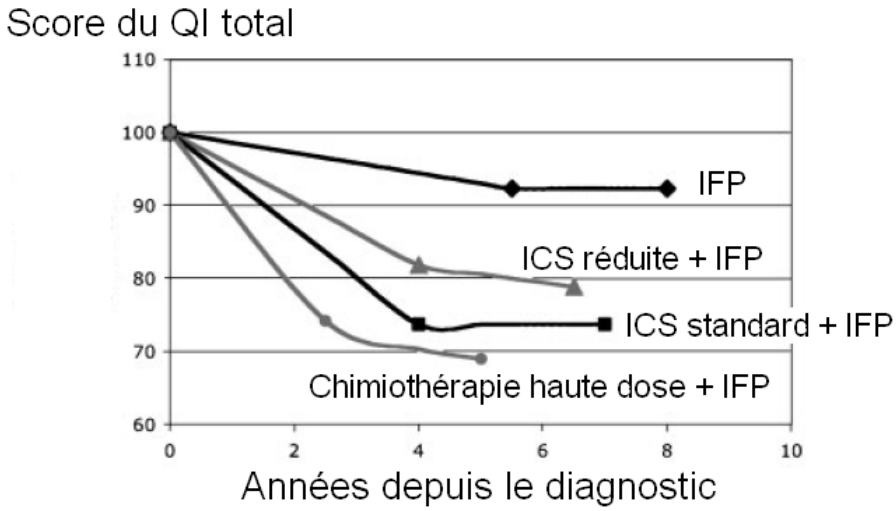


Figure 21. Représentation graphique de la variation du QI total de patients traités pour une TFP en fonction des traitements thérapeutiques dans l'étude de Kieffer-Renaux et al. (2005). (Source : Kieffer-Renaux et al., 2005)

2.2.2. L'atteinte spécifique de l'attention

Dans la partie précédente, nous avons vu que les patients traités pour une TFP présentaient des déficits cognitifs globaux et certains déficits cognitifs spécifiques (e. g. la mémoire de travail) plusieurs années après la fin des traitements thérapeutiques. Nous allons maintenant regarder ce qu'il en est précisément pour les processus attentionnels.

Les processus d'attention divisée semblent altérés chez ces patients. Steinlin et al., (2003) , décrit dans la partie 1.2. de ce chapitre. Cette tâche consistait en la détection d'une cible visuelle et d'une cible sonore dans une présentation sérielle de stimuli visuels et sonores. Les patients de l'étude n'avaient été traités pour leur cancer que par une chirurgie, et ils présentaient une altération des processus d'attention divisée. La préservation des processus d'attention divisée dans des tâches d'alternance chez des patients traités pour une tumeur du cervelet est controversée dans la littérature. Akshoomoff et Courchesne (1992) et Schoch et al. (2004) ont évalué leurs performances à une tâche de détection simple d'un stimulus cible rare visuel ou auditif, et à une seconde tâche où les participants devaient répondre alternativement à la cible visuelle et à la cible auditive. Les deux études s'accordent à dire que

les patients avaient de bonnes capacités à détecter une seule cible. Cependant dans la tâche d'alternance, alors que l'une a observé une dégradation des performances (Akshoomoff & Courchesne, 1992), l'autre a rapporté une préservation chez ces patients de leurs capacités d'alternance (Schoch et al., 2004). Concernant les processus d'attention sélective, peu d'études chez ces patients ont été menées. Steinlin et al. (2003) se sont intéressés à l'atteinte de ces processus chez des patients traités uniquement par chirurgie. A l'aide d'une tâche de go/no go, similaire à celle utilisée par Gottwald et al. (2003), ils ont observé une altération des performances d'attention sélective visuelle. L'atteinte des processus attentionnels chez ces patients ne semble pas être généralisée à tous les types d'attention. En effet, alors que les processus d'attention sélective semblent être altérés dans cette pathologie, les patients présentent une préservation des processus d'attention soutenue (Mabbott et al., 2008).

Comme pour les déficits cognitifs globaux, certains facteurs influençant la sévérité des déficits attentionnels ont été identifiés. L'âge au moment du diagnostic et des traitements est lié à l'importance des troubles attentionnels. En effet, Mulhern et al. (1998, cité dans Mulhern et al., 2004) ont observé que les enfants ayant moins de 8 ans au moment du diagnostic présentaient une atteinte de l'attention plus importante que les enfants plus âgés. Un âge avancé au moment du diagnostic serait protecteur contre la sévérité de l'altération de l'attention. Le type de traitement thérapeutique, le volume de cerveau recevant la radiation et la dose de radiation semblent également influencer la préservation des processus attentionnels. Dans l'étude de Copeland et al. (1999), les déficits attentionnels étaient plus importants chez des enfants ayant eu une radiothérapie que chez ceux qui n'en n'avaient pas eu. L'étude de Mulhern et al. (1998) a montré que les enfants ayant une IFP avaient de meilleures performances à une tâche attentionnelle que ceux qui avaient eu une ICS. Et parmi ceux ayant eu une ICS, les enfants ayant eu la dose la plus réduite de radiation présentaient une moindre altération de l'attention.

La majorité des études, rendant compte de l'altération cognitive des enfants ayant été traités pour une TFP, l'ont fait à partir de tests neuropsychologiques utilisés par les psychologues lors des consultations dans le cadre du suivi thérapeutique. C'est également le cas pour les études explorant les processus attentionnels (e. g. Copeland et al., 1999 ; Steinlin et al., 2003). La littérature manque de recherches utilisant des paradigmes expérimentaux plus fins que des tests neuropsychologiques, afin de mieux définir et comprendre les déficits attentionnels observés chez ces patients. De plus, de nombreuses études en imagerie

fonctionnelle ont fait part d'une implication du cervelet dans les réseaux cérébraux de l'attention (e. g. Nobre et al., 1999). Il serait donc intéressant d'étudier le fonctionnement cérébral chez ces enfants dont une partie du cervelet a été retirée.

2.3. Les conséquences psychologiques et sociales

Ces enfants sont souvent confrontés à des problèmes à l'école car les enseignants sont souvent mal informés sur leur maladie. Par conséquent, ils interprètent régulièrement le comportement en classe de ces enfants comme un manque de motivation, d'intérêt, de la fatigue ou de l'inattention (Palmer & Leigh, 2009). Il est donc important de rencontrer les enseignants pour leur expliquer les difficultés cognitives que ces enfants peuvent rencontrer suite à la maladie. Il arrive également qu'on propose à ces enfants une auxiliaire de vie scolaire quand ils restent dans un système de scolarisation normal. Malgré cela, 23% des enfants traités pour une tumeur (tous types de tumeur confondus) quittent ce système de scolarisation pour rejoindre des établissements spécialisés (Mitby et al., 2003). Tout comme la sévérité des troubles cognitifs, ce taux d'enfants rejoignant un établissement spécialisé est influencé par l'âge au diagnostic et le traitement par radiothérapie (Mitby et al., 2003). Les difficultés scolaires peuvent être reliées à l'altération de fonctions cognitives telles que l'attention, la vitesse de traitement, et la mémoire, qui sont indispensables pour réaliser de nouveaux apprentissages (Mulhern et al., 2004). Palmer et al. (2001) vont également dans ce sens, en proposant que le déclin intellectuel de ces patients soit davantage causé par une incapacité à réaliser de nouveaux apprentissages plutôt qu'à une perte des acquis.

En plus des difficultés scolaires, des études ont relevé la présence chez ces patients de problèmes psychologiques et sociaux. En effet, on retrouve chez ces patients traités pour une TFP des symptômes anxieux, dépressifs, un appauvrissement émotionnel, un certain repli sur soi, et un retentissement sur la qualité de vie et les compétences sociales (Ness et al. 2008 ; Poggi et al., 2005 ; Schultz et al., 2007). Certains patients développent même des symptômes autistiques (Riva & Giorgi, 2000).

2.4. L'explication des troubles

Jusqu'ici nous avons fait l'état des lieux des atteintes cognitives que rencontrent les patients traités pour une TFP. Les déficits cognitifs de ces patients concernent des fonctions telles que la mémoire et l'attention, alors que les régions frontales et pariétales (qui sous-

tendent ces fonctions dans la population normale) présentent une imagerie morphologique apparemment normale (Riva & Giorgi, 2000 ; Steinlin et al., 2003). De nombreuses études ont mis en relation la dégradation cognitive observée chez ces patients avec les traitements thérapeutiques. Les hypothèses explicatives pour rendre compte de ces troubles cognitifs se portent sur un effet des traitements médicaux à un niveau très fin du système neuronal. Une de ces hypothèses fait référence à la détérioration des connexions cortico-cérébelleuses, suite à l'ablation de la tumeur pourtant indispensable à la survie du patient. Une autre explication concerne une éventuelle altération de la matière blanche consécutivement à ICS, traitement portant nécessaire pour éviter la propagation de métastases et donc une rechute.

Reddick et al. (2000) ont proposé que les déficits cognitifs classiquement observés chez ces patients puissent s'expliquer par une diminution de la matière blanche dans leur cerveau. Cette diminution serait causée par l'irradiation des traitements thérapeutiques. Plusieurs études ont justement constaté une altération de la matière blanche dans des régions connues pour être impliquées dans les fonctions cognitives et notamment dans les processus attentionnels. En effet, Mulhern et al. (2004) ont relevé un appauvrissement en matière blanche dans le cortex préfrontal et le cortex cingulaire, et Qiu, Kwong, Chan, Leung, et Khong (2007) ont constaté une perturbation de l'organisation de la matière blanche dans des régions frontales et pariétales. Cependant, on ne sait actuellement pas si cette diminution de la matière blanche est liée à une perte des tissus neuronaux, à une incapacité de production de nouveaux tissus, ou à ces deux hypothèses simultanément.

Les techniques thérapeutiques notamment dans le domaine de la radiothérapie avancent pour tenter de diminuer la fréquence des séquelles neurocognitives chez ces patients. Des essais cliniques sont actuellement en cours pour essayer d'évaluer l'impact d'une radiothérapie dite bi-fractionnée. Cette nouvelle technique consiste à diviser en deux séances le traitement par radiothérapie, en irradiant le cerveau avec des doses moins importantes à chaque fois, même si cumulées ces deux doses de radiation dépassent le dosage de la radiothérapie classique, dite mono-fractionnée.

Résumé du chapitre 3

La tumeur de la fosse postérieure (TFP) est la tumeur cérébrale la plus fréquente chez l'enfant. Les recherches auprès de cette population émergent de plus en plus, car l'étude de ces patients présente un double intérêt. D'une part, elle permet de préciser les atteintes neurocognitives consécutives au traitement de cette pathologie. Et d'autre part, elle nous renseigne sur l'implication du cervelet dans les processus cognitifs qui fait débat dans la littérature.

En effet, des déficits cognitifs sont observés chez ces patients bien après la fin des traitements. Ils concernent aussi bien les compétences verbales (De Smet et al., 2009 ; Kieffer-Renaux et al., 2000), que l'organisation visuo-spatiale (De Smet et al., 2009 ; Steinlin et al., 2003), la mémoire de travail (Konczak et al., 2005) ou encore l'attention (Akshoomoff & Courchesne, 1992 ; Mulhern et al 1998). L'importance du déclin des fonctions cognitives est influencée par certains facteurs comme l'âge au moment du diagnostic, la localisation de la tumeur, ou encore la nature et le dosage des traitements thérapeutiques (George et al., 2003 ; Kieffer-Renaux et al., 2005 ; Mabbott et al., 2008 ; Mulhern et al, 2004 ; Palmer et al., 2003). Ces déficits cognitifs peuvent affecter la scolarisation de ces enfants (Mitby et al., 2003). Cette pathologie a également un retentissement sur la qualité de vie, la socialisation et l'état anxieux et dépressif des patients (Ness et al. 2008 ; Poggi et al., 2005 ; Schultz et al., 2007). Des études se sont centrées sur l'explication de la cause des troubles cognitifs qui surviennent malgré une imagerie morphologique apparemment normale en dehors la zone lésée consécutivement à l'ablation de la tumeur (Riva & Giorgi, 2000 ; Steinlin et al., 2003). L'hypothèse privilégiée actuellement est que les traitements thérapeutiques, et notamment la radiothérapie crânio-spinale, cause une altération de la matière blanche dans le cerveau (Reddick et al., 2000). Les connexions neuronales seraient donc perturbées, notamment dans les cortex frontaux, pariétaux et cingulaires (Mulhern et al., 2004 ; Qiu et al., 2007), régions connues comme étant impliquées dans la mémoire ou encore l'attention qui sont justement altérées chez ces patients.

Beaucoup d'avancées ont été réalisées, et aujourd'hui les recherches tentent d'améliorer les traitements thérapeutiques, notamment la radiothérapie, afin de limiter les séquelles cognitives. Cependant il est nécessaire de mieux déterminer les déficits cognitifs, et

notamment l’altération des processus attentionnels. En effet, ces atteintes cognitives sont majoritairement explorées à partir de tests neuropsychologiques simples (e. g. Copeland et al., 1999 ; Kieffer-Renaux et al., 2005 ; Steinlin et al., 2003). Afin de mieux les comprendre, il est nécessaire de les étudier à l’aide de paradigmes expérimentaux plus fins. De plus, de nombreuses études en imagerie fonctionnelle ont fait part d’une implication du cervelet dans les réseaux cérébraux de l’attention (e. g. Nobre et al., 1999). Il serait donc intéressant d’étudier le fonctionnement cérébral chez ces enfants dont une partie du cervelet a été lésée.

Partie expérimentale

Ce travail est centré sur la distinction entre les processus automatiques et contrôlés de l'attention sélective visuelle. Dans la partie théorique de ce manuscrit, nous avons fait l'état des lieux des données de la littérature renseignant sur le fonctionnement de ces processus, leur développement au cours de l'enfance et l'adolescence, ainsi que leur atteinte chez des enfants traités pour une tumeur du cervelet. S'inscrivant dans une approche de neuropsychologie cognitive, l'objectif de ce travail est de compléter les données théoriques sur le fonctionnement des processus automatiques et contrôlés de l'attention sélective visuelle, à travers l'étude de leur développement normal et de leur déficit associé à une pathologie.

La partie expérimentale de ce manuscrit s'articule donc autour de deux chapitres correspondant d'une part, à l'étude du développement normal des processus attentionnels de l'enfance à l'âge adulte, et d'autre part, à l'étude de l'atteinte de ces processus chez des enfants traités pour une tumeur cérébelleuse. Un résumé a été réalisé à la fin de chaque chapitre, afin de reprendre les résultats importants de chaque expérience et de les discuter.

Chapitre 1 :
Le développement de l'attention sélective visuelle de 7 ans à l'âge adulte

Dans les recherches sur l'attention, les processus attentionnels automatiques sont classiquement distingués des processus attentionnels contrôlés. Il existe une dissociation entre ces processus dans leur développement. En effet, alors que les processus attentionnels automatiques sont efficaces dès les premiers mois de la vie (Alder & Orprecio, 2006), les travaux concernant les processus attentionnels contrôlés indiquent qu'ils se mettent en place beaucoup plus tardivement au cours de l'enfance (Akshoomoff, 2002 ; Garrad-Cole et al., 2011 ; Klenberg et al., 2001 ; Rueda et al., 2005).

Dans ce premier chapitre, deux aspects sont discutés : d'une part, la nature du traitement attentionnel associé à des tâches requérant différents niveaux de profondeur de traitement, et d'autre part, la complémentarité de l'approche comportementale et de l'imagerie cérébrale fonctionnelle. L'objectif de ce chapitre était l'étude du développement de la dissociation entre les processus automatiques et contrôlés de l'attention sélective visuelle, et plus particulièrement de la maturation des processus contrôlés. Nous nous sommes intéressés à différents niveaux de profondeur de traitement associés à l'attention visuelle dans les deux premières expériences. Dans l'expérience 1, nous avons abordé les différences développementales liées aux processus attentionnels mis en jeu dans la détection de formes visuelles simples (bas niveau de traitement). Dans l'expérience 2, nous nous sommes centrés sur la maturation des processus attentionnels orientant l'analyse sémantique de scènes visuelles complexes (haut niveau de traitement). De cette façon, nous avons pu voir si ces deux niveaux de traitement associés aux processus d'attention sélective visuelle se développent au même rythme. La complémentarité des approches comportementales et fonctionnelles concerne les expériences 1 et 3. En effet, dans l'expérience 3 nous avons étudié du point de vue fonctionnel comment se traduisent les différences développementales dans les processus attentionnels automatiques et contrôlés, en jeu lors de la détection de formes visuelles simples. Ces résultats ont été discutés en fonction des différences comportementales

observées dans l'expérience 1. Ainsi, nous avons pu apprécier l'intérêt d'une double approche comportementale et fonctionnelle.

1. Etude comportementale du développement des processus d'attention sélective visuelle en jeu lors de la détection de formes visuelles simples chez des enfants de 7 ans à l'âge adulte (Expérience 1)

1.1. Problématique et hypothèses

Dans cette première expérience, notre objectif était d'étudier la dissociation développementale entre les processus automatiques et contrôlés à un bas niveau de traitement. Pour ce faire, nous avons choisi d'utiliser une adaptation du paradigme de Treisman et Gelade (1980) dans lequel il faut rechercher dans deux conditions une cible parmi des distracteurs sur la base de primitives visuelles (couleur, forme, mouvement, …). Dans la première condition, la cible diffère par la forme et la couleur des distracteurs. Elle saute aux yeux. Avec cet effet *pop-out* sous-tendu par des processus attentionnels dits automatiques, la rapidité de la détection de la cible n'est pas affectée par l'augmentation du nombre de distracteurs chez les adultes comme chez les enfants (Gerhardstein & Rovee-Collier, 2002). L'inverse se produit dans la seconde condition où la cible diffère de certains distracteurs par la forme et des autres par la couleur. La recherche de la cible est réalisée de façon sérielle et nécessite la mise en place de processus attentionnels contrôlés. Dans la littérature, les études ne s'accordent pas sur l'évolution avec l'âge de l'influence du nombre de distracteurs sur la rapidité de la détection de la cible. Certains ont trouvé une maturation à 7 ans de ces processus (Garrad-Cole et al., 2011), alors que d'autres résultats ont suggéré une maturation au-delà de 8 ans (Lobaugh et al., 1998).

Nous avons posé trois hypothèses dans cette expérience. Tout d'abord, nous avons fait l'hypothèse d'une diminution globale des temps de réponse avec l'âge liée à une maturation générale des processus cognitifs (moteurs, perceptifs, attentionnels et mnésiques) en accord avec Hale (1990). Concernant les processus de recherche parallèle, nous pensions qu'ils devraient être matures chez les enfants les plus jeunes de notre étude, en accord avec les résultats de Gerhardstein et Rovee-Collier (2002). Nous nous attendions donc à ce les temps de réponse et des taux de réponses correctes ne soient pas perturbés par l'augmentation du nombre de distracteurs chez les enfants et les adultes lorsque la cible diffère des distracteurs

parmi une caractéristique visuelle. Quant aux processus de recherche sérielle, nous supposions qu'ils deviendraient matures progressivement entre 8 ans et l'adolescence, comme le suggère l'étude de Lobaugh et al. (1998). Autrement dit, lorsque la cible était la conjonction des attributs des distracteurs, on s'attendait à ce que le temps de réponse augmente et que le taux de réponses correctes diminue avec le nombre de distracteurs, et ces effets diminuant avec l'âge des participants. Entre 8 ans et l'adolescence, on s'attendait à ce que cet effet soit le même que chez les adultes.

1.2. Méthode

1.2.1. Participants

Les participants se répartissaient en cinq groupes d'âge: des enfants de 7-8 ans et 9-10 ans, des adolescents de 11-12 ans et 13-14, ainsi que des adultes de 19-35 ans. Les enfants ont été recrutés dans les classes doubles de CE1-CE2 et de CM1-CM2 de l'école primaire bordelaise Jean Cocteau, et les adolescents dans une classe de 6° et une classe de 4° du collège bordelais Alain Fournier, avec l'accord des chefs d'établissement respectifs. La participation des enfants et des adolescents était soumise à l'approbation de leurs parents. Les participants adultes étaient principalement des doctorants, des chercheurs et des étudiants en master de l'université Victor Ségalen.

Le recrutement des enfants et des adolescents s'étant effectué dans des classes, le nombre de participants était donc dépendant du nombre d'élèves dans chaque classe. Nous avons choisi de proposer l'expérience à tous les élèves d'une même classe et de ne pas compléter chaque échantillon avec quelques élèves d'autres classes afin de ne pas dévaloriser les enfants des classes concernées qui n'auraient pas passé l'expérience. Nous avons préféré ne pas harmoniser l'effectif de chaque groupe en réduisant le nombre de participants des groupes les plus représentés dans le but de ne pas réduire notre puissance statistique.

Tous les participants étaient soumis à certains critères d'inclusion. La vue des participants devait être normale ou corrigée à la normale. Ils ne devaient avoir aucun trouble cognitif ou moteur avéré. Ils ne devaient avoir consommé aucun médicament psychotrope ni aucune drogue, et avoir eu une bonne nuit de sommeil la veille. Un adolescent a été exclu des analyses car il avait un handicap moteur important. Deux autres adolescents et deux enfants n'ont pas été pris en compte dans les statistiques car ils étaient soit en avance, soit en retard

dans leur rapport âge/classe. En effet, afin d'éviter toute inclusion d'enfant ayant une attention ou une cognition potentiellement hors norme non dépistée, nous avons choisi de ne pas inclure dans les analyses les enfants ayant redoublé ou étant en avance scolairement. Ces cinq exclusions représentent 3.9% de la totalité des 127 participants rencontrés. Les caractéristiques des 122 participants inclus dans les analyses statistiques sont présentées dans le Tableau 4.

Tableau 4. *Caractéristiques des participants de l'expérience 1.*

Groupe	N	Age				Genre ♂/♀	Latéralisation droite/gauche
		moyenne	écart type	borne <	borne >		
7-8 ans	24	8,1 ans	0,5 ans	7,0 ans	8,7 ans	16/8	18/6
9-10 ans	21	9,9 ans	0,6 ans	8,8 ans	10,9 ans	10/11	16/5
11-12 ans	23	11,6 ans	0,4 ans	11,1 ans	12,6 ans	12/11	19/4
13-14 ans	24	13,8 ans	0,5 ans	13,2 ans	14,8 ans	12/12	22/2
19-35 ans	30	24,8 ans	4,3 ans	19,2 ans	35,5 ans	16/14	30/0
Total	122	14,3	6,6	7,0	35,5	66/56	105/17

La dispersion en âge des groupes d'enfants et d'adolescents était beaucoup plus réduite que celle du groupe des adultes, la constitution du groupe d'adulte n'ayant pas été ciblée sur un âge précis. Au niveau de la répartition fille/garçon, seul le groupe des 7-8 ans montrait un déséquilibre en faveur des garçons. Le genre n'ayant pas d'effet sur l'attention pour les tranches d'âge étudiées dans cette recherche (Klenberg et al., 2001), nous n'avons pas soigné notre échantillonnage en fonction de ce facteur. L'effet de ce facteur a toutefois été analysé après coup. La grande majorité des participants étaient droitiers. L'absence de gaucher dans le groupe d'adulte s'explique par le fait que ces adultes ont également été recrutés pour l'expérience 3 qui se déroule dans une IRM, et pour laquelle tous les participants devaient répondre de la même main.

1.2.2. Matériel

La tâche informatisée était une adaptation du paradigme de Treisman et Gelade (1980) et consistait à répondre à la présence et à l'absence d'une cible présentée parmi d'autres items distracteurs. Comme le montre la figure 22, dans cette expérience deux facteurs ont été

manipulés : le nombre de traits communs entre la cible et les distracteurs (T_2 : 0 ou 2) et le nombre d'items présentés (I_3 : 4, 16 ou 25). La cible était toujours un « **T** », par contre les items distracteurs variaient. Soit les distracteurs ne partageait aucune caractéristique avec la cible (t0), soit ils partageaient deux attributs avec elle (t2). La cible était donc présentée soit parmi des « **X** » (n'ayant aucun trait commun avec la cible), soit parmi des « **X** » (similarité de couleur avec la cible) et des « **T** » (similarité de la forme). Dans ces deux cas de figure, le nombre d'items présentés était manipulé ; il pouvait y avoir 4, 16 ou 25 lettres.

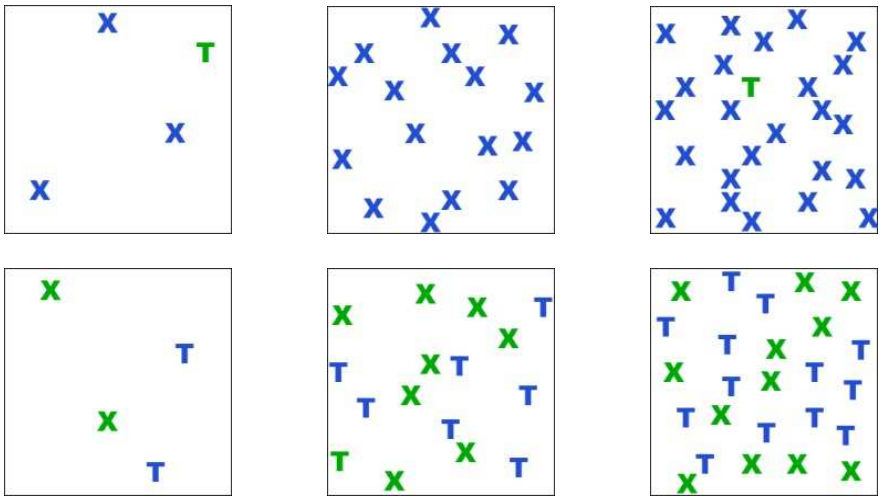


Figure 22. Exemples de stimuli présentés avec t0 (en haut) ou t2 (en bas), et avec de gauche à droite 4, 16 et 25 items.

Avec le logiciel Adobe Photoshop CS2, 192 images de 256x256 pixels (soit 8°x8° d'angle visuel) ont été crées. Dans la moitié des images, il n'y avait aucun trait commun (t0) et dans l'autre moitié il y en avait deux (t2). Chacune de ces deux moitiés comportait 96 images, soit 32 images avec 4 lettres, 32 autres avec 16 lettres et enfin 32 avec 25 lettres. La cible n'était présente que dans 50% de ces essais. Dans la condition t0, tous les distracteurs étaient des **X**. Dans la condition t2, le rapport entre les deux types de distracteurs (**X** et **T**) était de 50%. Pour ¼ des 192 images il y avait un nombre impair de distracteurs, impliquant qu'un des deux types de distracteurs était surreprésenté d'un exemplaire par rapport à l'autre. Ces images ont été conçues à l'aide de matrices fictives 4x4 pour présenter 4 et 16 items, et 5x5 pour afficher 25 items, matrices présentées dans l'annexe 1. De cette manière, les items étaient répartis sur toute l'image. La position de la cible dans les matrices a été contrôlée de façon à ce qu'elle n'apparaisse pas deux fois au même endroit. Les lettres étaient en police Arial Black Regular en 30 pts nets et mesurait 0.5 cm x 0.5 cm.

Un ordinateur portable a été utilisé pour toutes les passations. Il s'agit d'un DELL ayant une carte graphique NVIDIA Quadro FX 16000M, un écran 17 pouces, une résolution graphique de 1024x768 pixels et une fréquence de balayage calibrée à 60 Hz.

1.2.3. Procédure

Les passations expérimentales des enfants et des adolescents avaient lieu dans une salle de classe des établissements concernés. L'expérience se déroulait de façon individuelle. Les 192 essais étaient répartis en six blocs expérimentaux espacés d'une pause qui durait 10 min, pour une passation totale de 15 min.

L'expérience a été programmée avec le logiciel SuperLab Pro version 2.0. Les six blocs expérimentaux correspondaient aux trois modalités de la variable nombre d'items pour les conditions t0 et t2. L'ordre de présentation de ces blocs a été contrebalancé sur douze participants. Les six premiers participants commençaient par les trois blocs de la condition t0 et terminaient par les trois blocs de la condition t2. L'ordre des trois blocs de la variable nombre d'items (4, 16 et 25) variait selon le participant en fonction des six distributions possibles. De cette manière, tous les douze participants, les effets d'ordre étaient contrebalancés partiellement.

La tâche était de répondre à la présence et à l'absence de la cible. Les droitiers ont eu pour consigne d'appuyer avec leur main droite sur la touche jaune du clavier (touche « M ») quand ils détectaient la cible et avec leur main gauche sur la touche rouge (touche « Q ») si le stimulus ne comptait pas de cible. La couleur des touches était inversée pour les gauchers. Chaque participant débutait par un entraînement de vingt-deux essais. L'entraînement a été conçu de la même manière que la phase d'expérience, mais chacun des six blocs ne comptait que quatre essais. La consigne de l'entraînement était lue et expliquée aux enfants afin de prévenir leurs difficultés de lecture.

Avant de commencer la tâche, la consigne était rappelée, en expliquant les différences entre cette phase et l'entraînement. Puis commençait l'expérience avec les six blocs de 32 essais chacun. La séquence des évènements au cours d'un essai était la suivante : le stimulus était présenté au centre de l'écran jusqu'à la réponse motrice du participant, puis l'essai suivant était automatiquement lancé après un écran blanc de 500 ms. Entre chaque bloc une

période de repos de 15s était proposée, elle se terminait par 4s avec un écran blanc afin de prévenir les participants de la reprise des essais.

1.3. Résultats

Cette première expérience compte un facteur inter-sujets, le groupe d'âge de participants (A_5 : 7-8 ans, 9-10 ans, 11-12 ans, 13-14 ans et 19-35 ans). Deux facteurs intra-sujets ont été manipulés : le nombre de traits communs entre la cible et les distracteurs (T_2 : t0 ou t2) et le nombre d'items présentés (I_3 : 4, 16 ou 25). Pour chaque participant nous avons mesuré le pourcentage de réponse correcte (%RC) aux essais et le temps de réponse (TR). Ce TR brut a été filtré pour chaque participant à +/- 2,5 écart type de la moyenne spécifique à chacune des six situations expérimentales (T_2 x I_3), comme Gehardstein et Rovee-Collier (2002) l'ont fait dans leur expérience. Dans les analyses, le TR fait toujours référence au TR filtré. Un troisième indicateur, la pente, construit à partir des TR, a été calculé. Dans les conditions t0 et t2, cette pente correspond au coefficient directeur de la droite d'ajustement de la courbe représentant la variation du TR en fonction du nombre d'items.

Les analyses statistiques ont été menées avec la version 8.0 du logiciel Statistica, dans un premier temps sur les réponses positives, réponses à la présence de la cible, dans le but de mettre à l'épreuve nos hypothèses. Puis des analyses complémentaires concernant l'effet de la présence de la cible et l'effet du genre ont été réalisées.

1.3.1. Les résultats principaux : l'analyse des réponses positives

Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés aux effets de nos facteurs sur les réponses à la présence de la cible. Des analyses de variance ont été réalisées sur le %RC, sur le TR et la pente du TR. Les analyses statistiques sur le %RC et sur le TR ont été effectuées suivant le plan expérimental $S < A_5 > * T_2 * I_3$, et l'analyse sur la pente suivant le plan expérimental $S < A_5 > * T_2$. Des analyses de contraste ont été effectuées de façon complémentaire pour préciser les effets des analyses statistiques. Les différences significatives sont représentées sur les graphiques par une, deux ou trois étoiles en fonction du seuil de significativité : * quand $p<.05$, ** quand $p<.01$ et *** quand $p<.001$.

L'analyse de variance a montré un effet simple significatif du facteur groupe d'âge sur le %RC ($F(4,117)=7.2$; $p<.001$), sur le TR ($F(4,117)=81.6$; $p<.001$), et sur la pente ($F(4,117)=15.5$; $p<.001$). Le %RC augmentait, et le TR ainsi que la pente diminuaient avec l'âge. Les analyses de contraste ont précisé les différences de %RC, de TR et de pente entre chaque groupe d'âge, comme le montrent les étoiles de la figure 23. Le %RC augmentait significativement entre les enfants de 7-8 ans et les enfants de 9-10 ans, puis il atteignait un palier entre les enfants de 9-10 ans et les adolescents de 13-14 ans, et il augmentait de nouveau entre les adolescents de 13-14 ans et les adultes de 19-35 ans. Le TR diminuait significativement entre chaque groupe de 7-8 ans à 13-14 ans, le TR moyen des adolescents de 13-14 ans ne différant pas de celui des adultes de 13-35 ans. La pente diminuait significativement avec l'âge entre chaque groupe.

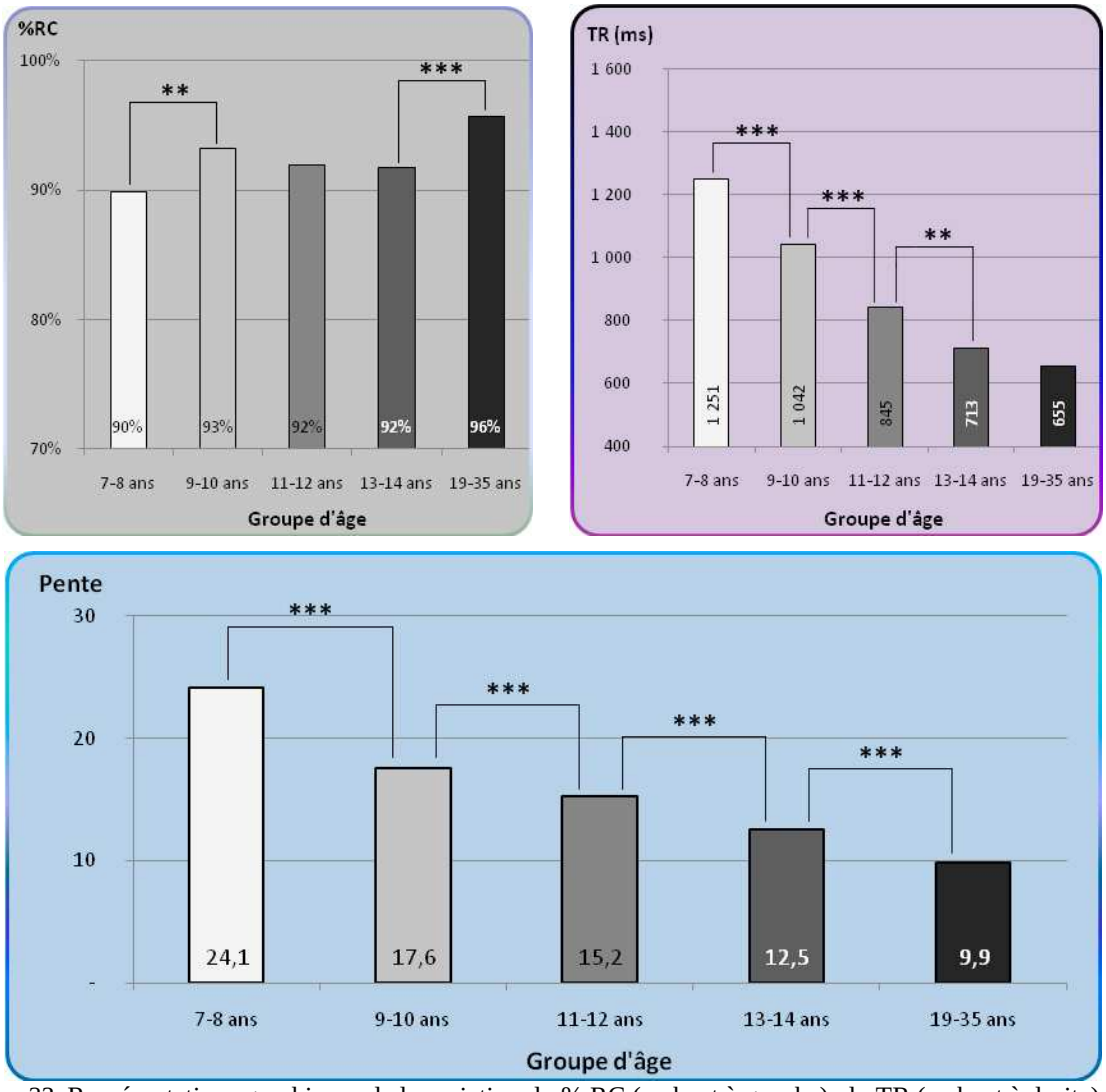


Figure 23. Représentations graphiques de la variation du % RC (en haut à gauche), du TR (en haut à droite) et de la pente (en bas) en fonction des groupes d'âge.

L’analyse de variance a montré un effet simple significatif du facteur nombre de traits communs entre la cible et les distracteurs sur le %RC ($F(1,117)=231.0$; $p<.001$), sur le TR ($F(1,117)=1056.1$; $p<.001$), et sur la pente ($F(1,117)=659.7$; $p<.001$). Le %RC diminuait, et le TR ainsi que la pente augmentaient avec le nombre de traits communs cible-distracteurs (figure 24).

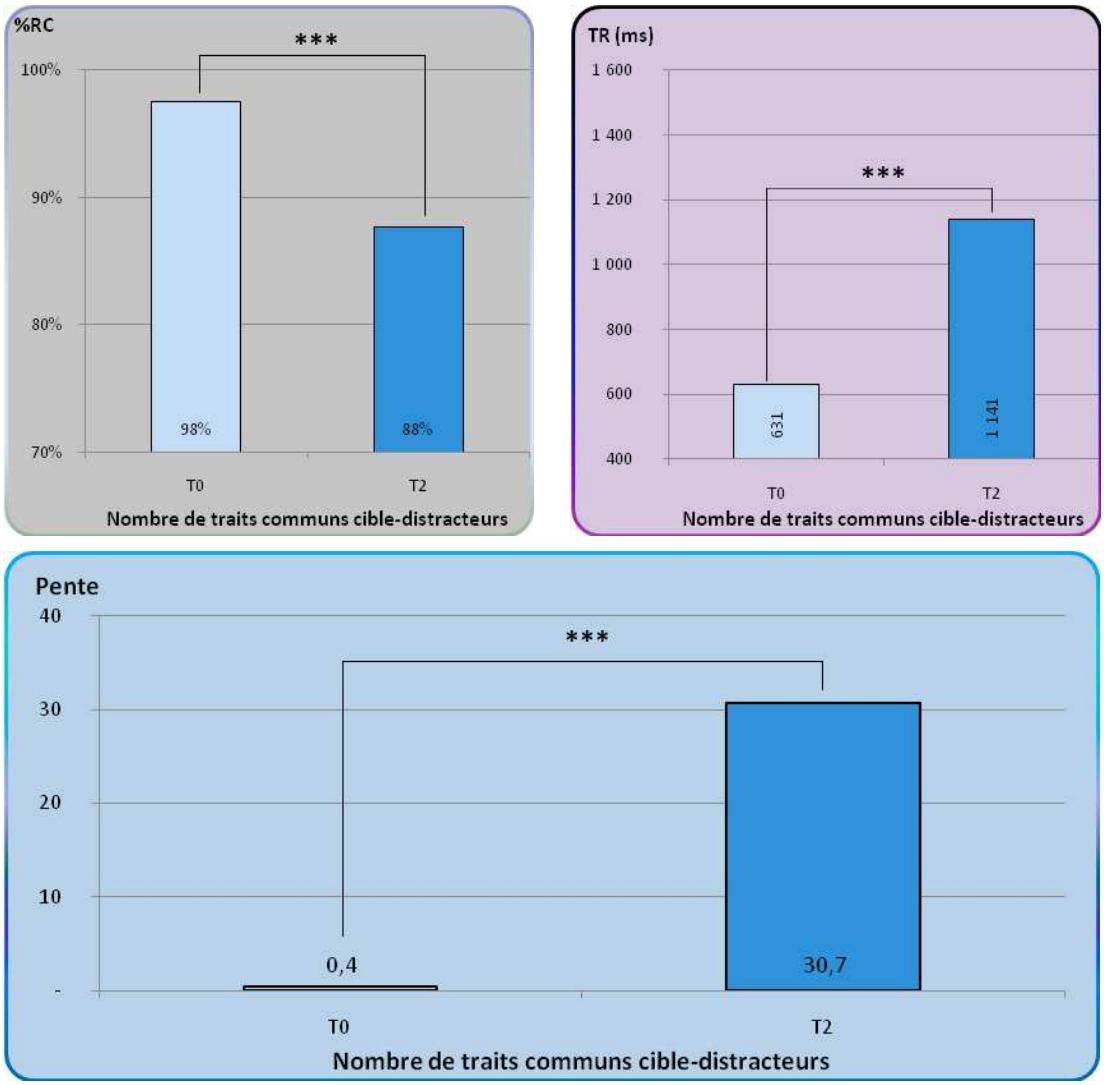


Figure 24. Représentations graphiques de la variation du % RC (en haut à gauche), du TR (en haut à droite) et de la pente (en bas) en fonction du nombre de traits communs entre la cible et les distracteurs.

L'analyse de variance a montré un effet simple significatif du facteur nombre d'items sur le %RC ($F(2,234)=97.2$; $p<.001$) et sur le TR ($F(2,234)=384.4$; $p<.001$). Le %RC diminuait et le TR augmentait avec le nombre d'items. Les analyses de contraste ont précisé les différences de %RC et de TR entre chaque nombre d'items, comme le montre la figure 25. Le %RC diminuait significativement d'une part entre et 16 items, et d'autre part entre 16 et 25 items. Et le TR augmentait significativement entre 4 et 16 items, ainsi qu'entre 16 et 25 items.

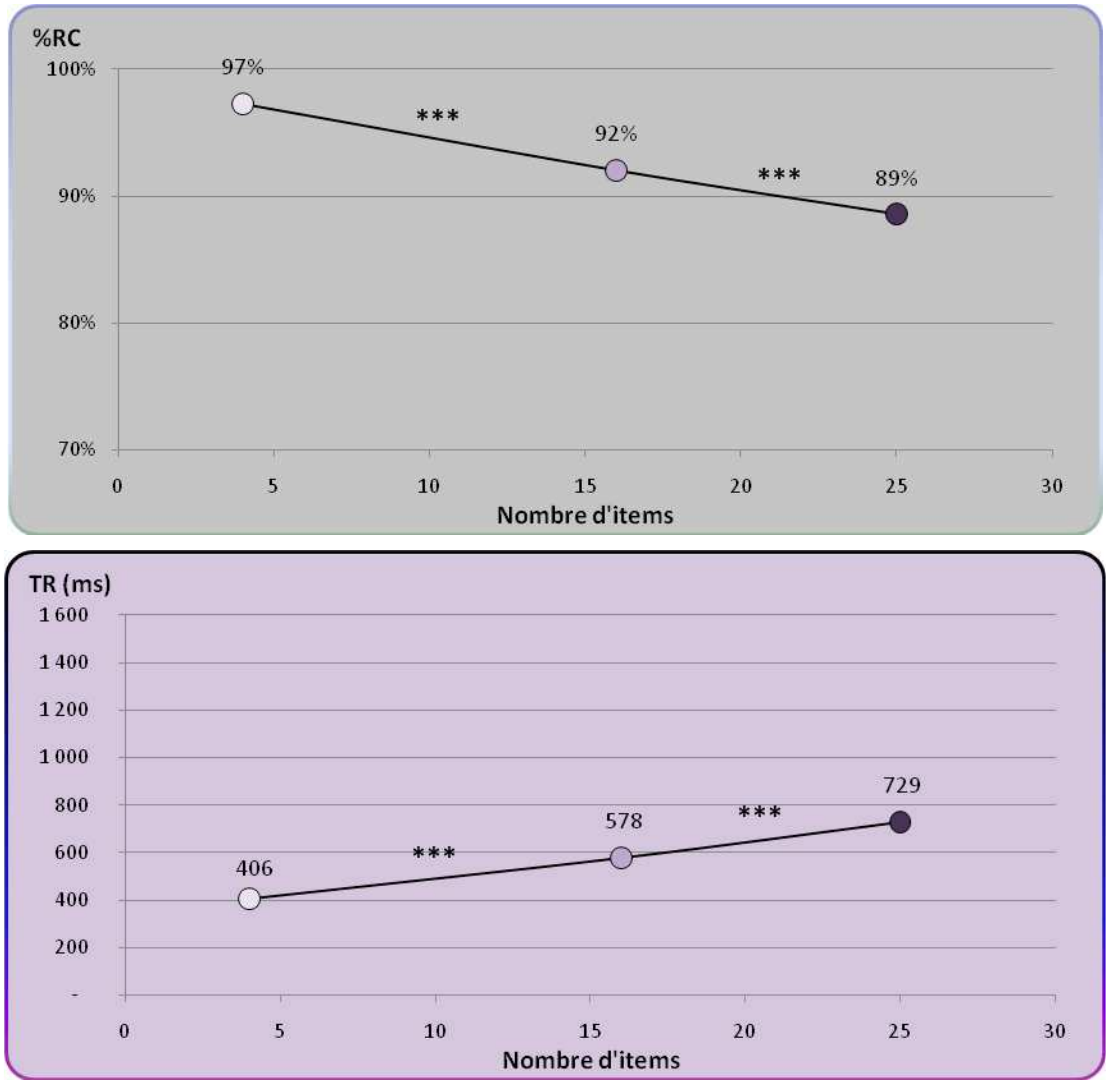


Figure 25. Représentations graphiques de la variation du % RC (en haut) et du TR (en bas) en fonction du nombre d'items.

L'analyse de variance a montré un effet d'interaction significatif entre le facteur nombre de traits communs cible-distracteurs et le facteur nombre d'items sur le %RC ($F(2,234)=96.0$; $p<.001$) et sur le TR ($F(2,234)=408.8$; $p<.001$). En effet, l'effet du nombre d'items sur le %RC et le TR n'était pas le même suivant le nombre de traits communs cible-distracteurs. Les analyses de contrastes ont précisé qu'en condition t0 le %RC et le TR ne différaient pas en fonction du nombre d'items, alors qu'en condition t2 le %RC diminuait et le TR augmentait significativement entre 4 et 16 items ainsi qu'entre 16 et 25 items (figure 26).

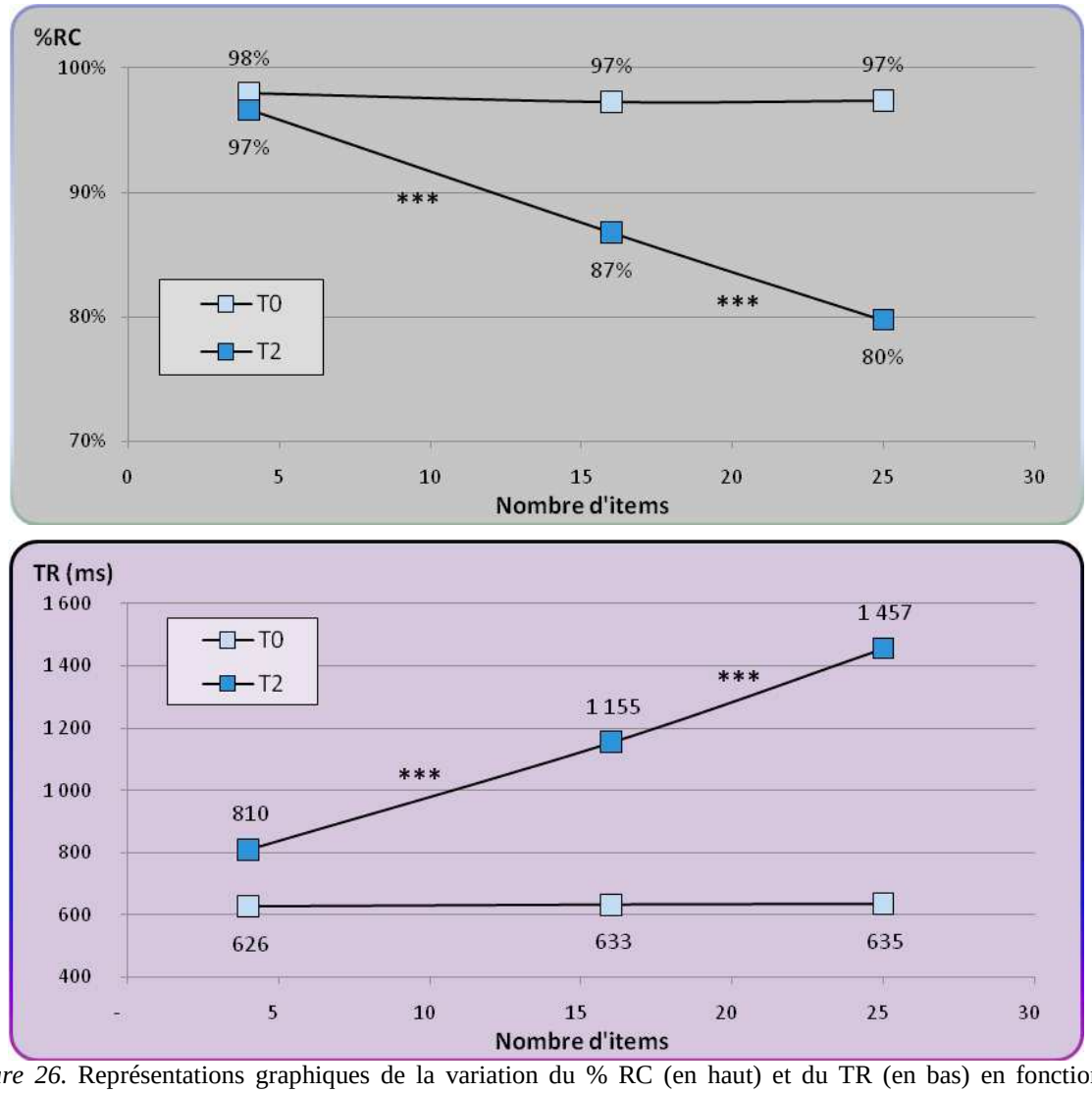


Figure 26. Représentations graphiques de la variation du % RC (en haut) et du TR (en bas) en fonction du facteur nombre de traits communs entre la cible et les distracterus et du facteur nombre d'items.

L'analyse de variance a montré un effet d'interaction significatif entre le facteur groupe d'âge et le facteur nombre d'items sur le %RC ($F(8,234)=3.0$; $p<.01$) et sur le TR ($F(8,234)=9.8$; $p<.001$). Les différences liées à l'âge sur le %RC et le TR n'étaient pas les mêmes en fonction du nombre d'items présentés. En effet, comme le montre les analyses de contraste représentées dans la figure 27, la diminution du taux d'erreurs et du TR avec l'avancée en âge étaient plus importantes quand le nombre d'items augmentait.

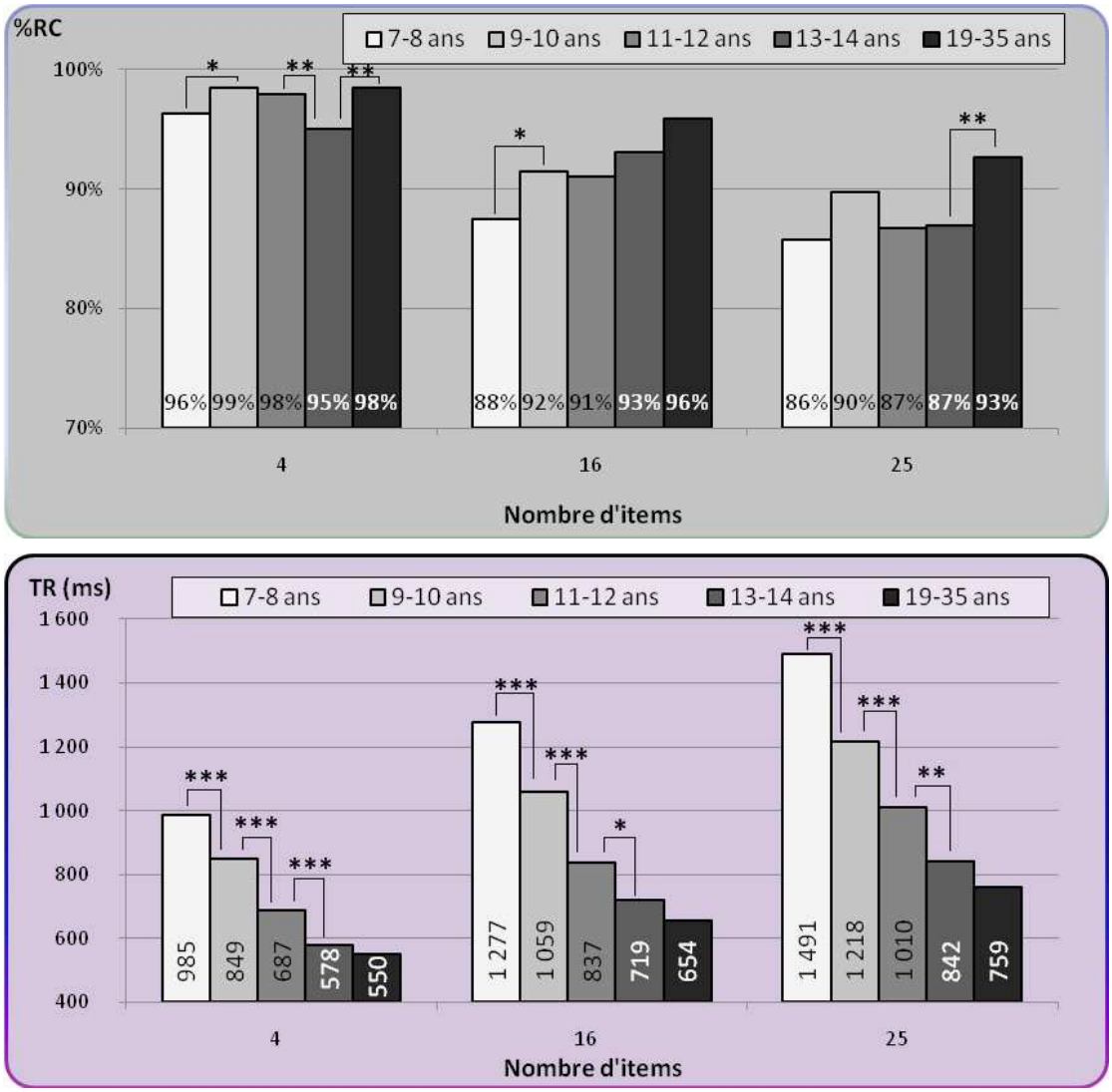


Figure 27. Représentations graphiques de la variation du % RC (en haut) et du TR (en bas) en fonction des groupes d'âge et du nombre d'items.

L’analyse de variance a montré un effet d’interaction significatif entre le facteur groupe d’âge et le facteur nombre de traits communs cible-distracteurs sur le %RC ($F(4,117)=5.2$; $p<.001$), sur le TR ($F(4,117)=41.2$; $p<.001$) et sur la pente ($F(4,117)=21.4$; $p<.001$). En effet, les analyses de contraste ont révélé une augmentation du %RC et une diminution du TR ainsi que de la pente avec l’avancée dans l’âge plus importantes en condition t2 qu’en condition t0 (figure 28). Le %RC augmentait significativement d’1% entre les enfants de 7-8 ans et les adultes de 19-35 ans en condition t0, alors qu’en condition t2 il augmentait significativement entre les enfants de 7-8 ans et les enfants de 9-10 ans, puis il atteignait un palier entre les enfants de 9-10 ans et les adolescents de 13-14 ans, et il augmentait de nouveau significativement entre les adolescents de 13-14 ans et les adultes de 19-35 ans. Le TR diminuait significativement entre chaque groupe d’âge entre les enfants de 7-8 ans et les adolescents de 13-14 ans, dans les conditions t0 et t2. Toutefois, cette diminution était significativement plus importante dans la condition t2. Concernant la pente, il n’y avait, dans la condition t0, aucune différence significative fonction du groupe d’âge, alors que dans la condition t2, la pente diminuait significativement entre les enfants de 7-8 ans et de 9-10 ans, puis entre les enfants de 7-8 ans et les adolescents de 13-14 ans, enfin entre les adolescents de 13-14 ans et les adultes de 19-35 ans une diminution tendancielle de la pente était observée.

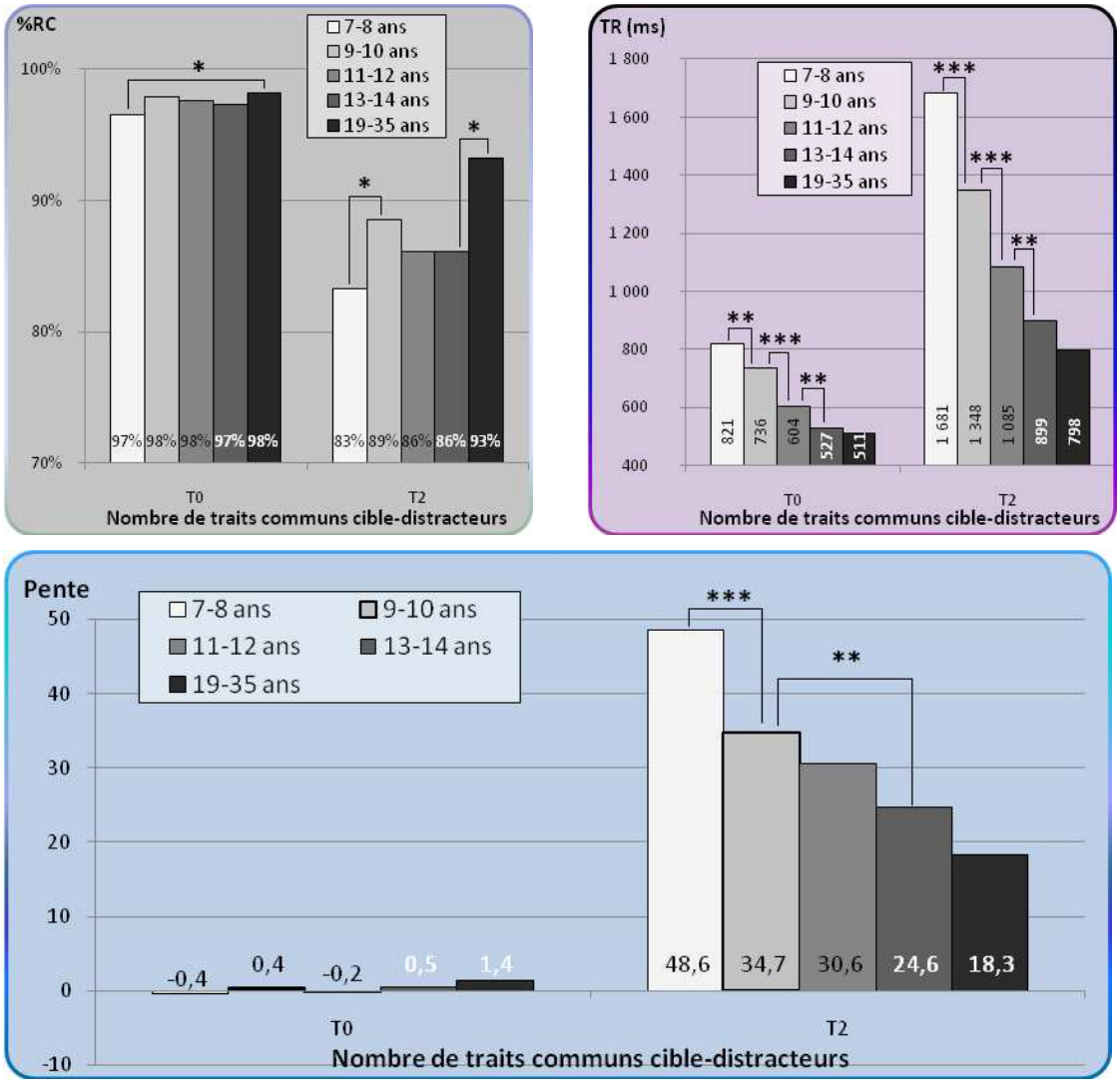


Figure 28. Représentations graphiques de la variation du % RC (en haut à gauche), du TR (en haut à droite) et de la pente (en bas) en fonction des groupes d'âge et du nombre de traits communs entre la cible et les distracteurs.

Enfin, l'analyse de variance a montré un effet d'interaction significatif entre le facteur groupe d'âge, le facteur nombre de traits communs entre la cible et les distracteurs et le facteur nombre d'items sur le %RC ($F(8,234)=3.4$; $p<.01$) et sur le TR ($F(8,234)=13.6$; $p<.001$). Pour les enfants de 7-8 ans et 9-10 ans, les adolescentes de 11-12 ans et de 13-14 ans ainsi que pour les adultes, le % RC et le TR dans la condition t0 ne différaient pas significativement en fonction du nombre d'items. Alors que dans la condition t2, le %RC diminuait et le TR augmentait avec le nombre d'items. Cet effet dans la condition t2 diminuait avec l'âge comme le montrent les figures 29 et 30.

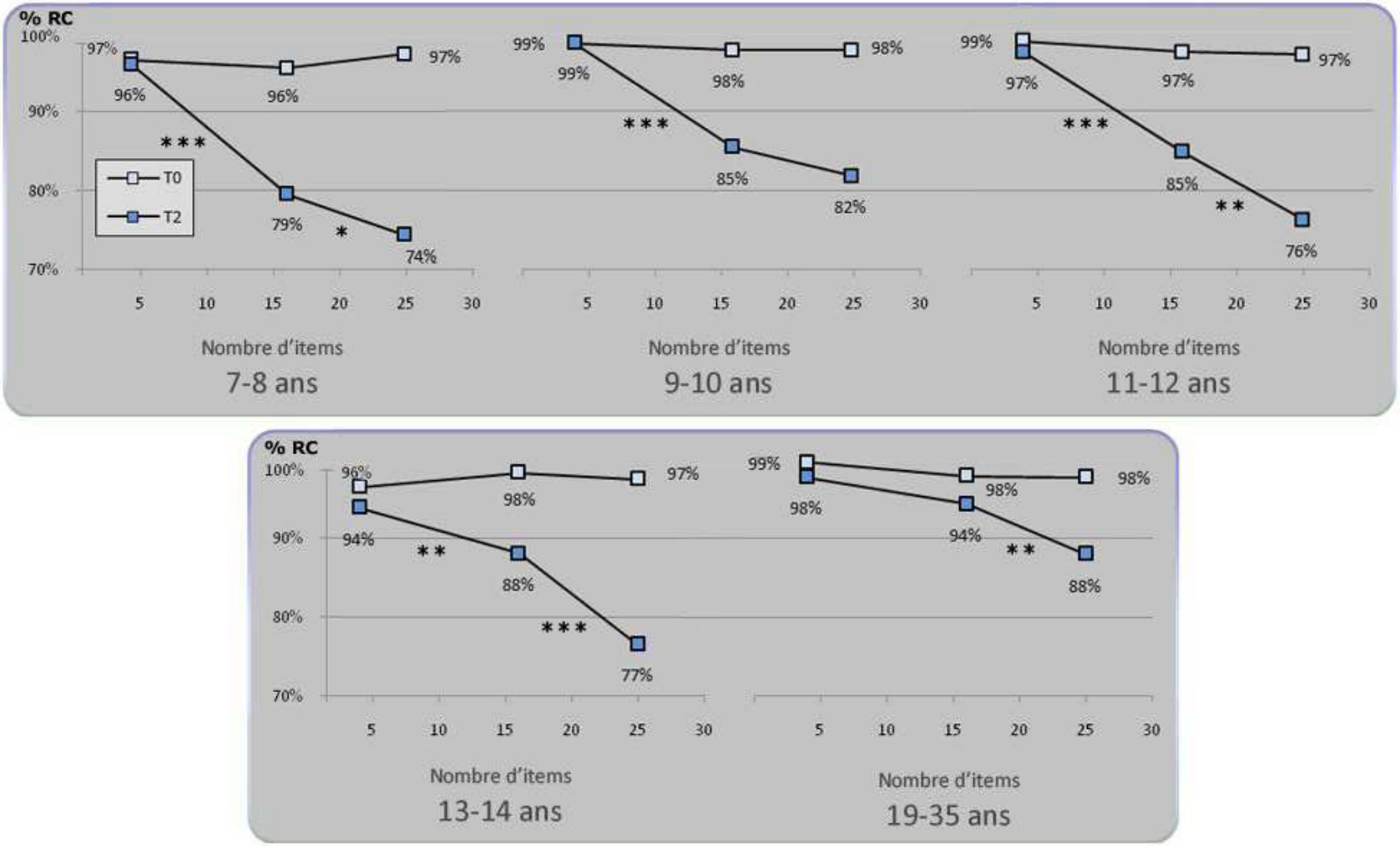


Figure 29. Représentation graphique de la variation du % RC en fonction des groupes d'âge, du nombre de traits communs cible-distracteurs et du nombre d'items.

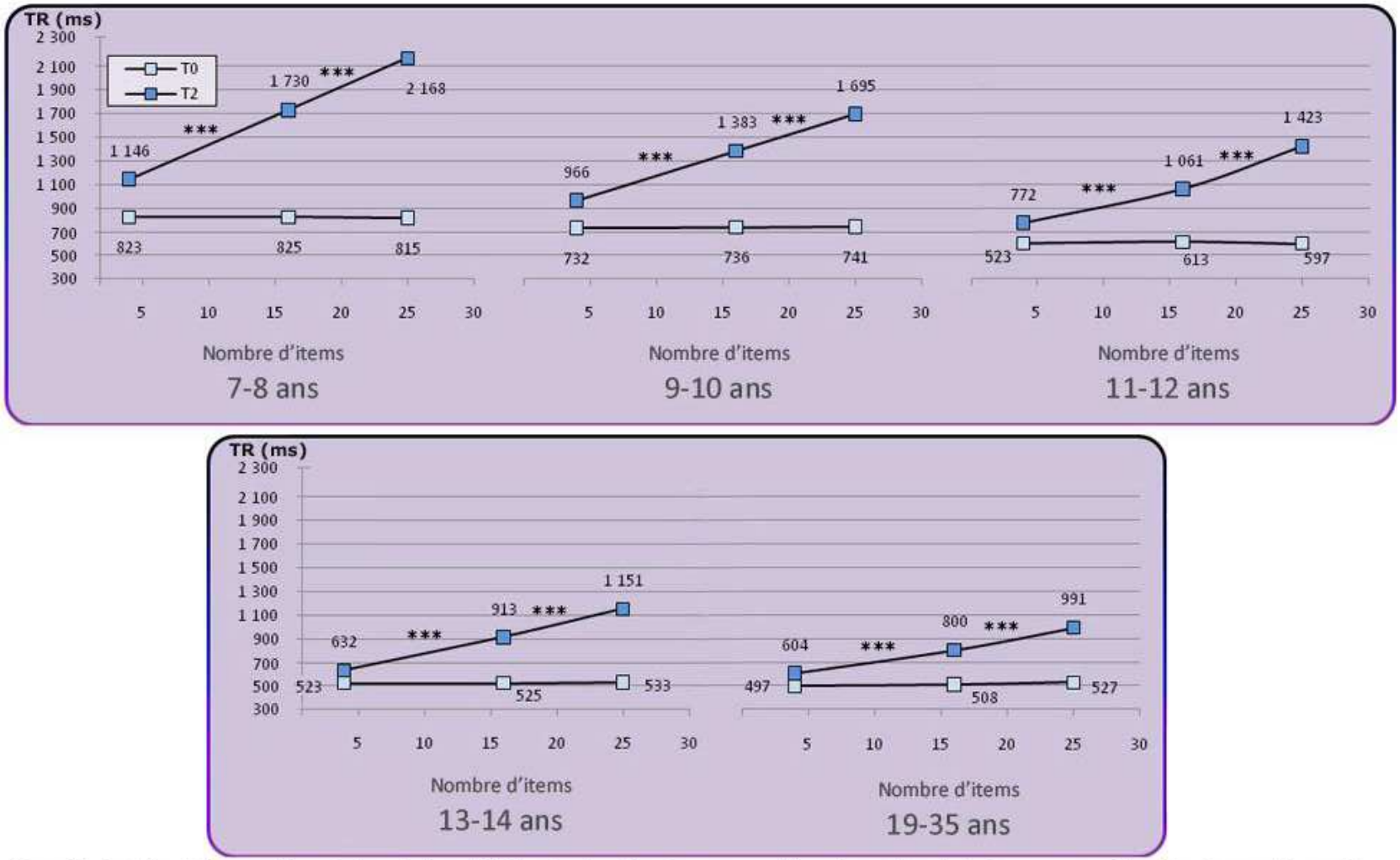


Figure 30. Représentation graphique de la variation du TR (ms) en fonction des groupes d'âge, du nombre de traits communs cible-distracteurs et du nombre d'items.

1.3.2. Les analyses complémentaires

1.3.2.1. Les réponses négatives

Une ANOVA a été réalisée pour étudier l'effet du facteur présence de la cible C_2 (présente et absente) et ses interactions avec les autres facteurs sur le %RC et le TR selon le plan expérimental $S < A_5 > * C_2 * T_2 * I_3$ et sur la pente selon le plan $S < A_5 > * C_2 * T_2$. Les résultats sont résumés dans le tableau 5.

Tableau 5. *Analyses de variance des effets simples et des effets d'interaction entre les facteurs C, A, T et I sur le %RC, le TR et la pente.*

	Analyses sur le %RC		**Analyses sur le TR**		**Analyses sur la pente**	
	F	**p**	**F**	**p**	**F**	**p**
C	281.9	p<.001	221.7	p<.001	229.2	p<.001
C x A	6.5	p<.001	4.1	p<.01	3.2	p<.05
C x T	233.7	p<.001	257.1	p<.001	202.1	p<.001
C x I	81.9	p<.001	147.5	p<.001	-	-
C x A x T	6.7	p<.001	2.7	p<.05	2.2	n.s.
C x A x I	1.8	p=.07	2.2	p<.05	-	-
C x T x I	83.4	p<.001	128.2	p<.001	-	-
C x A x T x I	2.8	p<.01	1.4	n.s.	-	-

Le tableau 5 montre des effets significatifs à chaque fois que le facteur C intervient. En effet, concernant le %RC, ceci est dû au fait que lorsque la cible était absente toutes les performances étaient au plafond quel que soit l'âge des participants, le nombre de traits communs cible-distracteurs et le nombre d'items, alors que lorsque la cible était présente le %RC était influencé par les autres facteurs. Concernant le TR, les effets significatifs présentés dans le tableau 5 s'expliquent par le fait que le groupe d'âge, le nombre de traits commun cible-distracteurs et le nombre d'items agissaient et interagissaient pour les réponses négatives dans le même sens pour les réponses positives. Simplement les effets sur le TR étaient plus importants lorsque la cible était absente. Toutefois, l'analyse de variance a révélé que l'effet d'interaction entre la présence de la cible, l'âge, le nombre de traits commun cible-distracteurs et le nombre d'items triple sur le TR et l'effet d'interaction entre la présence de la cible, l'âge

et le nombre de traits commun cible-distracteurs sur la pente étaient non significatifs. Ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que, certes le TR en fonction du nombre d'items et la pente étaient plus élevés lorsque la cible était absente, et ce d'autant plus que les participants étaient jeunes, pour autant les écarts, dans la condition t0 comme dans la condition t2, entre les performances de chaque groupe d'âge étaient les mêmes que la cible fût présente ou non.

1.3.2.2. L'effet du genre

Le groupe des enfants de 7-8 ans présentait une répartition inégale du genre des participants. Nous avons voulu vérifier l'effet de cette variable (G_2 : masculin et féminin) sur les résultats de l'ensemble des participants (tableau 6). L'analyse de variance suivait le plan expérimental $S < A_5 * G_2 > * T_2 * I_3$ pour le %RC et le TR, et $S < A_5 * G_2 > * T_2$ pour la pente. Comme le montrent le tableau 6, aucun effet lié au genre significatif n'a été révélé par ces analyses. L'inégalité de la répartition en genre des enfants de 7-8 ans n'a donc pas influencé les résultats, et le genre n'avait aucun effet sur les performances des participants à cette tâche.

Tableau 6. *Analyses de variance chez l'ensemble des participants de l'effet simple du genre et des effets de son intéraction avec T et I sur le %RC, le TR et la pente.*

	Analyses sur le %RC		**Analyses sur le TR**		**Analyses sur la pente**	
	F	**p**	**F**	**p**	**F**	**p**
G	0.0	n.s.	1.2	n.s.	2.1	n.s.
G x A	0.1	n.s.	0.4	n.s.	0.3	n.s.
G x T	0.8	n.s.	1.9	n.s.	0.3	n.s.
G x I	0.2	n.s.	1.3	n.s.	-	-
G x A x T	0.4	n.s.	0.6	n.s.	0.5	n.s.
G x A x I	0.3	n.s.	0.3	n.s.	-	-
G x T x I	0.0	n.s.	0.3	n.s.	-	-
G x A x T x I	0.3	n.s.	0.4	n.s.	-	-

1.4. Discussion

Dans cette première expérience, l'objectif était d'étudier la dissociation entre les processus attentionnels automatiques et contrôlés dans une tâche de détection de stimuli visuels simples. Avec une adaptation du paradigme de recherche visuelle développé par Treisman et Gelade (1980), nous avons pu distinguer les processus de recherche parallèle, dits automatiques, des processus de recherche sérielle ayant un caractère plus contrôlé. Du point de vue du développement avec l'âge de ces processus, les chercheurs dans le domaine s'accordent à dire que les processus de recherche parallèle sont mis en place et sont efficaces très tôt après la naissance (Alder & Orprecio, 2006 ; Gehardstein & Rovee-Collier, 2002). Concernant les processus de recherche sérielle par contre il n'y a pas de consensus. En effet, d'un côté, Garrad-Cole et al. (2011) ont trouvé une amélioration avec l'âge uniquement de la vitesse de traitement, sans amélioration au niveau attentionnel. Dans leur étude, dès 7 ans, les enfants avaient des processus de recherche sérielle matures. Et d'un autre côté, Lobaugh et al. (1998) ont trouvé une amélioration tendancielle avec l'âge des performances attentionnelles. Selon leur étude, la maturation des processus de recherche sérielle s'achèverait entre 7 ans et l'âge adulte. L'expérience 1 de cette thèse a été conçue dans le but de répondre à ce débat de la littérature. Pour y parvenir, nous avons cherché à déterminer s'il y avait une amélioration des processus de recherche sérielle entre 7 ans et l'âge adulte.

Dans un premier temps, examinons l'effet classique du paradigme de recherche visuelle. Cet effet est lié à une plus grande efficacité de l'attention sélective dans une recherche visuelle en mode parallèle qu'en mode sériel (Treisman & Gelade, 1980). Les résultats ont montré une perturbation des performances par le nombre d'items uniquement lorsque la cible était une conjonction des traits des distracteurs, et non quand la cible ne partageait aucun attribut avec eux. Dans la condition t0, la cible était détectée quasiment systématiquement et très rapidement, sa détection n'était pas perturbée par le nombre d'items. Ceci suggère que la cible sautait aux yeux tel un effet *pop-out* et que la cible était recherchée de façon parallèle. Dans la condition t2, la détection de la cible était perturbée par le nombre d'items. Ceci peut s'expliquer avec la théorie du projecteur attentionnel selon laquelle dans cette situation, l'attention du participant se déplace d'un objet à l'autre jusqu'à ce qu'il trouve la cible, suggérant ainsi la mise en place de processus de recherche sérielle. Notre adaptation reproduit bien l'effet classique du paradigme de recherche visuelle de Treisman et Gelade (1980) chez

l'adulte, en permettant la distinction entre les processus de recherche parallèle dits automatiques, et les processus de recherche sérielle dits contrôlés.

Par ailleurs, nous avons effectué des analyses complémentaires pour regarder l'effet de l'âge, du nombre de traits communs cible-distracteurs et du nombre d'items sur les réponses à l'absence de la cible. Les résultats ont montré que les TR et la pente étaient perturbés par ces facteurs, alors que ces facteurs n'avaient aucune influence sur le %RC. Ceci peut être interprété selon le modèle de Chun et Wolfe (1996) qui prédit que si le participant répond vite et qu'il se trompe c'est parce qu'il n'a pas assez fait de vérification. Dans notre cas, les participants ont pris le temps de faire de la vérification puisqu'on voit une perturbation du TR, et celle-ci a été réalisée efficacement puisque le %RC est au plafond. De plus, le plus jeune de nos groupes de participants présentant un déséquilibre au niveau de la répartition du genre, nous avons voulu vérifier l'incidence de ce facteur sur les résultats. Les analyses ont révélé que le genre des participants n'avait aucun effet sur les performances attentionnelles en jeu dans cette tâche comme l'étude de Klenberg et al., (2001) le prédisait.

Sur la question du développement, nous avons pu vérifier notre première hypothèse portant sur une diminution globale du TR avec l'âge. Nos résultats reflètent en effet une amélioration globale de la vitesse de traitement liée à une maturation générale des processus cognitifs (moteurs, perceptifs, attentionnels et mnésiques) comme l'explique l'étude de Hale (1990). De plus, nous nous attendions à une dissociation entre les processus automatiques et les processus contrôlés de l'attention sélective. Concernant les processus de recherche parallèle, conformément aux études d'Alder et Orprecio (2006) et de Gerhardstein et Rovee-Collier (2002), ils devraient être présents dès le plus jeune de nos groupes d'âge, et leur développement devrait s'accompagner uniquement par une amélioration de la vitesse de traitement, les processus de recherche parallèle étant déjà qualitativement présents dès les premiers mois suivant la naissance. Nos résultats ont montré peu de différences liées à l'âge sur le %RC en condition t0, les participants ont détecté quasiment systématiquement la cible. Par contre, le TR s'améliorait significativement avec l'avancée en âge, ce qui valide la première partie de notre hypothèse sur le gain en vitesse de traitement avec le développement. Concernant la pente du TR, les résultats n'ont révélé aucune différence liée à l'âge dans la condition t0. Ceci suggère que les processus parallèles étaient efficaces chez tous nos groupes de participants, et permet de valider notre seconde hypothèse. Notre dernière hypothèse portait sur la maturation progressive des processus de recherche sérielle entre 8 ans et

l’adolescence, comme le suggère l’étude de Lobaugh et al. (1998). Les résultats dans la condition t2 ont montré que les enfants et les adolescents avaient plus de difficultés à détecter correctement la cible que les adultes. On a observé comme c’était déjà le cas pour la condition t0 une diminution de la vitesse de traitement avec l’âge. Mais surtout, l’analyse de la pente a révélé des différences entre les groupes d’âge. Ce résultat suggère une amélioration progressive des processus de recherche sérielle au cours de l’enfance et l’adolescence. De plus, les résultats ont montré une différence tendancielle de la pente entre les adolescents de 13-14 ans et les adultes de 19-35 ans, ce qui suggère une maturation aux alentours de 14 ans des processus de recherche sérielle. Nos résultats vont dans le sens d’une dissociation développementale entre les processus automatiques et contrôlés de l’attention sélective visuelle concernant un bas niveau de traitement de stimuli visuels simples par le système attentionnel.

2. Etude comportementale du développement des processus d'attention sélective visuelle en jeu lors de l'analyse sémantique de scènes visuelles complexes chez des enfants de 7 ans à l'âge adulte (Expérience 2)

2.1. Problématique et hypothèses

L'objectif de cette expérience était d'étudier si la dissociation du développement des processus attentionnels automatiques et contrôlés qu'on a trouvé à un bas niveau de traitement (Expérience 1) existait également lors de traitement de plus haut niveau. Nous pensions retrouver cette dissociation développementale dans une tâche impliquant des traitements attentionnels de plus haut niveau, comme ceux mis en jeu dans l'exploration d'une scène visuelle avec le paradigme de cécité au changement (Rensink et al., 1997). Cette tâche permet de rendre compte de l'influence des priorités sémantiques sur l'exploration d'une scène visuelle. Fletcher-Watson et al. (2009) ont montré que les enfants avaient les mêmes priorités sémantiques que les adultes, mais que leur exploration de la scène était beaucoup plus sensibles à ces priorités. Leurs résultats ont révélé des différences dans le bénéfice de la priorité sémantique entre les enfants de 6 ans et les adultes. Cependant ils n'ont pas précisé par des analyses complémentaires, à partir de quel âge cette sensibilité sémantique égalait celle des adultes. Néanmoins, les résultats suggèrent une maturation à 10 ans des processus attentionnels de détection de changement. Cette exploration relève de processus contrôlés de l'attention, l'individu devant déplacer volontairement son focus attentionnel parmi les éléments de la scène visuelle pour détecter l'élément changeant. Nous avons proposé une modification du paradigme original en manipulant la procédure d'un essai, afin que la détection du changement ne soit plus guidée volontairement par l'individu mais que cette détection soit effectuée de façon automatique. Dans cette tâche où il faut détecter un changement entre deux images, un essai est classiquement composé d'une image d'origine et d'une image modifiée qui alternent entre elles, et qui sont entrecoupées par un masque. Dans notre expérience, comme dans le paradigme original, la présence du masque (procédure discontinue) impliquait une interruption dans l'exploration de la scène et donc une recherche orientée volontairement par le participant, suggérant la mise en œuvre de processus

attentionnels contrôlés. Nous avons choisi de modifier cette procédure pour en créer une seconde, dans laquelle le masque est supprimé (procédure continue). De cette manière avec la continuité dans la présentation des deux images, le changement sautait aux yeux du participant, tel un effet *pop-out*, impliquant alors des processus attentionnels automatiques.

Trois hypothèses ont été formulées pour cette expérience. Tout d'abord, nous avons fait l'hypothèse d'une amélioration des performances de détection du changement avec l'âge, conformément aux résultats de Shore et al. (2006). Concernant la seconde hypothèse du développement des processus automatiques de l'attention, nous pensions qu'un effet *pop-out* serait déjà présent chez les enfants les plus jeunes, en accord avec les résultats de Gerhardstein et Rovee-Collier (2002). Cette hypothèse devrait se traduire par une vitesse de détection et des taux de réponses correctes non perturbés par les priorités sémantiques lors d'une présentation continue de la scène. Enfin, notre troisième hypothèse, sur la maturation des processus contrôlés de l'attention, allait dans le sens d'une diminution avec l'âge des effets de priorité sémantique lors d'exploration de scène dirigée volontairement, en accord avec les travaux de Fletcher-Watson et al. (2009), et d'une maturation des processus contrôlés de l'attention à 10 ans, comme le suggèrent les travaux de Fletcher-Watson et al. (2009) et de Shore et al. (2006). Autrement-dit, lors d'une présentation de scène discontinue, on s'attendait d'une part à un bénéfice de l'importance sémantique du changement, ce bénéfice diminuant avec l'âge des participants, et d'autre part, à ce que les enfants de 10 ans soient aussi performants que les adultes à détecter le changement dans cette procédure.

2.2. Méthode

2.2.1. Participants

Les participants se répartissaient en trois groupes : des enfants de 7-8 ans, des enfants de 9-10 ans et des adultes de 18-27 ans. Le recrutement de quarante-six enfants s'est effectué dans la classe de CE1 et celle de CM1 de l'école primaire bordelaise Centre 1, après avoir obtenu l'accord de la direction de l'école, de l'enfant et la signature d'un consentement par les parents. Les jeunes adultes étaient en majorité des étudiants en psychologie de l'université Bordeaux 2.

Le recrutement des enfants étant effectué dans des classes scolaires, le nombre de participants enfants était encore dépendant du nombre d'élèves par classe. Comme pour

l'expérience 1, nous avons choisi de faire passer l'ensemble des élèves d'une même classe, et de ne pas arrêter le recrutement après un nombre précis d'élèves afin de ne pas dévaloriser les élèves qui n'auraient pas passé l'expérience. De plus, plutôt que de réduire nos effectifs par groupe d'âge dans le but d'harmoniser le nombre de participants par groupe, nous avons préféré conserver des effectifs par groupe différents dans le but de ne pas réduire notre puissance statistique. Les participants étaient soumis aux mêmes critères d'inclusion que ceux de l'expérience 1, à savoir : une vue normale ou corrigée à la normale, l'absence de trouble cognitif et moteur, la non consommation de psychotrope et drogue et une nuit d'au moins 7h de sommeil la veille. Nous avons également veillé à ce qu'aucun participant ne présente de trouble épileptique par précaution, au vu de la rapidité de présentation des stimuli. Tous les participants répondaient à ces critères. Une enfant n'a cependant pas été prise en compte dans les statistiques car elle était en retard d'une classe par rapport à son âge. Nous avons fait ce choix afin d'éviter, comme dans l'expérience 1, toute inclusion d'enfant ayant une attention ou une cognition potentiellement pathologique non dépistée. Les caractéristiques des soixante-seize participants inclus dans les analyses statistiques sont présentées dans le tableau 7.

Tableau 7. *Caractéristiques des participants de l'expérience 2.*

Groupe	**N**	**Age**				**Genre** ♂/♀	**Latéralisation droite/gauche**
		moyenne	**écart type**	**borne <**	**borne >**		
7-8 ans	20	7.9 ans	0.4 ans	7.4 ans	8.9 ans	16/4	15/5
9-10 ans	25	9.8 ans	0.3 ans	9.3 ans	10.3 ans	13/12	21/3
18-27 ans	31	22.2 ans	3.1 ans	18.1 ans	27.9 ans	11/20	26/5
Total	76	14.4 ans	6.9 ans	7.4 ans	27.9 ans	40/36	62/13

La dispersion en âge des groupes d'enfants était beaucoup plus réduite que celle du groupe des adultes, puisque nous avons constitué un groupe d'adultes jeunes et non ciblé sur un âge précis. D'autre part, la répartition en genre des participants n'était pas la même dans les groupes. Alors qu'elle était équilibrée pour les enfants de 9-10 ans, elle était déséquilibrée en faveur des garçons pour les enfants de 7-8 ans et en faveur des femmes pour les jeunes adultes. Nous avons négligé ce facteur car l'étude de Klenberg et al. (2001) a montré que le genre n'avait plus d'effet sur les processus attentionnels à partir de 5 ans. Ne s'agissant tout

de même pas de la même tâche d'attention, l'effet de ce facteur a toutefois été analysé après coup. Enfin notre échantillon était constitué d'une majorité de droitiers dans chaque groupe.

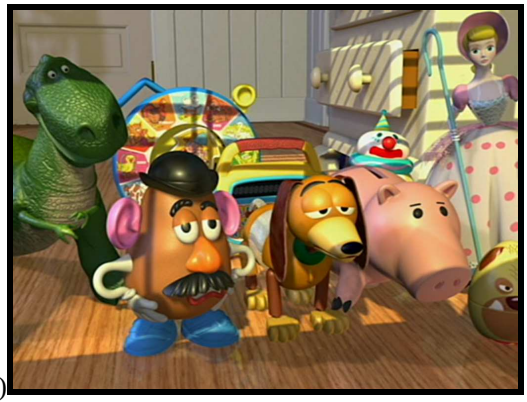
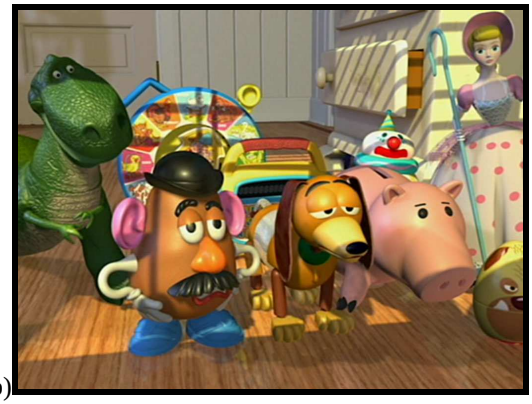
2.2.2. Matériel

La tâche s'adressant à des enfants, nous avons choisi d'utiliser des images de dessins animés pour rendre la passation de l'expérience plus ludique. Elles offrent en outre plus de facilité pour être retouchée afin de créer l'image modifiée. Le matériel expérimental était composé de 176 images au format 1024x768 pixels: 88 images originales et les mêmes 88 images contenant une modification. En effet, dans chacune des images originales un élément de la scène a été supprimé avec le logiciel Adobe Photoshop 7.0 pour créer un nouvelle version de cette image. Il s'agissait plus précisément d'une partie d'un élément de la scène, et non d'un élément entier dans le but de pouvoir porter le changement sur des éléments de superficie comparable. La variable intérêt du changement étant manipulée, le changement entre les deux versions portait pour une moitié des images sur un élément de la scène sémantiquement central de la scène (figure 31), et pour l'autre moitié sur un élément sémantiquement marginal (figure 32). La variable catégorie du changement a été contrôlée, ainsi le changement portait aussi bien sur un personnage de la scène que sur un objet inanimé. L'intégralité des images sont présentée en format réduit dans l'annexe 2.

(a) (b)

(c) (d)

Figure 31. Exemples de changements sémantiquement centraux entre la version originale (a et c) et la version modifiée (b et d) d'une scène. La différence entre les images a et b est la disparition du dessin du carnet, entre les images c et d il s'agit de la disparition de la partie supérieure de la nageoire de la sirène.

(a)  (b) 

(c) (d)

Figure 32. Exemples de changements sémantiquement marginaux entre la version originale (a et c) et la version modifiée (b et d) d'une scène. La différence entre les images a et b est la disparition de la poignée du tiroir, et entre les images c et d il s'agit de la disparition de l'aile de la fée.

Un critère pour le choix des 88 images d'origine a été la présence d'un contexte scénique. Les scènes étaient variées puisque quarante-neuf images représentaient des scènes avec peu de personnage (1, 2 ou 3), et les trente-neuf autres comptent plus de trois personnages. Les éléments centraux des images étaient pour quarante-deux scènes des personnages et pour quarante-six scènes des personnages et des objets. Il s'agissait de scènes provenant de quarante-neuf dessins animés célèbres différents. Cependant certaines scènes d'un même univers de dessins animés ont été reprises dans plusieurs images, mettant en scène les mêmes personnages mais dans des contextes différents. C'était le cas par exemple pour les diverses aventures de Tintin. Dans ce cas précis, le changement ne portait jamais sur le même élément de la scène. Ainsi, l'univers de dix-sept dessins animés était retrouvé par deux fois dans le matériel, cinq dessins animés était repris trois fois, et trois dessins animés était utilisé plus de trois fois.

L'attribution de l'intérêt sémantique du changement a été réalisée avec la méthode des juges lors d'un pré-test du matériel. En effet, un expert en psychologie cognitive de la vision extérieur à l'étude et une personne vierge de toute connaissance dans le domaine ont accepté

de décrire chaque image en une phrase. Les descriptions des deux juges concordaient et nous permis de déterminer les éléments décris par eux comme étant centraux dans la scène et les autres comme étant d'intérêt marginal.

Pour cette expérience deux ordinateurs ont été utilisés pour les passations expérimentales. Le même ordinateur portable que celui de l'expérience 1 a été utilisé pour les passations à l'école primaire. L'ordinateur servant pour les passations des adultes était un Pentium 4 ayant un écran 17 pouces, une carte graphique Rage 128 Pro II, une résolution graphique de 800x600 pixels et une fréquence de balayage de 60 Hz.

2.2.3. Procédure

L'expérience adaptée du paradigme de Rensink et al. (1997) a été programmée avec le logiciel E Prime. Un essai débutait par l'apparition d'une croix de fixation au centre de l'écran. Puis par une présentation rapide d'images, les deux versions d'une même scène alternaient en boucle jusqu'à la réponse du participant. Chaque image (originale comme modifiée) apparaissait durant 233 ms en étant suivi d'un masque gris de 83 ms. La présentation de l'image originale suivie d'un masque puis de l'image modifiée et d'un second masque constitue une itération suivant les auteurs de ce paradigme.

Deux procédures ont été utilisées dans notre expérience. La première, la procédure discontinue, correspondait à celle utilisée par Rensink et al. (1997), c'est-à-dire qu'elle consistait en l'alternance des deux versions d'une même image dont chacune d'elle était suivie par un masque, un fond gris moyen. Et dans la seconde procédure, la procédure continue, aucun masque n'était présenté. Autrement-dit, alors que dans le premier cas il y avait une interruption dans la présentation d'une scène, dans la seconde situation les deux versions d'une même scène étaient présentées de façon continue.

La tâche des participants consistait à indiquer quel était le changement entre les deux versions de l'image, en appuyant sur la barre espace du clavier avec leur main favorite, le plus rapidement possible après avoir détecté le changement. L'expérimentateur devait ensuite coter en juste ou faux la réponse du participant en appuyant sur les touches 1 ou 0 d'un pavé numérique externe. Les participants avaient un temps limite de réponse correspondant à 40 itérations, soit 19.2 s pour un essai de la procédure continue et 22.4 s pour un essai de la procédure discontinue.

Les quatre-vingt essais de l'expérience ont été organisés en quatre blocs expérimentaux de vingt essais chacun, avec deux blocs par procédure (soit deux blocs consécutifs de la procédure discontinue et deux autres blocs consécutifs de la procédure continue). Seule la moitié des participants avait commencé par les deux blocs de la procédure continue et terminé par ceux de la procédure discontinue. Entre chaque bloc, une pause était proposée au participant jusqu'à ce qu'il soit prêt à continuer. Les blocs 1 et 3, correspondant à la première mise en situation du participant avec l'une des deux procédures, débutaient par l'affichage de la consigne spécifique à la procédure concernée. Les participants adultes devaient la lire eux-mêmes et elle était lue aux enfants. Puis quatre essais d'entraînement étaient proposés aux participants, ils comprenaient deux changements sémantiquement centraux (l'un sur un objet et l'autre sur un personnage) et deux changements sémantiquement marginaux (sur un objet et sur un personnage). A la fin de l'entraînement, la consigne était rappelée, puis les deux fois vingt essais expérimentaux de la procédure concernée étaient réalisés.

Les images ont été réparties dans les blocs de façon pseudo aléatoire, en évitant que deux images d'un même dessin animé se retrouvent dans un même bloc ou avec la même procédure. Les essais à l'intérieur d'un bloc étaient tirés aléatoirement. Les images associées à la procédure continue pour une moitié de participants étaient associés à l'autre procédure pour la seconde moitié des participants.

Durant la passation individuelle de l'épreuve informatisée, chaque participant était placé à approximativement à 60 cm de l'écran durant environ 45 minutes. Les enfants ont passé cette épreuve dans une salle de l'école Centre 1 que la direction avait mise à disposition. Les passations expérimentales des adultes se sont déroulées dans une salle de l'université Bordeaux 2 dédiée à l'expérimentation.

2.3. Résultats

Dans cette expérience nous avions trois groupes d'âge de participants (A_3 : 7-8 ans, 9-10 ans et 18-27 ans) et nous avons manipulé les variables intérêt du changement (I_2 : central ou marginal) et procédure (P_2 : continue ou discontinue). Pour chaque participant nous avons mesuré le pourcentage de réponse correcte (%RC) aux essais et le nombre d'itérations nécessaire aux participants pour détecter le changement. Puis le nombre d'itérations a été filtré sur les RC pour les analyses qui sont présentées ici.

2.3.1. Les résultats principaux

Des analyses de variance ont été réalisées sur le nombre d'itérations et sur le %RC avec la version 8.0 du logiciel Statistica. Concernant le nombre d'itérations, l'analyse statistique a été effectuée suivant le plan expérimental $S < A_3 > * I_2 * P_2$. Sur %RC tous les participants étant au plafond de performance pour détecter un changement central lors de la procédure continue, il n'y avait donc pas de variance dans cette situation. Par conséquent, il était impossible de faire une ANOVA avec un plan expérimental tenant compte à la fois de l'effet de la procédure et de l'intérêt du changement. Deux ANOVA distinctes ont donc été réalisées sur le %RC en fonction des plans expérimentaux $S < A_3 > * P_2$ et $S < A_3 > * I_2$. Aucune analyse statistique n'a pu être réalisée pour rendre compte de l'effet d'interaction simple entre la procédure et l'intérêt sémantique du changement, ni pour l'effet d'interaction entre les trois facteurs sur cette variable dépendante. Dans ces deux derniers cas, une analyse purement descriptive a été proposée. De façon complémentaire aux analyses de variance, des analyses de contraste ont été effectuées pour préciser les différences statistiques lors d'effet significatif. Les différences significatives sont représentées sur les graphiques par une, deux ou trois étoiles en fonction du seuil de significativité : * quand $p<.05$, ** quand $p<.01$ et *** quand $p<.001$.

Les résultats ont montré un effet simple significatif du facteur groupe d'âge sur le nombre d'itérations ($F(2,73)=13.5$; $p<.001$) et sur le %RC ($F(2,73)=22.6$; $p<.001$). Le %RC augmentait, et le nombre d'itérations diminuait avec l'âge. Les analyses de contraste ont montré que le nombre d'itérations diminuait significativement et que le %RC augmentait significativement avec l'avancé en âge entre chacun des groupes d'âge, comme indiqué sur la figure 33.

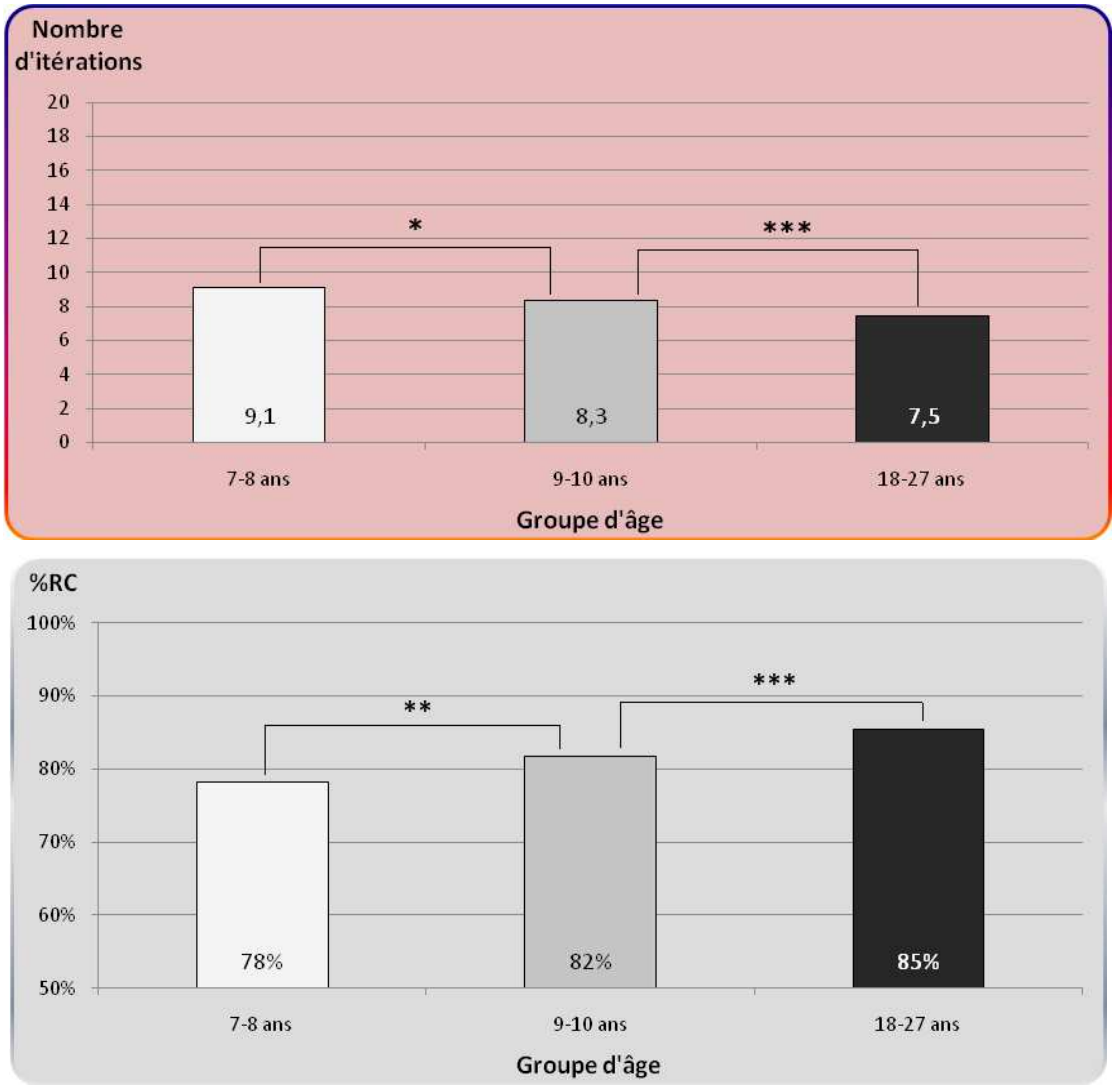


Figure 33. Représentations graphiques de la variation du nombre d'itérations (en haut) et du % RC (en bas) en fonction du groupe d'âge.

L’effet simple du facteur procédure s’est révélé significatif sur le nombre d’itérations ($F(1,73)=2391.2$; $p<.001$) et sur le %RC ($F(1,73)=1749.1$; $p<.001$). Comme le montre la figure 34, dans la procédure continue, le nombre d’itérations était significativement plus bas et le %RC significativement plus élevé que dans la procédure discontinue.

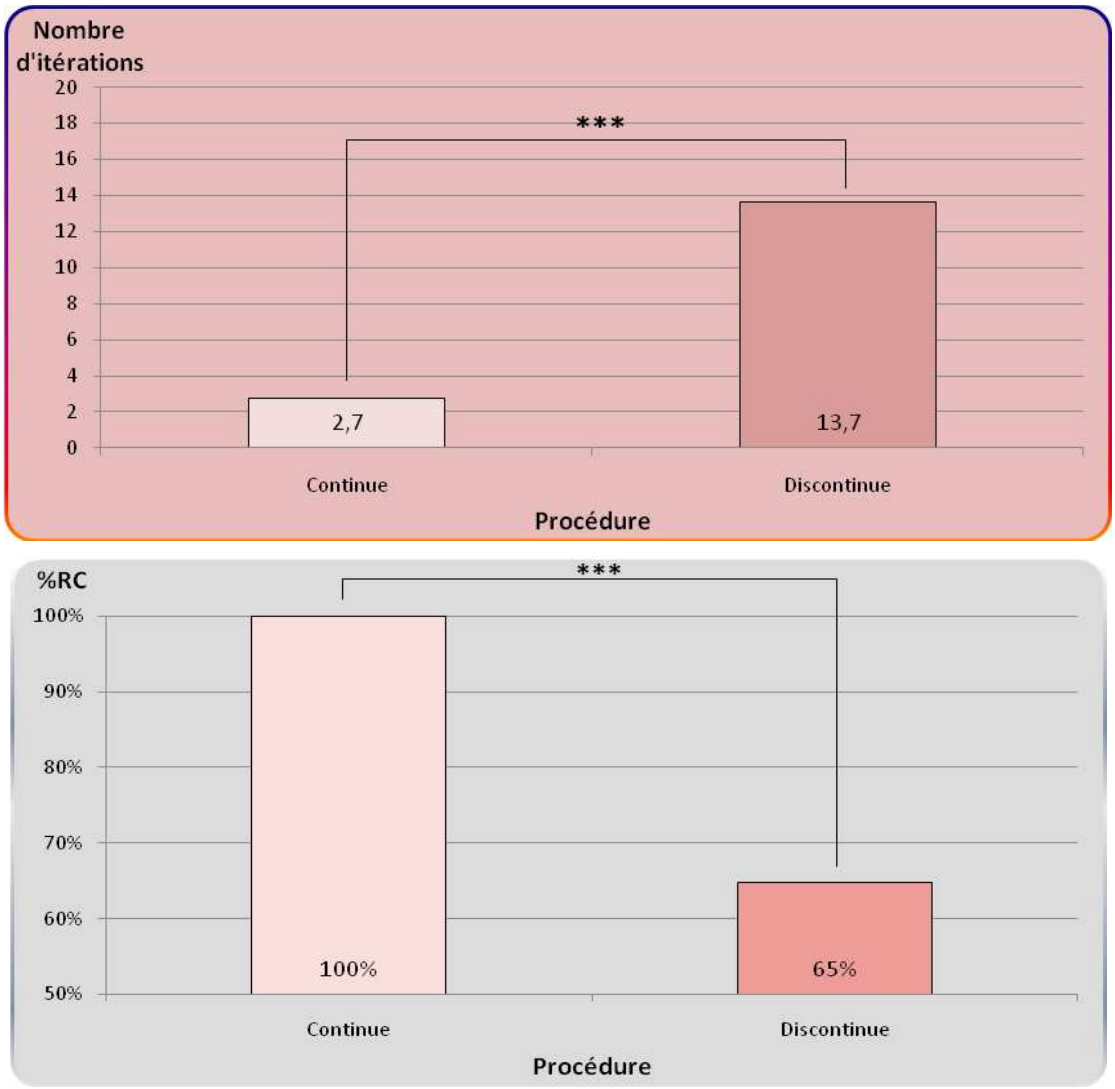


Figure 34. Représentations graphiques de la variation du nombre d’itérations (en haut) et du % RC (en bas) en fonction de la procédure.

Le facteur intérêt sémantique du changement avait également un effet simple significatif sur le nombre d'itérations ($F(1,73)=45.8$; $p<.001$) et sur le %RC ($F(1,73)=177.6$; $p<.001$). Ainsi que l'indique la figure 35, quand le changement était sémantiquement central, le nombre d'itérations était significativement moins élevé et le %RC était significativement plus élevé que lorsque le changement était sémantiquement marginal.

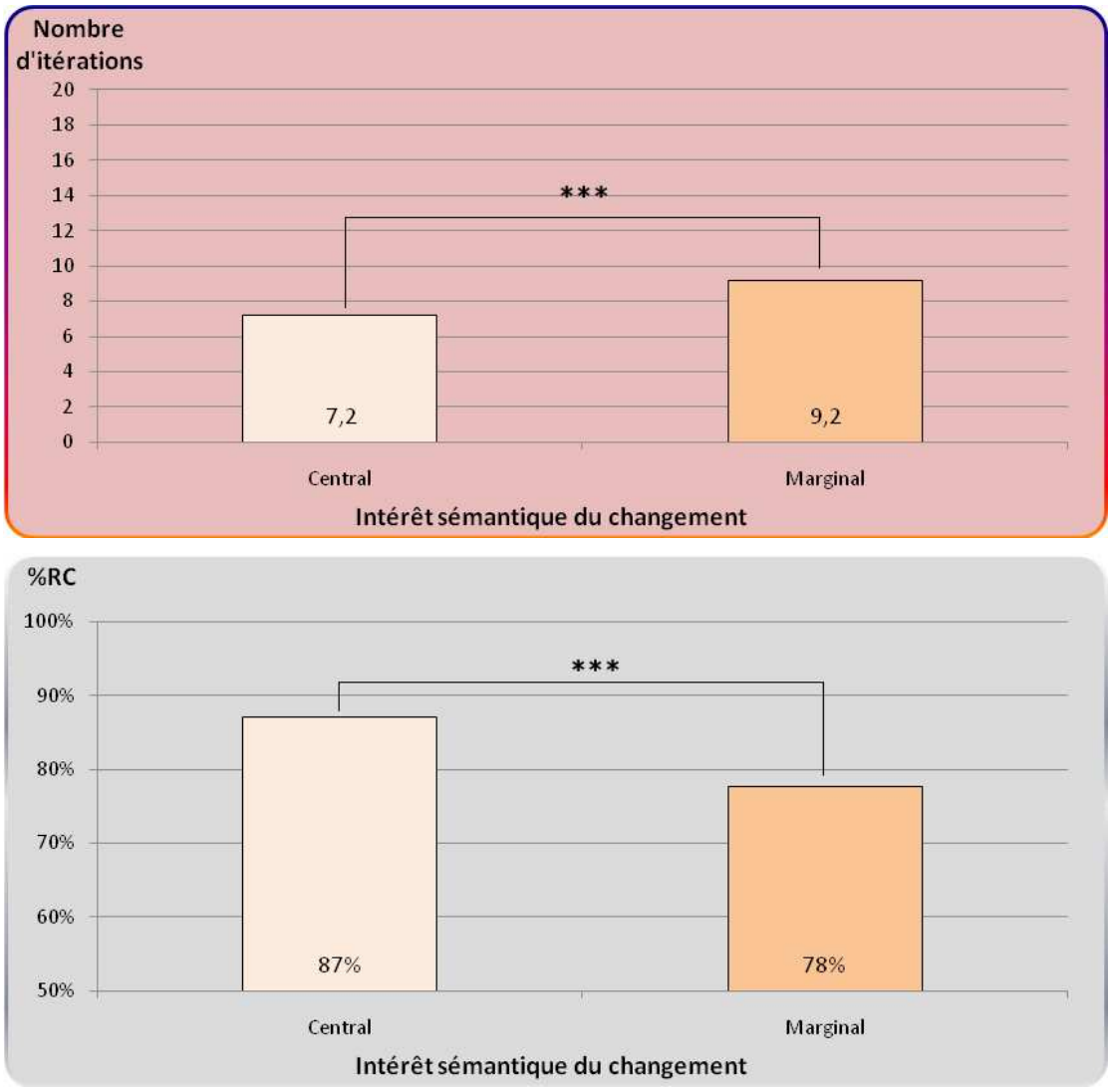


Figure 35. Représentations graphiques de la variation du nombre d'itérations (en haut) et du % RC (en bas) en fonction de l'intérêt sémantique du changement.

Les analyses statistiques ont indiqué la présence d'un effet d'interaction significatif entre la procédure et l'intérêt sémantique du changement sur le nombre d'itérations ($F(1,73)=21.7$; $p<.001$) comme le montre la figure 36. En effet, dans la procédure continue, le bénéfice d'un changement sémantiquement central par rapport à un changement sémantiquement marginal sur nombre d'itérations était significativement moins élevé que dans la procédure discontinue. L'analyse descriptive du %RC (voir figure 36) va dans le même sens. En effet, dans la procédure continue, il n'y avait pas de bénéfice d'un changement sémantiquement central comparé à un changement marginal, alors que dans la procédure discontinue ce bénéfice était marqué.

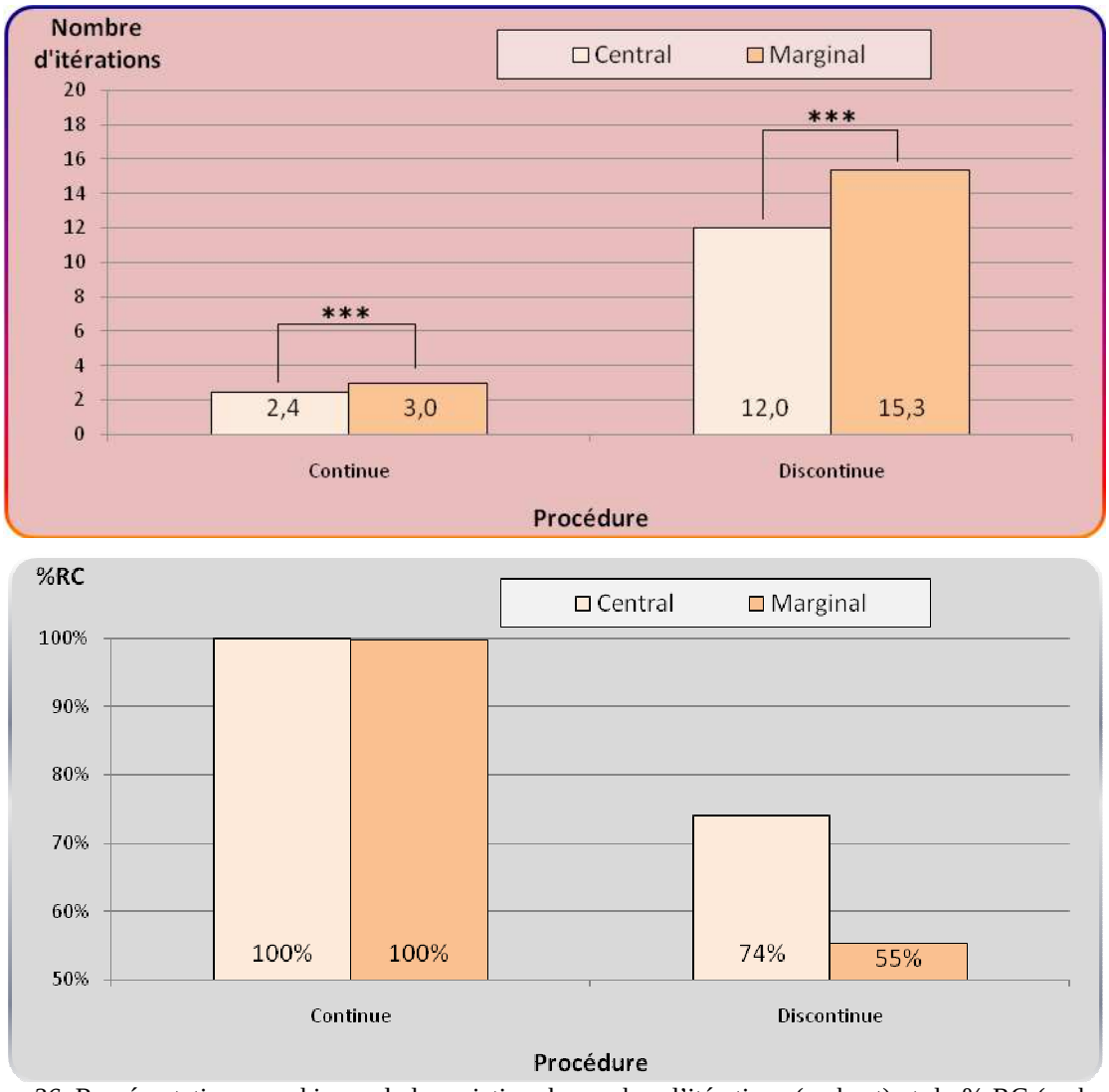


Figure 36. Représentations graphiques de la variation du nombre d'itérations (en haut) et du % RC (en bas) en fonction de la procédure et de l'intérêt sémantique du changement.

Les analyses ont révélé un effet d'interaction entre les facteurs groupe d'âge et intérêt sémantique du changement non significatif sur le nombre d'itérations ($F(2,73) < 1$; n.s.) et sur le %RC ($F(2,73) < 1$; n.s.). L'effet de l'intérêt sémantique du changement était le même pour tous les groupes d'âge sur le nombre d'itérations ainsi que sur le %RC, comme le représente la figure 37.

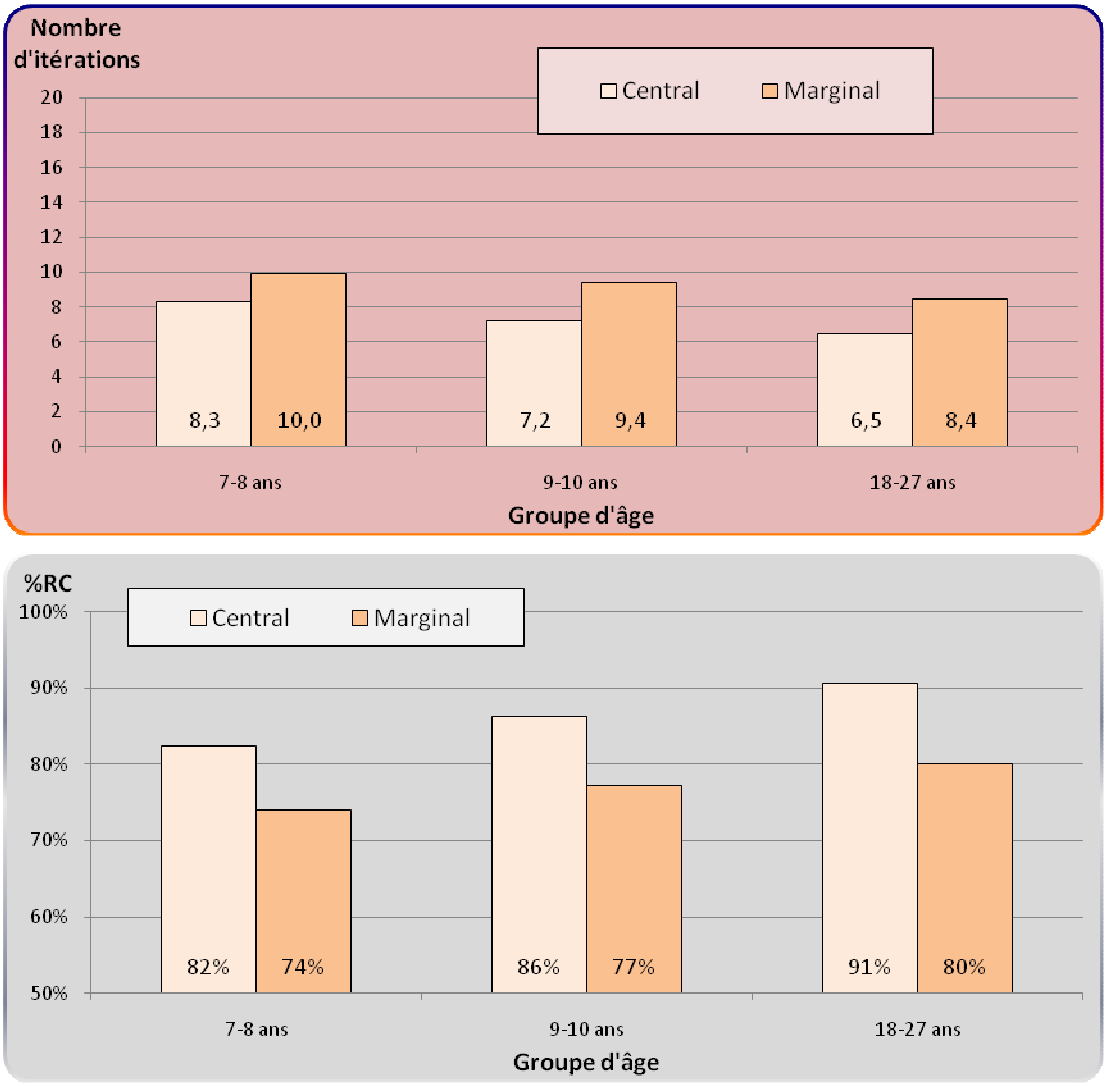


Figure 37. Représentations graphiques de la variation du nombre d'itérations (en haut) et du % RC (en bas) en fonction du groupe d'âge et de l'intérêt sémantique du changement.

Les résultats, présentés dans la figure 38, ont révélé un effet d'interaction significatif entre les facteurs groupe d'âge et procédure sur le nombre d'itérations ($F(2,73)=7.0$; $p<.01$) et sur le %RC ($F(2,73)=23.0$; $p<.001$). Dans la procédure continue, le nombre d'itérations était stable entre les enfants de 7-8 ans et ceux de 9-10 ans, puis diminuait entre les enfants de 9-10 ans et les adultes de 18-27 ans, alors que dans la procédure discontinue le nombre d'itérations diminuait significativement avec l'avancée en âge entre chaque groupe de participants. Concernant le %RC, alors qu'il n'était pas affecté par l'âge dans la procédure continue, il augmentait significativement avec l'âge entre chaque groupe.

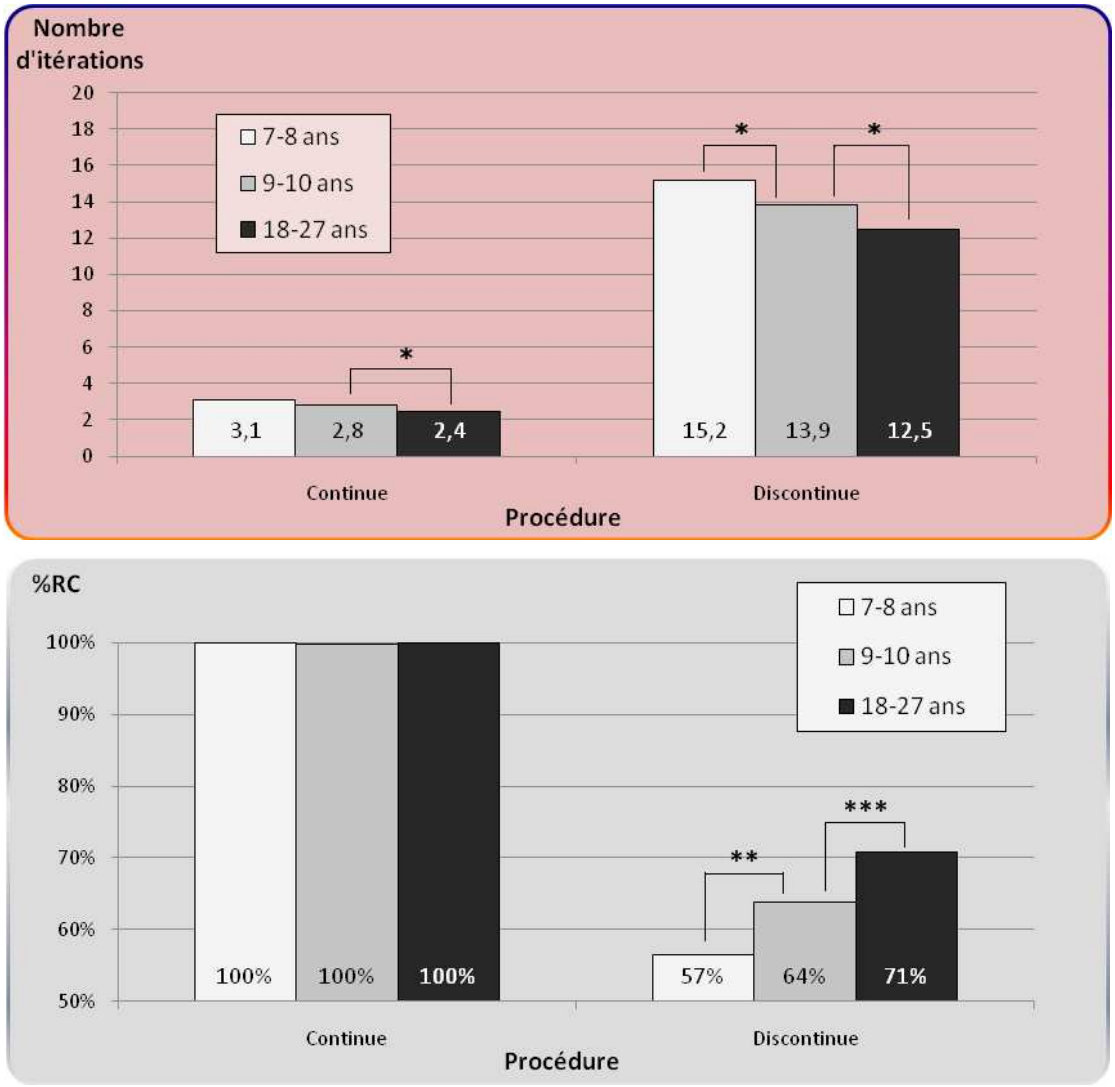


Figure 38. Représentations graphiques de la variation du nombre d'itérations (en haut) et du % RC (en bas) en fonction du groupe d'âge et de la procédure.

Les analyses ont révélé que l'effet d'interaction entre le groupe d'âge, la procédure et l'intérêt sémantique du changement sur le nombre d'itérations n'était pas significatif ($F(2,73) < 1$; n.s.). En effet, comme le montre la figure 39, durant la procédure continue, le bénéfice d'un changement central comparé à un changement marginal sur le nombre d'itérations était le même chez tous les groupes de participants. Il y en était de même dans la procédure discontinue. L'analyse descriptive du %RC (voir figure 39) va dans le même sens. Durant la procédure continue, il n'y avait pas de bénéfice d'un changement central comparé à un changement marginal. Et durant la procédure discontinue, le bénéfice d'un changement central comparé à un changement marginal était sensiblement le même chez tous les groupes de participants.

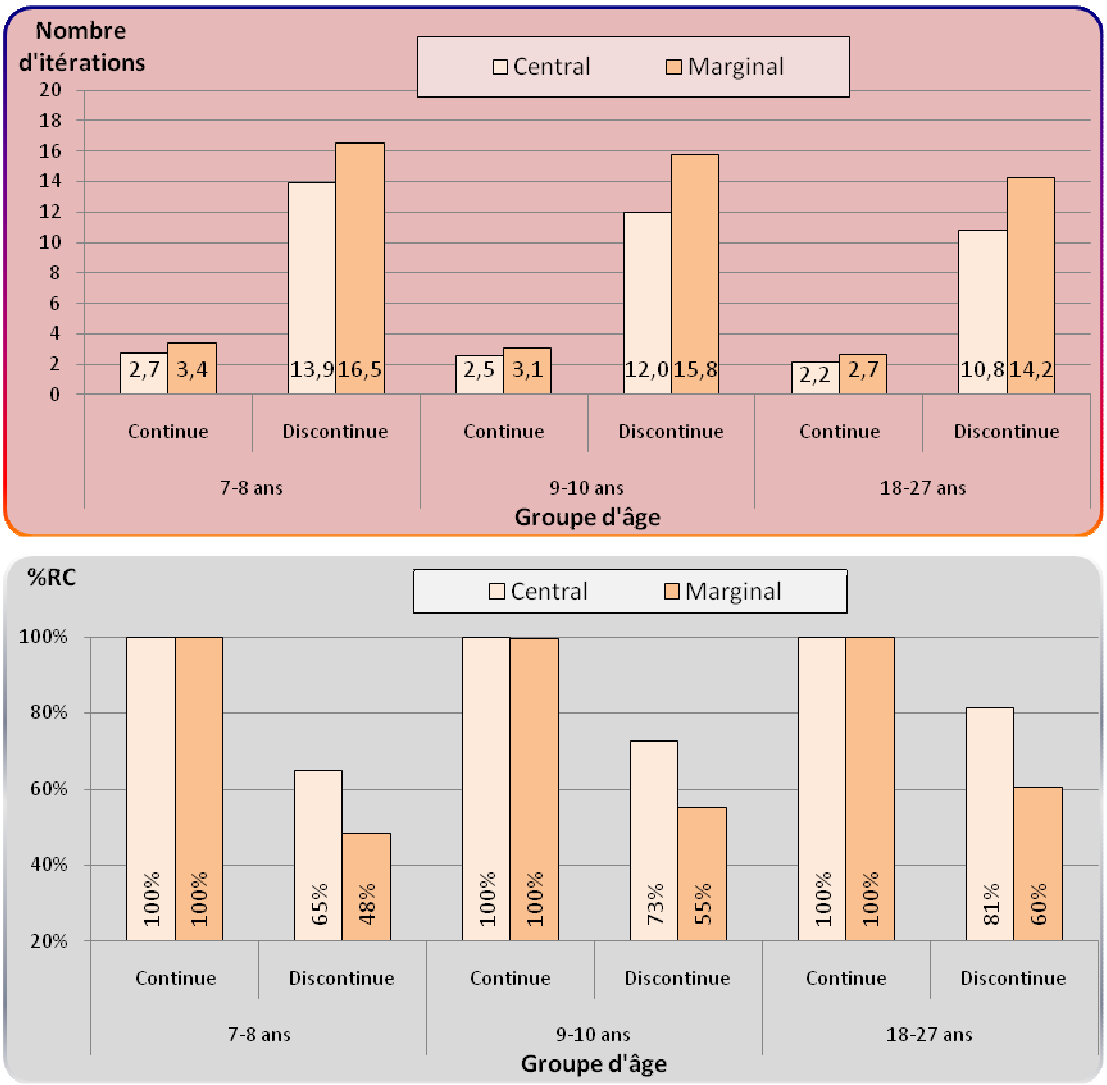


Figure 39. Représentations graphiques de la variation du nombre d'itérations (en haut) et du % RC (en bas) en fonction du groupe d'âge de la procédure et de l'intérêt sémantique du changement.

2.3.2. Une analyse complémentaire : l'effet du genre

Ayant une répartition inégale du genre des participants dans deux groupes d'âge, nous avons choisi de vérifier l'effet de cette variable (G_2 : masculin et féminin) sur nos résultats. Des analyses de variance ont été effectuées avec la version 8.0 du logiciel Statistica sur le nombre d'itérations et le %RC. L'ANOVA sur le nombre d'itérations a été réalisée suivant le plan $S < A_3 * G_2 > * P_2 * I_2$. N'ayant toujours pas de variance sur le %RC dans la procédure continue pour la détection d'un changement central, deux analyses de variance ont été effectuées pour cette variable dépendante en fonction des plans expérimentaux suivants : $S < A_3 * G_2 > * P_2$ et $S < A_3 * G_2 > * I_2$. Les analyses ont montré que l'effet simple du genre des participants et tous les effets d'intéraction découlant de ce facteur n'étaient pas significatifs sur le nombre d'itérations et sur le %RC (tableau 8). Autrement-dit, les filles et les garçons avaient les mêmes performances.

Tableau 8. *Analyses de variance de l'effet simple du genre des participants et des effets de son intéraction avec le groupe d'âge, la procédure et l'intérêt du changement sur le nombre d'itérations et le %RC.*

	Analyses sur le nombre d'itérations		**Analyses sur le %RC**	
	F	**p**	**F**	**p**
G	2.6	n.s.	1.9	n.s.
G x A	0.8	n.s.	1.6	n.s.
G x P	2.2	n.s.	1.6	n.s.
G x I	0.0	n.s.	3.6	n.s.
G x A x P	1.9	n.s.	2.1	n.s.
G x A x I	0.3	n.s.	0.1	n.s.
G x P x I	0.0	n.s.	-	-
G x A x P x I	0.0	n.s.	-	-

2.4. Discussion

L'objectif de cette expérience 2 était d'étudier la dissociation entre les processus attentionnels automatiques et contrôlés dans une tâche impliquant des traitements visuels de

haut niveau. Nous avons pour cela réalisé une adaptation du paradigme de cécité au changement développé par Rensink et al. (1997). Cette tâche permet d'étudier les priorités sémantiques effectives chez les participants lors de la présentation d'une scène visuelle. Fletcher-Watson et al. (2009) ont montré une diminution du bénéfice sémantique d'une scène avec l'âge auprès d'enfants de 6 à 12 ans et des adultes, sans préciser l'âge de maturation de ce processus lié au bénéfice sémantique.

Tout d'abord, les résultats ont répliqué l'effet classique observé avec le paradigme de cécité au changement correspondant au bénéfice lié à l'intérêt sémantique du changement sur les performances. Dans l'exploration visuelle d'une scène, l'attention sélective est orientée préférentiellement vers les éléments essentiels à la compréhension de la scène plutôt que vers les détails (Rensink et al., 1997). Les résultats ont montré qu'un changement d'intérêt sémantiquement central était détecté par les participants avec une meilleure précision et une rapidité plus importante qu'un changement sémantiquement marginal. Notre tâche a donc bien reproduit l'effet classique du paradigme de cécité au changement décrit par Rensink et al. (1997), ce qui nous de valider le matériel utilisé pour cette tâche.

L'échantillon de participants étant déséquilibré en genre, des analyses complémentaires ont été réalisées pour étudier l'effet éventuel du genre sur les résultats. Les analyses ont montré comme pour l'expérience 1, que le genre n'interférait pas sur les performances des participants à détecter le changement, en accord avec l'étude de Klenberg et al. (2001).

De façon à pouvoir étudier avec ce paradigme les processus attentionnels automatiques et contrôlés, nous avons utilisé deux procédures. Dans la procédure discontinue originalement développée par Rensink et al. (1997), la présentation d'un masque après chaque image obligeait le participant à diriger volontairement son attention pour explorer la scène et détecter le changement. Dans cette procédure discontinue, des processus attentionnels contrôlés étaient mis en jeu. Dans la seconde procédure (procédure continue) proposée aux participants, l'absence de masque entre les images donnait l'impression aux participants que l'objet porteur du changement clignotait. Dans cette procédure continue, l'attention du participant était captée de façon exogène, tel un effet *pop-out*, impliquant des processus attentionnels automatiques. Les résultats ont montré que les participants étaient moins rapides et moins précis pour détecter un changement dans la procédure discontinue (avec masque) que dans la procédure continue (sans masque). De plus, les résultats ont révélé que les performances des participants étaient peu influencées par l'intérêt sémantique du changement dans la procédure

continue. On a observé un effet plafond sur le %RC et un faible bénéfice de la centralité sémantique du changement sur le nombre d'itérations. Alors que durant la procédure discontinue, les performances aux deux indicateurs comportementaux étaient nettement améliorées quand le changement était sémantiquement central. Ceci peut s'expliquer par le fait que dans la procédure continue, le changement sautait aux yeux des participants. Ils n'avaient donc pas besoin d'effectuer une analyse complète de la scène pour le détecter. Ainsi leur performance était au plafond quel que soit l'intérêt sémantique du changement. Cependant dans la procédure discontinue, les participants orientant leur attention de façon endogène, leur exploration de l'image était sensible au sens de la scène, ce qui explique qu'ils avaient un bénéfice au niveau des performances lorsque le changement était sémantiquement central. Cette tâche a donc bien permis de dissocier expérimentalement des processus attentionnels automatiques de processus plus contrôlés. Toutefois, dans cette tâche, nous avions pour objectif l'implique de traitements attentionnels de plus haut niveau que ceux mis en jeu dans la recherche parallèle et la recherche sérielle de l'expérience 1. Avec le paradigme de cécité au changement, lors de la procédure discontinue, le bénéfice sémantique sur les performances suggère l'implication de processus attentionnels contrôlés liés à un traitement attentionnel plus profond. Cependant, le non bénéfice de la centralité sémantique du changement lors de la procédure continue, peut suggérer une absence de traitement sémantique ou tout du moins une réalisation plus rapide de la capture exogène de l'attention par rapport à la vitesse de l'analyse sémantique d'une scène visuelle complexe. La procédure continue a certes impliqué chez les participants la mise en place de processus automatiques de par la capture exogène de l'attention, mais il est peu probable que ces processus aient fait l'objet d'un traitement plus profond que les processus de recherche parallèle mis en jeu dans l'expérience 1. On ne peut donc pas se prononcer sur le niveau de traitement lié aux processus de détection du changement dans la procédure continue.

De façon générale, nous attendions une amélioration des performances avec l'âge en accord avec les résultats de la littérature (Shore et al., 2006). Nos résultats ont montré en effet une diminution de la cécité au changement avec l'avancée dans l'âge, soit une amélioration des processus d'attention sélective visuelle. Dans nos hypothèses, nous nous attendions à retrouver une dissociation entre les processus automatiques et contrôlés de l'attention sélective visuelle au niveau de leur développement. Les résultats ont révélé que dans la procédure continue les enfants dès 7-8 ans étaient aussi performants que les enfants de 9-10

ans à détecter le changement, et que les enfants de 9-10 ans étaient plus lents mais tout aussi précis que les adultes dans la détection du changement. Ainsi, ces résultats suggèrent que les processus attentionnels automatiques étaient efficaces dès 7 ans, conformément à l'étude de Gerhardstein et Rovee-Collier (2002) qui a montré la présence de l'effet *pop-out* chez les bébés, cependant ces processus automatiques d'analyse visuelle de la scène ont gagné un peu en rapidité entre l'âge de 10 ans et l'âge adulte. Les analyses ont montré également dans la procédure discontinue une diminution du taux d'erreurs et du nombre d'itérations avec l'âge pour détecter le changement. Ces processus contrôlés de l'attention se mettraient donc en place progressivement entre 7 ans et l'âge adulte en atteignant la maturation certainement au cours de l'adolescence. La maturation de ces processus serait donc plus tardive que le suggère l'étude de Shore et al. (2006) qui ont trouvé une maturation à 10 ans.

Enfin, les analyses ont révélé un résultat non attendu. En effet, nous pensions que durant la procédure discontinue les enfants profiteraient davantage du bénéfice de performance lié à l'intérêt sémantique du changement que les adultes, en accord avec l'étude de Fletcher-Watson et al. (2009). Or nos résultats ont montré que ce bénéfice du changement d'intérêt central était le même pour tous les groupes d'âge. Autrement dit, dès 7 ans les enfants étaient sensibles aux éléments sémantiques d'une scène de la même façon que des adultes. Dans l'étude de Fletcher-Watson et al. (2009) le bénéfice de l'intérêt sémantique du changement était nettement plus important chez les enfants de 6-8 ans que chez les autres groupes d'âge. Notre groupe d'enfants de 7-8 ans étant plus étroit au niveau de la dispersion en âge que celui de 6-8 ans de l'étude de Fletcher-Watson et al. (2009), nous nous questionnons sur le fait que la différence dans le bénéfice sémantique qu'ils ont obtenu entre les enfants de 6-8 ans et les autres groupes d'âge, soit dû à des différences de performances entre les enfants à l'intérieur de leur groupe d'enfants plus importante que dans notre travail.

3. Etude en imagerie fonctionnelle du développement des processus d'attention sélective visuelle en jeu lors de la détection de formes visuelles simples chez des enfants de 7 ans à l'âge adulte (Expérience 3)

3.1. Problématique et hypothèses

L'objectif de cette expérience 3 est d'étudier comment la dissociation comportementale dans la mise en place entre les processus automatiques et contrôlés de l'attention sélective visuelle portant sur la détection de formes visuelles simples (Expérience 1) se traduisait du point de vue fonctionnel. La question était donc de déterminer si les réseaux cérébraux qui sous-tendent ces processus attentionnels évoluent différemment avec l'âge. Pour cela, nous avons choisi de proposer à des participants enfants, adolescents et adultes d'effectuer une adaptation du paradigme de Treisman et Gelade (1980) dans une IRMf. Comme nous l'avons vu dans l'expérience 1, cette tâche permet de dissocier expérimentalement les processus de recherche parallèle des processus de recherche sérielle.

Dans cette expérience, le réseau d'activation lié à cette tâche a tout d'abord était évalué. De façon générale, nous attendions une implication du cortex occipital lié au traitement de l'information visuelle, du cortex pariétal supérieur pour la représentation de l'espace et du cortex pré-moteur latéral permettant l'orientation et les mouvements exploratoires (Gitelman et al., 1999 ; Hopfinger et al., 2000 ; Nobre et al., 1997 ; Nobre et al., 1999 ; Nobre et al., 2000). Peu de différences entre les réseaux matures de la recherche parallèle et celui de la recherche sérielle étaient attendues conformément aux données de la littérature (Booth et al., 2003 ; Corbetta et al., 1991 ; Corbetta et al., 1995 ; Donner et al., 2000 ; Leonards et al. , 2000 ; Pollman et al., 2000). Seules des régions occipitales dans ce réseau cérébral devaient être influencées par le nombre de distracteurs (Leonards et al., 2000). Concernant plus précisément les aspects développementaux, nous avons fait l'hypothèse d'une diminution de l'activation avec âge du cortex cingulaire et le thalamus (Booth et al., 2003).

Puis dans un second temps, nous avons étudié le réseau de déactivation lié à cette tâche de recherche visuelle. Nous attendions globalement une implication du cortex préfrontal

médian et du cortex cingulaire postérieur dans ce réseau, ces structures semblant être au centre des réseaux de déactivation (Geday & Gjedde, 2009 ; Grecius et al., 2003 ; Shulman et al., 1997 ; Sridharan et al., 2008 ; Van Horn, 2004). Concernant la dissociation entre le réseau de la recherche parallèle et celui de la recherche sérielle, nous avons fait l'hypothèse d'une déactivation plus forte lors d'une recherche sérielle, comme les résultats de Mayer et al. (2010) le suggèrent. Concernant les aspects développementaux, Vuontela et al., (2009) ayant montré une similarité des patterns de déactivation entre des adolescents de 11 ans et des adultes, on s'attendait à retrouver un réseau de déactivation chez les enfants proche de celui des adultes.

3.2. Méthode

3.2.1. Participants

Cinquante-deux personnes droitières ont été recrutées dans cette étude, trente-deux jeunes adultes et vingt enfants et adolescents. Les critères d'inclusion étaient globalement les mêmes que pour les précédentes expériences. Nous avons particulièrement veillé à l'absence de troubles neurologiques, de pathologies psychiatriques et de traumatismes crâniens. Tous les participants avaient une vue normale ou corrigée à la normale y compris dans l'IRM à l'aide de lunettes adaptées. L'examen IRM a été réalisé de façon à respecter l'anonymat des participants au sein de l'hôpital Pellegrin de Bordeaux, lieu de l'expérience.

Sur les cinquante-deux participants recrutés, les données de certains n'ont pu être prises en compte dans les analyses suite à un problème d'acquisition des données. De plus, les mouvements de tête de certains enfants durant l'acquisition des images étant trop importants, la correction de ces mouvements n'a pas pu être effectuée correctement, ce qui a rendu impossible l'exploitation de leurs données. En tout, les données de sept participants n'ont pu être traitées statistiquement. Les caractéristiques des quarante-cinq participants dont les données ont servi pour les analyses sont présentées dans le tableau 9, et la répartition en âge des enfants et adolescents est présentée dans la figure 40.

Tableau 9. *Caractéristiques des participants de l'expérience 3.*

Groupe	N	Age moyenne	Age écart type	Age borne <	Age borne >	Genre ♂/♀	Latéralisation droite/gauche
Enfants et Adolescents	15	12.2 ans	2.8 ans	8.6 ans	16.6 ans	7/8	15/0
Jeunes Adultes	30	24.8 ans	4.3 ans	19.2 ans	35.5 ans	16/14	30/0
Total	45	20.6 ans	7.1 ans	8.6 ans	35.5 ans	23/22	45/0

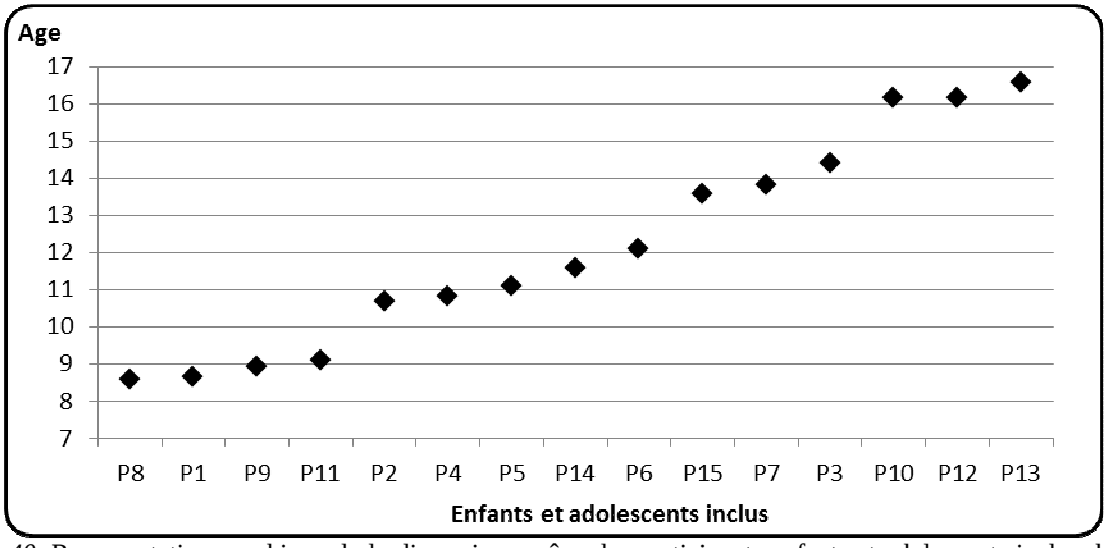


Figure 40. Representation graphique de la dispersion en âge des participants enfants et adolescents inclus dans l'expérience 3.

Tous les enfants ont passé deux épreuves du WISC IV pendant 30 minutes environ afin d'écarter les participants avec d'éventuels troubles cognitifs non encore diagnostiqués. L'épreuve de barrage (figure 41) permet d'apprécier les capacités attentionnels des enfants. Elle consiste à barrer au crayon un maximum de cibles (des animaux) présentés parmi des distracteurs (divers objets) en deux fois 45 secondes sur deux feuilles au format A3.

Figure 41. Illustration de la planche 1 de l'épreuve de barrage d'animaux extraite de la WISC IV.

La seconde épreuve, les matrices, permet d'évaluer le raisonnement logique des enfants avec une difficulté croissante sur trente-cinq essais. Lors de cette épreuve (figure 42) l'enfant doit repérer le lien logique qui lie des objets afin d'appliquer le même raisonnement à un autre objet et ainsi trouver la bonne réponse parmi cinq possibles.

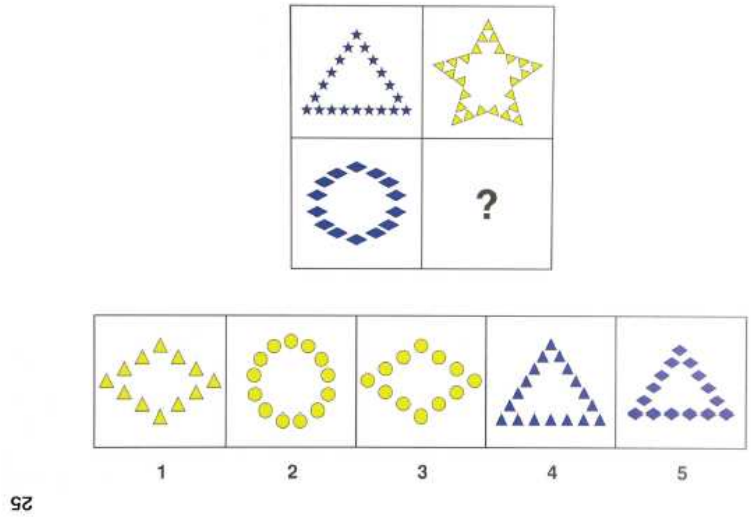


Figure 42. Illustration de la planche 25 de l'épreuve des matrices extraites du WISC IV. Dans cet exemple, il faut trouver un losange constitué de petits ronds jaunes. La bonne réponse est donc la 3.

Les résultats à ces deux épreuves a révélé que les participants avaient tous des capacités de raisonnement logique et d'attention se situant dans la moyenne normée ou au-dessus. Le groupe d'enfants et d'adolescents a obtenu un score moyen de 12.5/20 ±1.9 à l'épreuve de barrage et de 13.9/20 ±2.2 à l'épreuve des matrices.

3.2.2. Matériel

3.2.2.1. Stimuli

Dans cette expérience nous avons repris une adaptation du paradigme de Treisman et Gelade (1980) comme dans de l'expérience 1, mais dans une version go/no go. La tâche consistait à répondre à la présence d'une cible présentée parmi des distracteurs. Deux facteurs étaient manipulés : le nombre de traits communs entre la cible et les distracteurs (T : 0 ou 2) et le nombre d'items présentés (I : 4, 16 ou 25). La cible, un « **T** », était présentée soit des distracteurs ne partageant aucune caractéristique avec elle (t0), soit parmi des distracteurs partageant deux attributs avec elle (t2). La cible était donc présentée soit parmi des « **X** », soit parmi des « **X** » et des « **T** ». Dans ces deux conditions, le nombre d'items présentés variait : 4, 16 ou 25 items. Un spécialiste du laboratoire a programmé l'expérience avec le logiciel Real-Basic. Les items étaient présentés dans un carré blanc central, et apparaissaient aléatoirement à l'intérieur de ce carré. Dans 50% des cas, il n'y avait pas de cible, et le rapport entre les deux types de distracteurs dans la condition t2 était de 50% chacun.

3.3.2.2. Le choix de l'Imagerie fonctionnelle par Résonance Magnétique (IRMf)

Les techniques d'imagerie assez récentes étudient les relations anatomo-fonctionnelles. Avant la renaissance on pratiquait la dissection pour connaître l'intérieur du corps, mais aujourd'hui plusieurs méthodes d'imagerie sont utilisées pour connaître le cerveau. Dans cette partie, le choix de l'IRMf et son fonctionnement en recherche ont été discutés après une présentation succincte de différentes techniques d'imagerie cérébrale (revue dans Dehaene, 1997 ; Mazoyer, 2001).

Il existe plusieurs techniques pour rendre compte de l'activité cérébrale. Cette activité cérébrale résulte de l'activité électrique des neurones. L'électroencéphalographie (EEG) et la magnétoencéphalographie (MEG) sont des mesures directes de l'activité des neurones, surtout l'EEG. Elles ont donc une très bonne résolution temporelle. La Tomographie par Emission de Positrons (TEP) et l'Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) sont des mesures plus indirectes car elles passent par la mesure de la consommation d'oxygène des structures du cerveau, mais elles offrent l'avantage d'une bonne résolution spatiale. La TEP a l'inconvénient d'être invasive puisqu'elle nécessite l'injection d'un produit de contraste.

Lorsqu'on couple l'IRM avec des tâches cognitives, on parle alors d'IRM fonctionnelle (IRMf), technique assez répandue en recherche.

L'IRMf permet d'obtenir des images numériques en 3D des variations d'oxygénation sanguine du cerveau. Les images sont obtenues grâce aux propriétés magnétiques de l'hémoglobine. Il s'agit d'une méthode avantageuse car elle est non invasive, répétable plusieurs fois chez le même individu, sa résolution temporelle est de l'ordre de la seconde et sa résolution spatiale inférieure au millimètre. De plus, elle peut se réaliser dans un champ magnétique d'1,5 Tesla qui est courant dans le milieu médical, même si aujourd'hui des machines plus puissantes sont utilisées en recherche.

Classiquement, dans les études en IRMf, on peut distinguer deux protocoles : un protocole évènementiel et un protocole en bloc. Le protocole évènementiel permet de rendre compte de la dynamique de l'activité cérébrale, mais c'est le protocole en bloc qui est plus utilisé. Son principe réside dans l'alternance entre des phases d'activation, où le participant fait la tâche, et des phases de repos pendant lesquelles le participant « ne fait rien ». Durant cette dernière période, le cerveau du participant est considéré comme actif, percevant notamment le bruit de l'IRM et le participant pouvant penser à diverses choses. Lors des analyses statistiques on contraste le niveau d'activation du cerveau durant l'une ou l'autre de ces phases afin d'obtenir une carte d'activation ou de déactivation du cerveau. Les réseaux d'activation concernent un ensemble de structures cérébrales qui montrent une activité plus importante durant une phase d'activation que durant une phase de repos. A l'inverse les réseaux de déactivation, récemment mis en lumière dans des études, font référence à une activation plus importante des certaines régions cérébrales durant les phases de repos en comparaison de leur niveau d'activation durant les phases d'activation.

3.3.2.3. Dispositif

L'ordinateur utilisé pour la présentation des images était un Macintosh, avec une carte graphique ATI RAGE 128 pro, une résolution de 1024x768 et une fréquence de balayage 60 Hz. Installé dans la salle de contrôle de l'IRM, il était relié à un rétroprojecteur qui envoyait l'image de l'écran d'ordinateur à travers une vitre, dans la salle de l'IRM. Cet écran se reflétait dans un miroir de 13 cm x 3.5 cm (soit 62°x17° d'angle visuel) situé au niveau des yeux du participant allongé dans la machine (figure 43). Le bouton réponse était placé dans la main droite du participant, et sur son torse un bouton d'alarme était disposé pour appeler

l’expérimentateur en cas de problème. Afin de limiter les mouvements de tête de chaque participant, à l’origine d’artéfacts sur les images, celui-ci était installé le plus confortablement possible (avec des coussins en mousse) et des boules quiès placées dans ses oreilles afin d’atténuer le bruit de la machine.

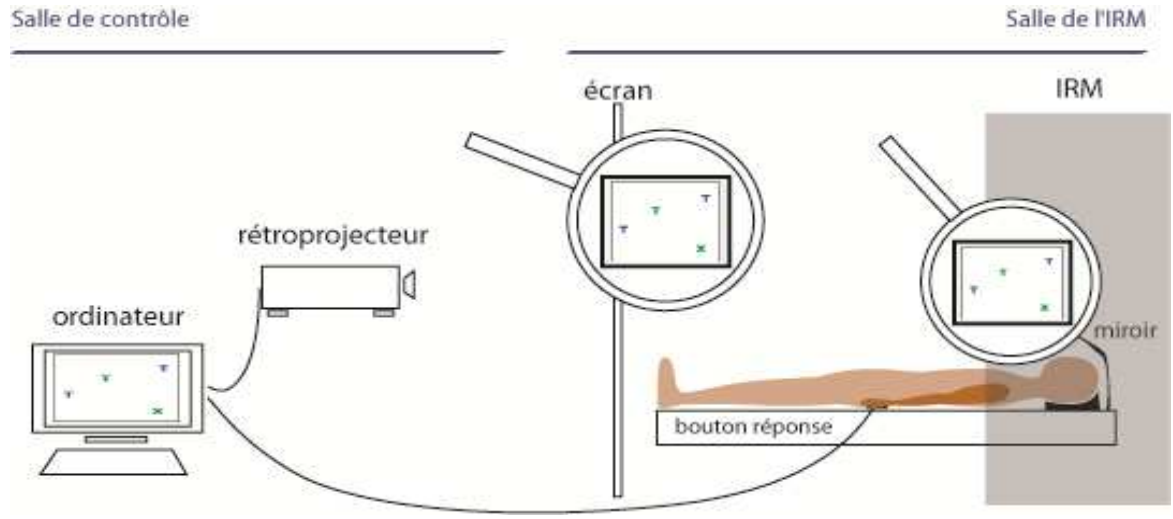


Figure 43. Dispositif expérimental pour les passations en IRMf.

3.2.3. Procédure

3.2.3.1. Programmation de l’expérience et acquisition des images

La tâche était une version go/no go de l’expérience 1, c’est-à-dire que les participants devaient répondre uniquement à la présence de la cible en appuyant sur la poire de réponse et en se retenant de répondre quand la cible était absente. De ce fait, un temps limite de réponse a été instauré afin de débuter l’essai suivant en cas d’absence de cible. Ce temps limite a été adapté à la difficulté de la tâche et à l’âge des participants. Il a été déterminé à partir des TR à l’absence de la cible dans une procédure oui/non des participants adultes et enfants de l’expérience 1. Nous avons choisi de distinguer trois groupes d’âge : les enfants de moins de 8 ans, les enfants de 9 ans ou plus, et les jeunes adultes. L’objectif ici, était de ne pas proposer aux adultes qui étaient rapides des temps de présentation trop longs durant lesquels ils pourraient éventuellement réfléchir à autre chose, et ne pas pénaliser les enfants les plus jeunes avec des temps de présentation trop courts qui pourraient les stresser ou les empêcher de faire la tâche. Les temps limite de réponse sont exposés dans le tableau 10.

Tableau 10. *Temps limite (ms) de réponse pour les participants de l'expérience en IRM en fonction des conditions t0 et t2, du nombre d'items et de l'âge.*

	t0			t2		
	4	**16**	**25**	**4**	**16**	**25**
Enfants de moins de 8 ans	1200	1200	1200	1700	3100	4100
Enfants de 9 ans et plus	1000	1000	1000	1600	2600	3500
Jeunes adultes	700	700	700	900	1 700	1 500

Trois séquences indépendantes ont été prévues, chacune avec un nombre différent d'items. Ces trois séquences étaient présentées à tous les participants dans le même ordre : 16, 25 puis 4 items. Chaque séquence comportait six phases d'activation (projection des stimuli) entrecoupées de sept phases de repos (projection d'un écran gris). Les six phases d'activation d'une même séquence comprenait toutes le même nombre de distracteurs, avec trois phases dans la condition t0 et trois autres dans la condition t2. Cette triple répétition d'une même situation expérimentale a été choisie afin d'augmenter la sensibilité de la mesure réalisée par l'IRM. Deux ordres de contrebalancement ont été programmés : soit chaque séquence débutait par les trois phases d'activation de la condition t0 et terminaient par celles de la condition t2, soit l'inverse. Le but était que la moitié des participants passe dans chaque ordre de contrebalancement. Ce fut le cas pour les adultes. Les premières analyses sur les données des adultes ont montré qu'il n'y avait pas d'effet lié à cet ordre sur leurs activations cérébrales. Nous avons donc décidé pour les enfants de proposer le même ordre de contrebalancement à tous les enfants. Les trois premières phases d'activation proposées aux enfants et aux adolescents concernaient la condition t2. Les phases d'activation et de repos duraient chacune 30s pour les adultes, et 24s pour les enfants et les adolescents. Lors de ces phases, les participants devaient répondre correctement et les plus rapidement possible au maximum d'essais. Une séquence durait donc 6 min 30s pour les adultes et 5 min 12s pour les enfants, soit un temps total d'acquisition fonctionnelle de 20 min pour les adultes contre 15 min pour les enfants et les adolescents. Ces aménagements ont été pensés afin de diminuer le temps de passation des enfants, et ainsi limiter leurs mouvements de tête.

Les examens IRM ont été réalisés en utilisant une IRM d'1.5 Tesla. Chaque scan enregistré était orienté dans la direction du CA-CP (commissure antérieure – commissure postérieure). Pour chacune des séquences, 130 scans ont été acquis. Toutes les caractéristiques

d’acquisition des repérages anatomiques et des séquences fonctionnelles sont présentées dans l’annexe 3.

3.2.3.2. Déroulement de l’expérience

Avant de commencer l’examen IRM, une phase d’entraînement hors IRM était proposée à chaque participant afin de le familiariser avec la tâche en version oui-non, qui correspondait à l’expérience 1. Ensuite douze essais de la tâche en version go/no go lui étaient proposés hors machine. Il pouvait alors se rendre compte de la vitesse de présentation des stimuli et de la réponse motrice à effectuer. Avant de rentrer dans la salle de l’IRM, certaines consignes de sécurité étaient rappelées au participant (comme ne pas porter d’objets métalliques sur soi). Les parents pouvaient, à la demande de l’enfant, rester auprès de lui durant l’exam. Une fois installé dans l’appareil, un entraînement à la tâche lui était également proposé afin d’habituer le participant à répondre dans cet environnement. Puis, l’expérience débutait. Dans la salle de contrôle, les manipulateurs radio commençaient l’acquisition d’une première séquence de 5 min pendant laquelle un repérage anatomique était effectué. Puis les trois séquences fonctionnelles (avec 16, 25 puis 4 items) s’enchaînaient. A la fin de chaque séquence, on parlait au participant pour vérifier que tout allait bien, puis on lui proposait de passer la séquence suivante.

3.3. Résultats

Les données ont été traitées avec les logiciels SPM_5 (Statistical Parameter Mapping), MATLAB 7.1 (The Mathworks Inc., Natick, MA, USA) et Statistica 8.0. Elles ont fait l’objet d’un prétraitement individuel comportant trois étapes. Le réalignement des images a permis de corriger les mouvements de tête des participants. La normalisation sur un format commun a servi à gommer la variabilité anatomique interindividuelle, afin de comparer les examens les uns avec les autres. Enfin, le lissage des images a augmenté la sensibilité. Le traitement des images prend en compte le délai la réponse hémodynamique par rapport à la séquence temporelle du paradigme d’activation. Puis, différentes analyses de groupe ont été effectuées. Ces analyses ont été réalisées d’une part sur les activations cérébrales et d’autre part sur les déactivations du cerveau.

Pour étudier le réseau d’activation (phase d’activation > phase de repos), nous avons effectué pour chacun des groupes une ANOVA à deux facteurs (nombre de traits communs

cible-distracteurs et nombre d'items), afin d'obtenir pour chaque groupe une carte d'activation de chacune des six situations expérimentales. Puis nous avons effectué trois types de traitement statistique :

- Des analyses en conjonction ont été réalisées afin de voir les régions communes aux trois cartes d'activation de la condition t0 d'une part, puis de la condition t2 d'autre part. Ces analyses ont été effectuées au seuil $p<.05$ avec une correction FWE pour les adultes et avec $p<.001$ pour les enfants et les adolescents.

- Des analyses de masquage et de contraste ont été effectuées afin d'étudier les différences d'activations cérébrales liées à l'augmentation du nombre d'items dans la condition t0 puis dans la condition t2. Ces analyses ont été effectuées avec une taille minimum de cluster de 100 voxels, au seuil $p<.05$ avec une correction FWE pour les adultes et au seuil $p<.001$ mais sans correction pour les enfants et les adolescents.

- Des corrélations entre les cartes d'activations cérébrales dans chacune des six situations expérimentales et l'âge des participants ont permis de voir quelles régions du cerveau présentaient une variation du niveau d'activation avec l'âge. Ces analyses ont été effectuées à $p<.001$, avec des clusters ayant un minimum de 100 voxels.

Afin d'explorer le réseau de déactivation (phase de repos > phase d'activation), nous avons effectué deux types de traitement statistique :

- Des contrastes ont été réalisés dans le but de voir les cartes de déactivations cérébrales propres à chacune des six situations expérimentales. Ces analyses ont été effectuées avec un minimum de 50 voxels par cluster, au seuil $p<.05$ avec la correction FWE pour les adultes, et au seuil $p<.001$ pour le groupe d'enfants et d'adolescents.

- Des ANOVA sur la valeur du signal de neuf régions d'intérêt (ROI) ont été effectuées afin d'étudier l'évolution du signal dans ces régions cibles en fonction des situations expérimentales. Ces ROI ont été choisies en fonction de deux critères : l'appartenance au réseau de déactivations décrit par les contrastes de l'étape précédente, et la reconnaissance par la littérature de l'implication de ces régions dans le réseau de déactivation. Nous avons extrait la valeur du signal dans ces neuf régions à partir d'une sphère de 10 mm de diamètre, dont le centre se situait aux coordonnées indiquées dans le tableau 11.

Tableau 11. *Coordonnées des régions d'intérêt du réseau de déactivation des groupes d'adultes et d'enfants.*

Groupe	Localisation	Coordonnées (x, y, z)	
		HG	**HD**
Adultes	CA	-41, -79, 38	49, -75, 34
	CCP	-10, -58, 18	10, -48, 34
	CFM	1, 50, -9	
Enfants et adolescents	CA	-18, -61, 1	14, -88, 26
	CCP	1 -51 16	
	CFM	-4 50 -10	

HG : hémisphère gauche ; HD : hémisphère droit ; CA : cortex angulaire ; CCP: cortex cingulaire postérieur ; CFM : cortex frontal médian.

3.3.1. Les analyses sur le groupe des jeunes adultes

3.3.1.1. Le réseau d'activation

Les analyses en conjonction ont révélé les régions cérébrales activées dans la condition t0 communes à la présentation de 4, 16 et 25 items (figure 44). Dans les trois situations de la condition t0, le groupe de participants adultes a présenté une activation de certaines régions cérébelleuses, occipitales et temporales bilatérales, du cortex pariétal inférieur droit, du cortex insulaire droit, des aires motrices gauches, des aires motrices supplémentaires, et du cortex frontal inférieur droit. Communément aux trois situations de la condition t2, les analyses ont montré une activation de certaines régions cérébelleuses, occipitales bilatérales et temporales, du cortex pariétal inférieur gauche et supérieur droit, du cortex insulaire droit, des aires motrices gauches, et du cortex frontal inférieur droit.

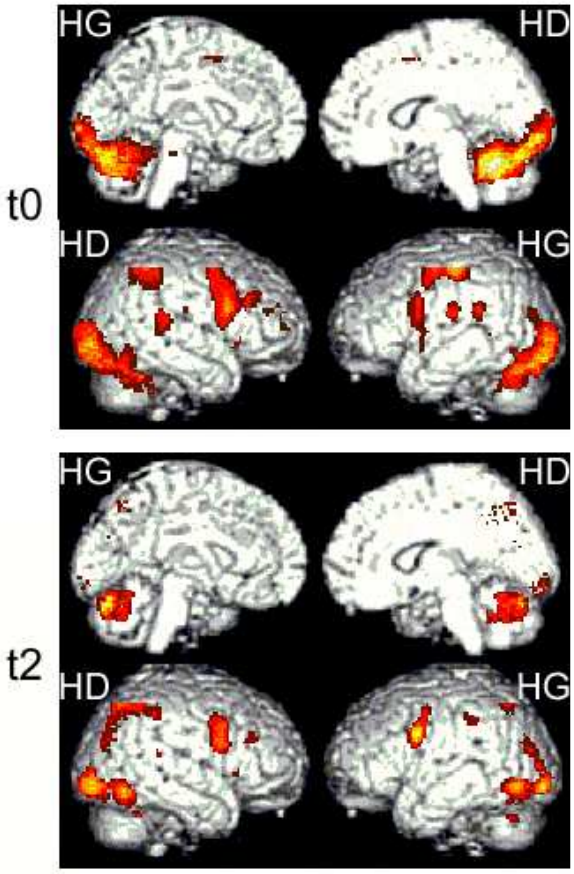


Figure 44. Cartes d'activation communes à la présentation de 4, 16 et 25 items de la condition t0 (en haut) et de la condition t2 (en bas) chez les adultes.

Les analyses de contraste ont révélé les différences significatives d'activation cérébrale liées à l'augmentation du nombre d'items dans chaque condition (tableau 12). Dans la condition t0 comme dans la condition t2, avec l'augmentation du nombre d'items les analyses ont révélé une activation plus importante des régions occipitales. Dans la condition t0, il n'y avait aucune différence significative entre 25 et 16 items.

Tableau 12. *Différences d'activation liées à l'augmentation du nombre d'items dans la condition t0 et dans la condition t2 chez les adultes.*

	Contraste	**Coordonnées (x, y, z)**	**T**	**Taille du cluster**	**Localisation**
Condition t0	16-4	30, -96, -8	6.03	121 voxels	Cortex occipital droit
	25-4	-24, -98, -4	6.29	188 voxels	Cortex occipital gauche
	25-16	aucune différence significative			
Condition t2	16-4	22, -94, -2	6.10	764 voxels	Cortex occipital droit
		-30, -96, 0	5.83	579 voxels	Cortex occipital gauche
	25-4	22, -94, -2	9.79	4148 voxels	Cortex occipital bilatéral
	25-16	-18, -90, -6	5.78	130 voxels	Cortex occipital gauche

3.3.1.2. Le réseau de déactivation

Les analyses de contraste ont montré qu'avec 4 items dans la condition t0 comme dans la condition t2, aucune région du cerveau n'était déactivée. La figure 45 présente les aires cérébrales qui étaient plus actives au repos que durant chacune des quatre autres situations expérimentales. Dans ces quatre situations expérimentales, le cortex angulaire gauche et le cortex frontal médian étaient déactivés. Dans la condition t0 avec 16 items, aucune région supplémentaire n'était significativement déactivée, et avec 25 items le cortex cingulaire postérieur droit était également déactivé. Dans la condition t2 avec 16 items, c'est le cortex angulaire droit qui était déactivé, et avec 25 items le cortex cingulaire postérieur gauche s'ajoutait à ce réseau de déactivation.

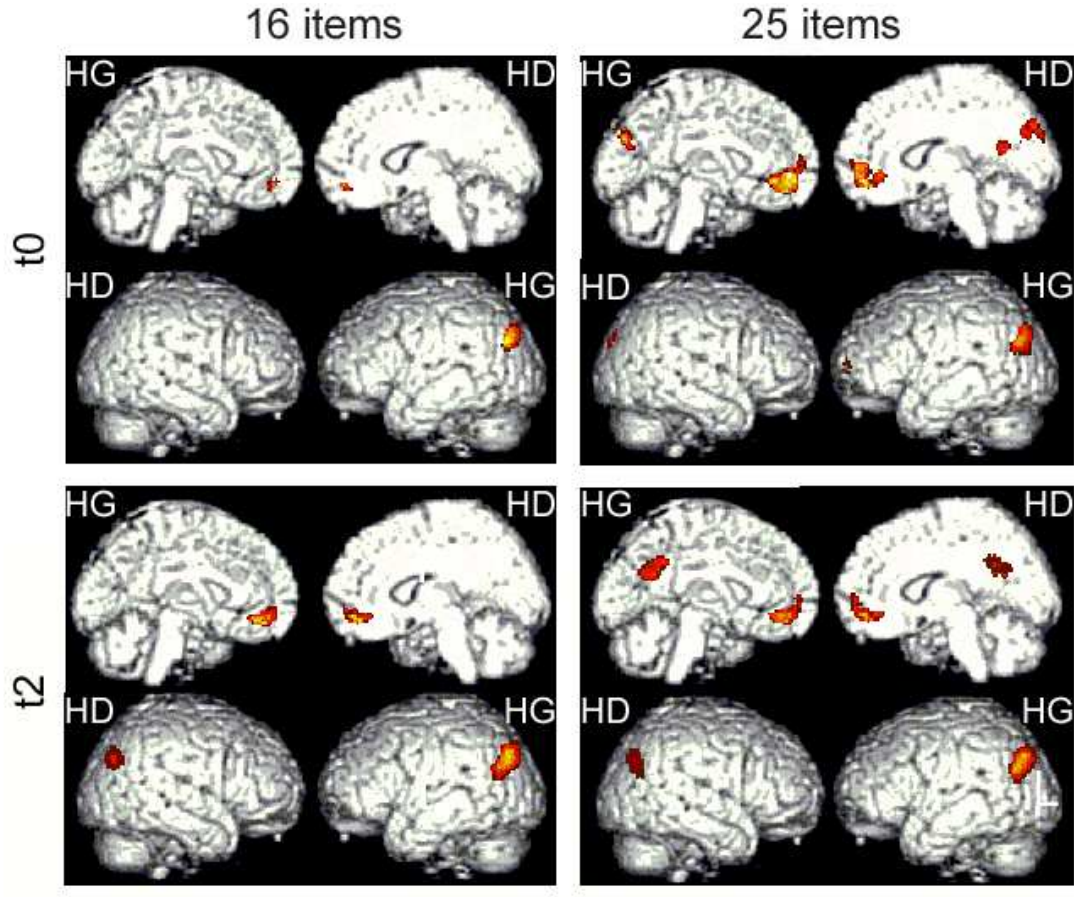


Figure 45. Cartes de déactivations cérébrales dans les conditions t0 (en haut) et t2 (en bas) avec 16 (à gauche) et 25 items (à droite) chez les adultes.

Enfin nous avons extrait le signal dans les cinq régions du réseau de déactivation : le cortex angulaire bilatéral, le cortex cingulaire postérieur bilatéral et le cortex frontal médian. Les analyses de variance ont montré un effet simple significatif du nombre de traits communs cible-distracteurs sur la valeur du signal du cortex cingulaire postérieur gauche ($F(1,29)=9.37$; $p<.001$) et du cortex angulaire gauche ($F(1,29)=5.7$; $p<.05$). Dans ces régions, le signal était plus élevé dans la condition t0 que dans la condition t2 (figure 46). L'effet simple du nombre de traits communs cible-distracteurs n'était pas significatif sur la valeur du signal du cortex angulaire droit ($F(1,29)=2.7$; n.s.), du cortex cingulaire postérieur droit ($F(1,29)<1$; n.s.) et du cortex frontal médian ($F(1,29)=2.01$; n.s.).

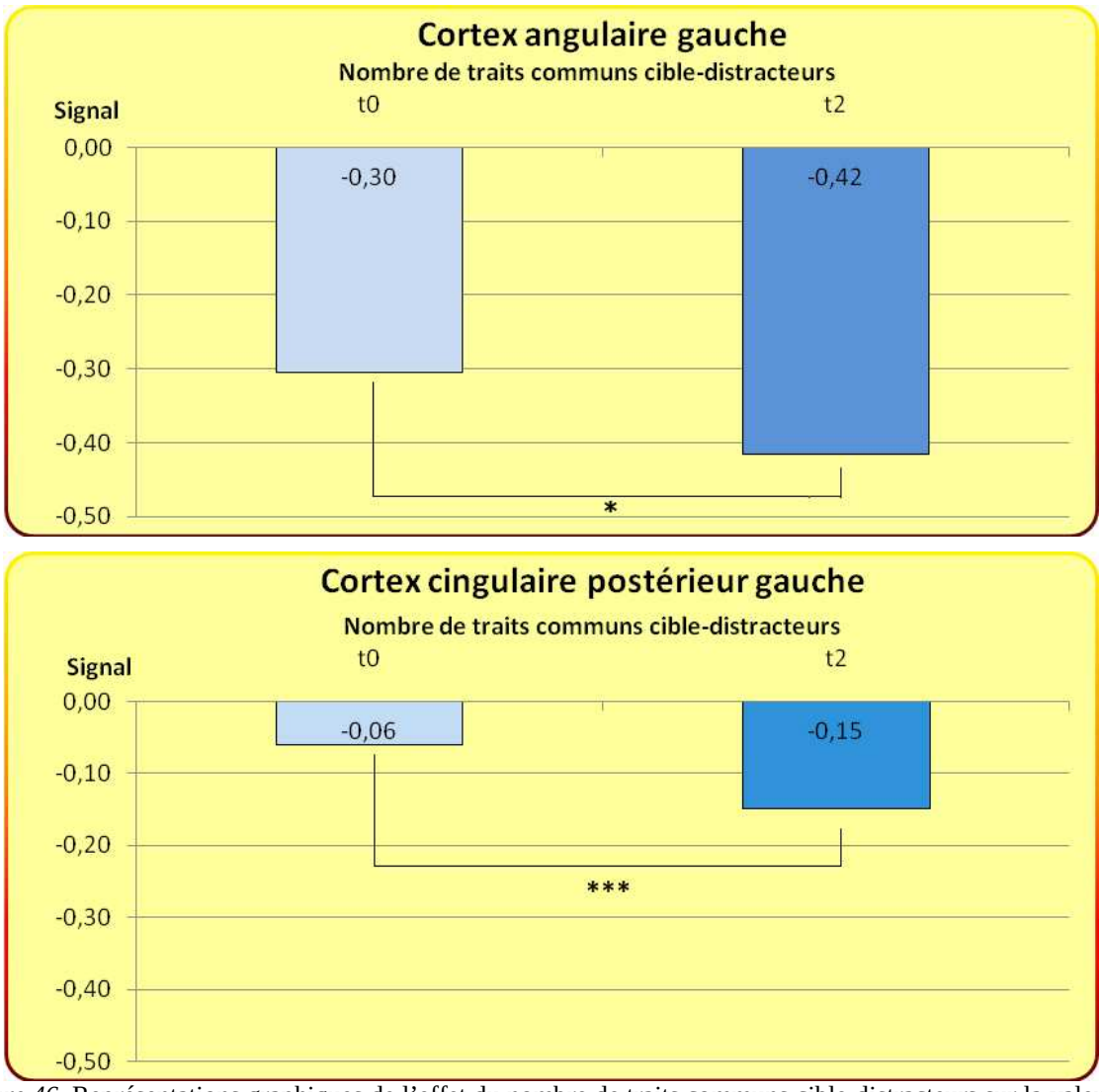


Figure 46. Représentations graphiques de l'effet du nombre de traits communs cible-distracteurs sur la valeur du signal des cortex angulaire et cingulaire postérieur gauches chez les adultes.

L'effet simple du nombre d'items était significatif sur la valeur du signal du cortex frontal médian ($F(2,58)=3.56$; $p<.05$) et sur celle du cortex angulaire droit ($F(1,58)=5.5$; $p<.01$). Le signal diminuait avec l'augmentation du nombre d'items dans ces deux régions (figure 47). L'effet simple du nombre d'items n'était pas significatif sur la valeur du signal du cortex angulaire gauche ($F(1,58)=1.7$; n.s.), du cortex cingulaire postérieur gauche ($F(2,58) < 1$; n.s.) et droit ($F(2,58)<1$; n.s.).

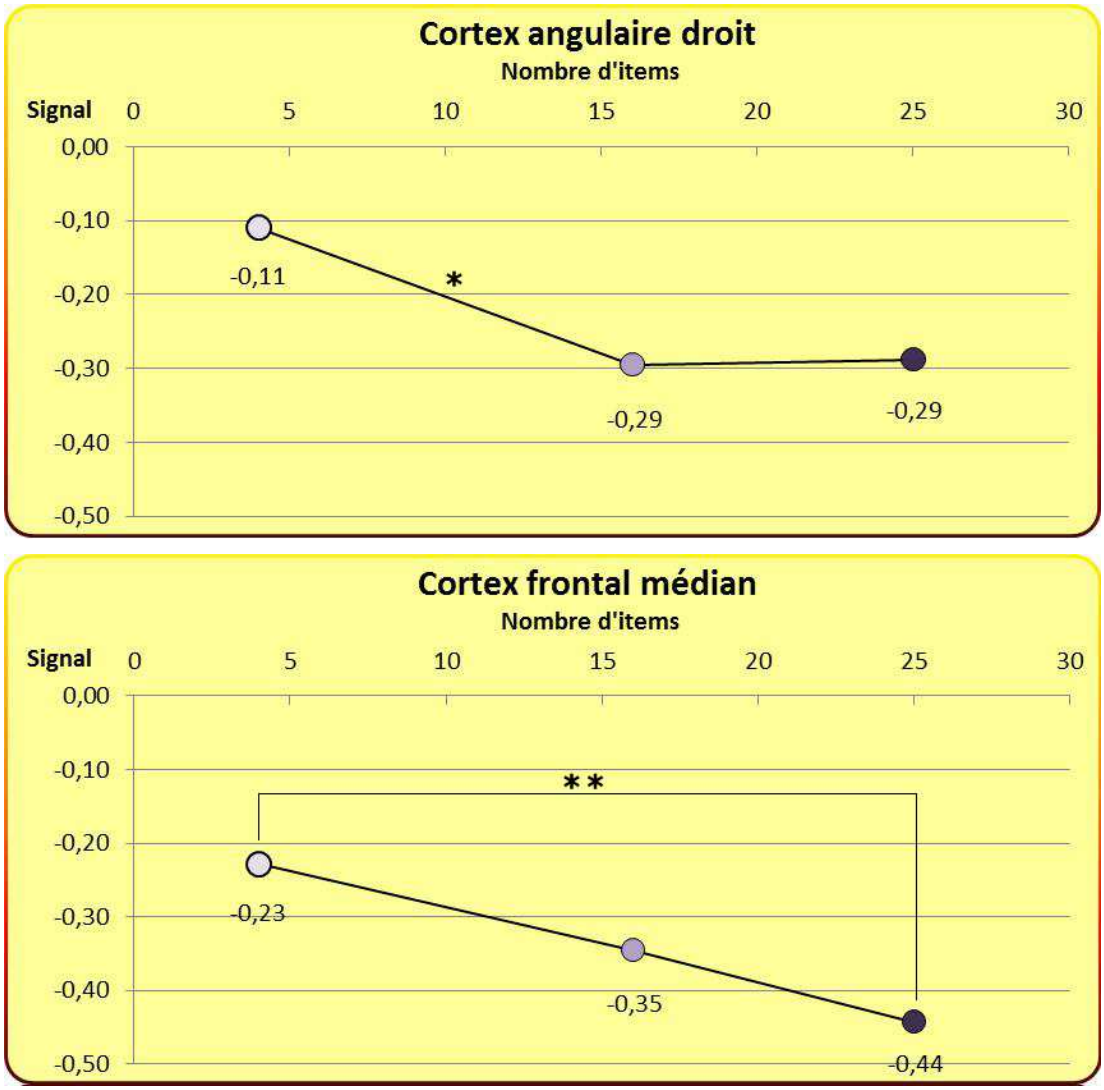


Figure 47. Représentations graphiques de l'effet du nombre d'items sur la valeur du signal du cortex angulaire droit (en haut) et du cortex frontal médian (en bas) chez les adultes.

L'effet d'interaction entre le nombre de trait commun cible-distracteurs et le nombre d'items était significatif sur la valeur du signal du cortex cingulaire postérieur droit ($F(2,58)=3.31$; $p<.05$). Les analyses de contraste ont précisé que dans la condition t0, le signal diminuait entre 4 and 16 items, mais il n'y avait pas de différence entre 16 et 25 items. Dans la condition t2, le nombre d'items n'avait aucune influence sur le signal (figure 48). L'effet d'interaction entre le nombre de traits communs cible-distracteurs et le nombre d'items n'était pas observé sur la valeur du signal des cortex angulaires gauche ($F(2,58)<1$; n.s.) et droit ($F(2,58)<1$; n.s.), du cortex cingulaire postérieur gauche ($F(2,58)=1.89$; n.s.), et du cortex frontal médian ($F(2,58)=1.78$; n.s.).

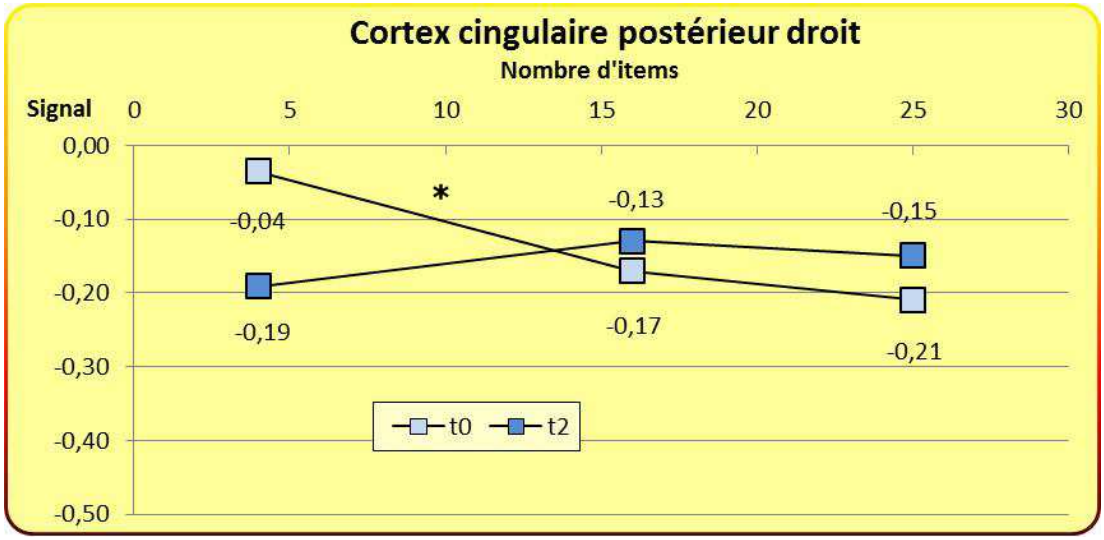


Figure 48. Représentation graphique de l'effet d'interaction entre le nombre de traits communs cible-distracteurs et le nombre d'items sur la valeur du signal du cortex cingulaire postérieur droit chez les adultes.

3.3.2. Les analyses sur le groupe des enfants et des adolescents

3.3.2.1. Le réseau d'activation

Les analyses en conjonction ont révélé les régions cérébrales activées dans la condition t0 communes à la présentation de 4, 16 et 25 items (figure 49). Dans les trois situations expérimentales de la condition t0, le groupe de participants enfants et adolescents a présenté une activation de certaines régions cérébelleuses, occipitales bilatérales, du cortex pariétal supérieur droit, du cortex temporal gauche, du cortex insulaire droit, des aires motrices supplémentaires, du cortex frontal inférieur droit et du thalamus. Dans la condition t2 avec 4, 16 et 25 items, les analyses ont montré une activation de certaines régions cérébelleuses, du cortex pariétal inférieur gauche et supérieur droit, des aires motrices gauches, du cortex insulaire bilatéral, et le thalamus.

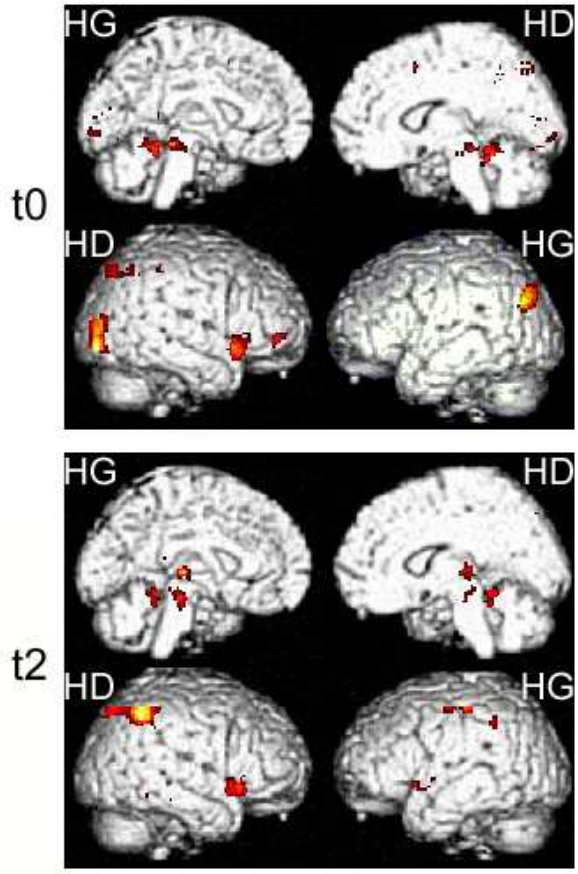


Figure 49. Cartes d'activation communes à la présentation de 4, 16 et 25 items de la condition t0 (en haut) et de la condition t2 (en bas) chez les enfants et les adolescents.

Les analyses de masquage ont révélé les différences significatives d'activation cérébrale liées à l'augmentation du nombre d'items dans chaque condition (tableau 13). Dans la condition t0, les analyses ont révélé une activation plus importante des régions occipitales quand 25 items étaient présentés comparé à 4 items. Dans la condition t2, le cortex frontal inférieur gauche était plus activé dans la condition t2 lorsque 25 items plutôt que quand 16 items étaient présentés.

Tableau 13. *Différences d'activation liées à l'augmentation du nombre d'items dans la condition t0 et dans la condition t2 chez les enfants et les adolescents.*

	Masque	**Coordonnées (x, y, z)**	**T**	**Taille du cluster**	**Localisation**
Condition t0	16-4			aucune différence significative	
	25-4	20, -92, -6	8.92	265 voxels	Cortex occipital droit
	25-16			aucune différence significative	
Condition t2	16-4			aucune différence significative	
	25-4			aucune différence significative	
	25-16	-40, 46, 4	6.16	109 voxels	Cortex frontal inférieur gauche

Puis nous avons regardé s'il y avait des corrélations entre les activations cérébrales et l'avancée en âge. Les résultats n'ont montré aucune corrélation positive significative avec l'âge pour chacune des six situations expérimentales. Autrement dit, dans les six situations, aucune région cérébrale ne présentait une augmentation de l'activation liée à l'avancée dans l'âge des participants. Cependant, les résultats ont révélé des corrélations négatives significatives entre les cartes d'activation cérébrale et l'avancée dans l'âge (tableau 14). Dans la condition t0 avec 4 items, le cervelet, le cortex occipital, et le cortex temporal gauche présentaient une activation diminuant avec l'augmentation de l'âge des participants. Dans la condition t0 avec 16 items, l'activation du cortex occipital, et du cortex frontal inférieur gauche diminuait avec l'âge. Dans la condition t0 avec 25 items, le cervelet, et le cortex frontal inférieur bilatéral avaient une activation qui diminuait avec l'âge des participants. Dans la condition t2 avec 4 items, le cervelet et le cortex occipital présentaient une activation diminuant significativement avec l'âge. Dans la condition t2 avec 16 items, l'activation du cervelet, du cortex occipital et du cortex cingulaire droit diminuait avec l'âge. Enfin, dans la condition t0 avec 25 items, aucune région ne présentait de diminution de l'activation avec l'âge.

Tableau 14. *Régions cérébrales corrélant négativement avec l'âge des participants enfants et adolescents dans chacune des situations expérimentales.*

	t0 avec 4 items			**t0 avec 16 items**			**t0 avec 25 items**			**t2 avec 4 items**			**t2 avec 16 items**			**t2 avec 25 items**		
	x y z	T	taille	x, y, z	T	taille	x y z	T	taille	x y z	T	taille	x y z	T	taille	x y z	T	taille
Cervelet	4 -60 8	5.4	348				6 -46 -20	6.0	164	-6 -54 -8	5.0	123	-8 -62 -8	6.0	178			
Cortex occipital	4 -60 8	5.4	348				-38 -70 10	6.1	172	4 -68 8	5.4	381	-8 -62 -8	6.0	178			
Cortex temporal gauche	-54 -32 0	4.6	111															
Cortex cingulaire moyen													12 -22 32	7.4	416			
Cortex frontal inférieur gauche				-44 40 -10	5.4	84	-46 10 14	5.3	141									
Cortex frontal inférieur droit							60 16 20	6.5	279									

3.3.2.2. Le réseau de déactivation

Les analyses de contraste ont montré qu'avec 4 items dans la condition t0 et dans la condition t2, aucune région du cerveau n'était plus activée au repos que durant la phase d'activation. La figure 50 présente les déactivations cérébrales significatives dans les quatre autres situations expérimentales. Dans la condition t0 avec 16 items, le cortex cingulaire postérieur était déactivé, et avec 25 items le cortex angulaire bilatéral était également déactivé. Dans la condition t2 avec 16 items, une partie du cervelet, le cortex cingulaire postérieur et le cortex frontal médian étaient déactivés. Dans la condition t2 avec 25 items le cortex angulaire droit était déactivé.

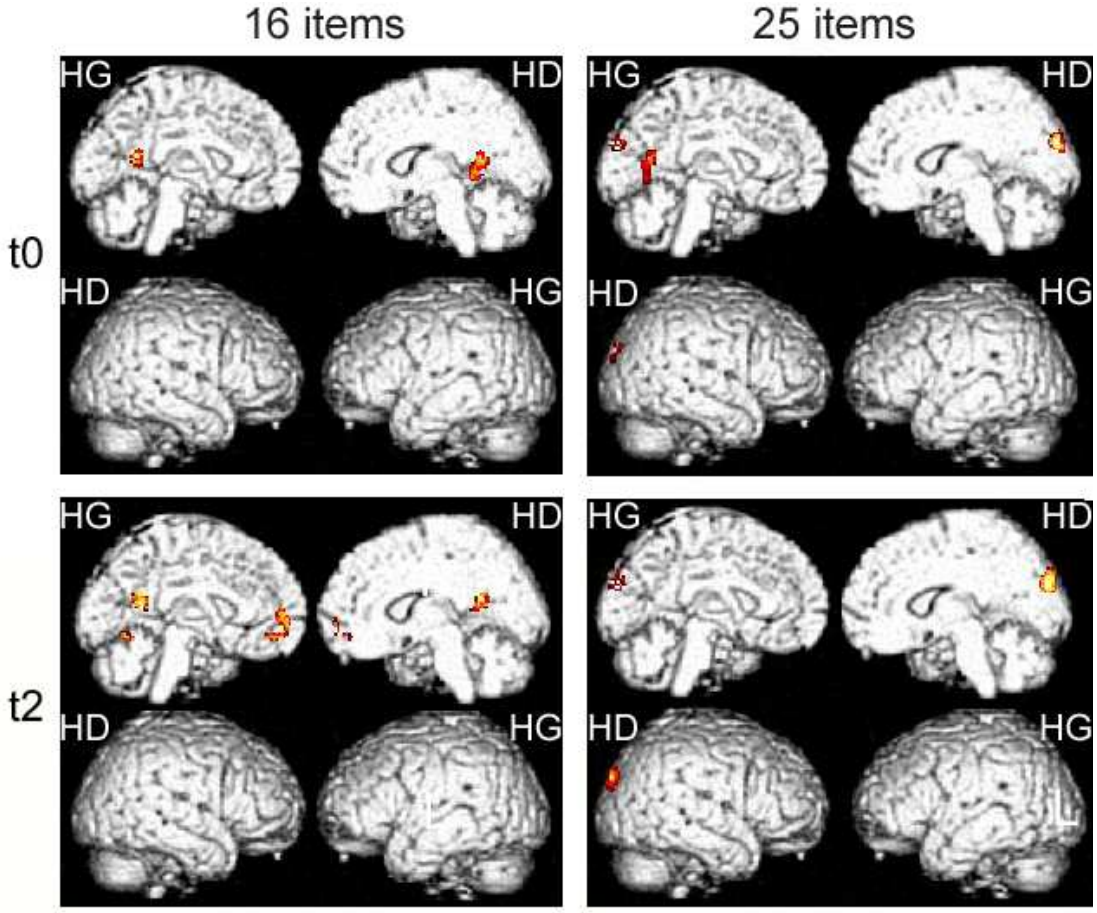


Figure 50. Carte de déactivation cérébrale dans les conditions t0 (en haut) et t2 (en bas) avec 16 (à gauche) et 25 items (à droite) chez les enfants et les adolescents.

Enfin nous avons extrait le signal dans quatre régions du réseau de déactivation de ce groupe de participants d'enfants et d'adolescents : le cortex angulaire bilatéral, le cortex cingulaire postérieur et le cortex frontal médian. Les analyses de variance n'ont montré aucun effet simple significatif du nombre de traits communs cible-distracteurs sur la valeur du signal des ROI: cortex angulaires gauche ($F(1,14)<1$; n.s.) et droit ($F(1,14)<1$; n.s.), cortex cingulaire postérieur ($F(1,14)=2.6$; n.s.) et cortex frontal médian ($F(1,14)=1.9$; n.s.). Comme le montre la figure 51, les analyses ont montré un effet simple significatif du nombre d'items sur la valeur du signal du cortex cingulaire postérieur ($F(2,28)=3.9$; $p<.05$) et du cortex frontal médian ($F(2,28)=3.6$; $p<.05$). Entre 4 et 16 items, le signal diminuait, puis se stabilisait entre 16 et 25 items. Par contre, il n'y avait pas d'effet simple significatif du nombre d'items sur la valeur du signal des cortex angulaires gauche ($F(2,28)<1$; n.s.) et droit ($F(2,28)=2.0$; n.s.).

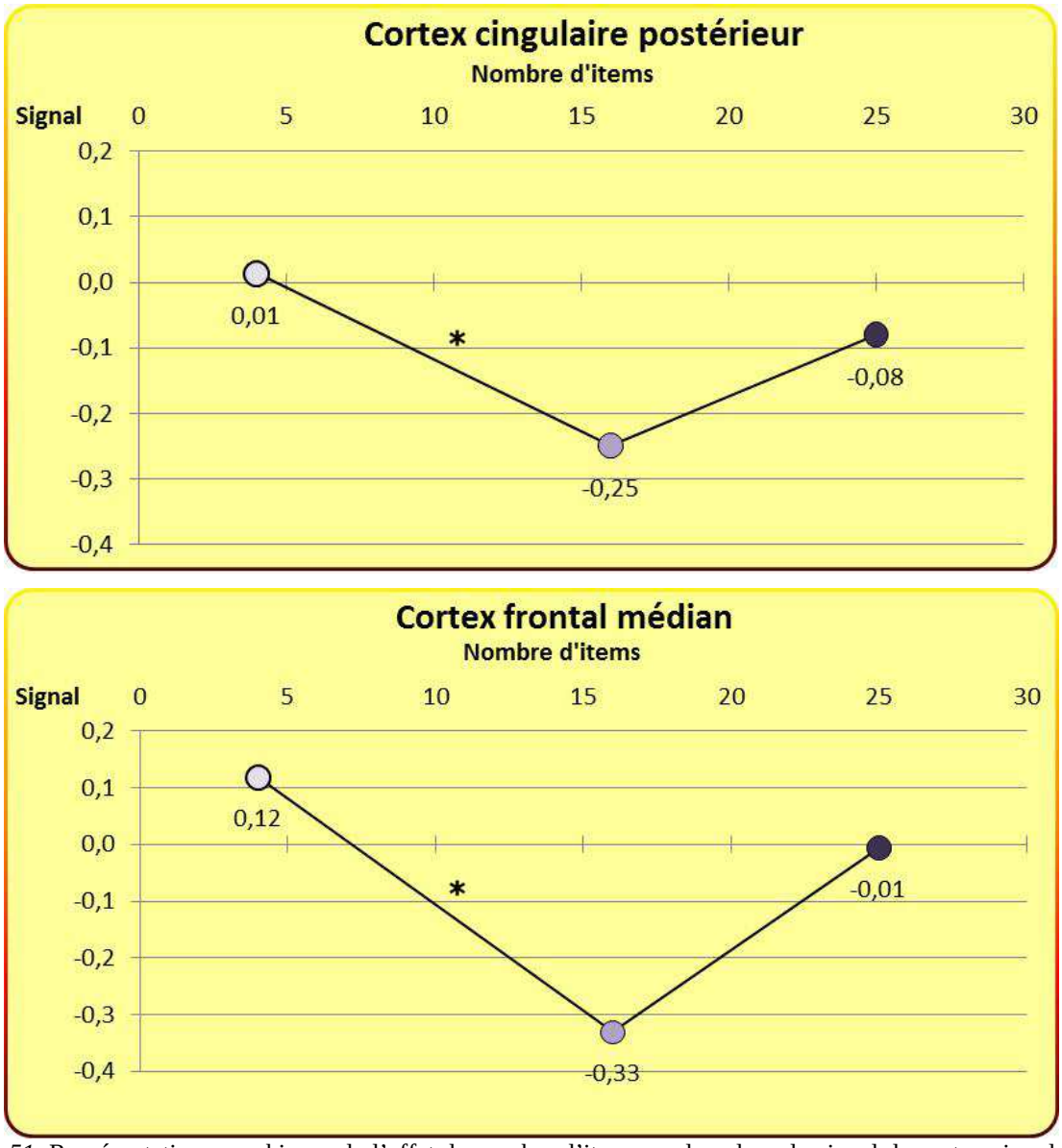


Figure 51. Représentations graphiques de l'effet du nombre d'items sur la valeur du signal du cortex cingulaire postérieur (en haut), du cortex frontal médian (en bas) chez les enfants et les adolescents.

Les analyses de variance n'ont révélé aucun effet d'interaction significatif entre le nombre de traits communs cible-distracteurs et le nombre d'items sur la valeur du signal des ROI: cortex angulaires gauche ($F(2,28)=1.1$; n.s.) et droit ($F(2,28)<1$; n.s.), cortex cingulaire postérieur ($F(2,28)=2.1$; n.s.) et cortex frontal médian ($F(2,28)<1$; n.s.).

3.4. Discussion

L'objectif dans cette expérience était l'étude des différences développementales liées à la dissociation entre les processus automatiques et contrôlés de l'attention sélective visuelle par l'analyse des réseaux de structures cérébrales qui les sous-tendent. Nous avons identifié le réseau de structures propre à la recherche parallèle et à la recherche sérielle. Chez les adultes, les réseaux cérébraux des recherches parallèles et sérielles se recouvraient en grande majorité, comme le suggère plusieurs recherches (Corbetta et al., 1991 ; Corbetta et al., 1995 ; Donner et al., 2000 ; Leonards et al., 2000 ; Pollman et al., 2000 ; Booth et al., 2003), avec l'implication commune du cervelet, des régions occipitales bilatérales, du cortex pariétal inférieur, du cortex insulaire droit, des aires motrices gauches, et du cortex frontal inférieur droit. Ces activations sont globalement cohérentes avec l'exécution d'une tâche attentionnelle motrice à partir d'informations visuelles. Le résultat surprenant venait du recrutement du cortex insulaire dans ce réseau. En effet, cette structure est généralement associée aux fonctions émotionnelles. Cette activation du cortex insulaire pourrait être liée au stress des participants durant cet examen IRM, qui se déroule dans un milieu confiné, bruyant et avec la nécessité d'une immobilisation totale. C'est l'implication du cortex pariétal supérieur qui distinguait les réseaux cérébraux des recherches parallèles et sérielles. Il semblait être spécifiquement inclus dans le réseau de la recherche sérielle, contrairement à l'étude de Leonards et al. (2000) qui avait révélé une implication de cette structure dans la recherche parallèle. Chez les enfants, les deux réseaux étaient également très proches et impliquaient le cervelet, le cortex occipital bilatéral, le cortex pariétal inférieur et supérieur droit, le cortex insulaire droit, et le thalamus. La principale différence entre les réseaux attentionnels des adultes et ceux des enfants et adolescents résidait dans l'implication du cortex pariétal supérieur droit chez les enfants dans les processus de recherche parallèle alors qu'il ne concernait que la recherche sérielle chez les adultes. Le cortex pariétal supérieur droit est connu dans la littérature des processus attentionnels chez l'adulte, comme ayant un rôle

important dans l'orientation spatiale. Ce résultat pourrait suggérer un caractère endogène dans la recherche parallèle chez les enfants et les adolescents.

L'analyse des différences d'activation liées à l'augmentation du nombre d'items dans la condition t0 a révélé, chez les adultes et chez les enfants, une activation plus importante des aires occipitales. Ce résultat suggère que chez les enfants comme chez les adultes la seule différence, due à l'augmentation du nombre d'items lors d'une recherche parallèle de la cible, concernait une analyse visuelle plus importante. Si avec le développement, l'influence du nombre d'items concernait les mêmes aires cérébrales lors de la mise en place de processus automatiques de l'attention sélective, ce n'était pas le cas lors de l'utilisation de processus contrôlés. En effet dans la condition t2, chez les adultes ces différences concernaient les aires occipitales, alors que chez les enfants des aires frontales y étaient associées. L'atteinte d'un niveau plus antérieur du cerveau suggère chez les enfants et les adolescents une modification du réseau attentionnel avec l'augmentation du nombre d'items, dans la mise en place de processus sériels de l'attention sélective visuelle, et non plus des différences liées à une analyse visuelle.

Les analyses de corrélation ont permis de montrer des différences développementales dans les réseaux d'activation sous-tendant les processus de recherche parallèle et de recherche sérielle. Tout d'abord, ces analyses ont montré que dans cette tâche d'attention sélective visuelle, les différences liées à l'âge concernaient uniquement une diminution de l'activation, contrairement aux résultats qu'on peut trouver dans d'autres tâches comme des tâches de mémoire de travail (e. g. Casey et al., 2004.). En effet, dans cette tâche de recherche visuelle aucune région ne corrélait positivement avec l'âge. Le développement de la cognition d'un point de vue fonctionnel ne se résume donc pas à une diminution ou une augmentation globale de l'activation avec l'âge, il faut tenir compte de la spécificité de la fonction cognitive concernée. Concernant maintenant notre hypothèse, nous attendions une diminution de l'implication du cortex cingulaire et du thalamus avec l'âge, comme le suggère l'étude de Booth et al. (2003) qui a utilisé une procédure similaire à la nôtre. Cette hypothèse a été partiellement vérifiée. Les résultats ont effectivement montré une diminution de l'activation du cortex cingulaire avec l'âge en recherche sérielle, cependant aucune différence n'a été révélée concernant le thalamus, même si qualitativement le thalamus était activé chez les enfants et pas chez les adultes. D'autres régions que le cortex cingulaire présentaient une diminution de l'activation dans cette tâche. En effet, celle-ci s'accompagnait d'une baisse de

l'activation dans des régions cérébelleuses, occipitales, temporales et frontales. Enfin, nos résultats suggèrent un effet du type de recherche visuelle sur cette diminution de l'activation avec l'âge. En effet, dans les conditions t0 et t2, l'implication du cervelet et des régions occipitales était plus faible chez les participants les plus âgés. Cependant la diminution de l'activation des régions frontales avec l'âge semblait spécifique à la condition t0. Autrement-dit, la recherche parallèle d'une cible impliquait avec l'âge de moins en moins les régions frontales alors que ce n'était pas le cas pour la recherche sérielle, où l'implication des régions frontales était la même avec l'âge. La diminution de l'implication des régions cérébrales avec l'âge concernait un réseau plus étendu pour les processus de recherche parallèle que pour les processus de recherche sérielle. Nos résultats suggèrent donc des différences développementales dans le réseau d'activation entre les processus automatiques et contrôlés de l'attention sélective visuelle.

Certaines régions cérébrales présentaient une activité qui diminuait lors de l'exécution de cette tâche de recherche visuelle. Chez les adultes, ce réseau de déactivations impliquait le gyrus angulaire bilatéral, le cortex cingulaire postérieur et le cortex frontal médian. Nos résultats répliquent donc les données de la littérature (Geday & Gjedde, 2009 ; Grecius et al., 2003 ; Shulman et al., 1997 ; Sridharan et al., 2008 ; Van Horn, 2004). Les analyses de contraste ont suggéré un élargissement plus important du réseau avec l'augmentation du nombre d'items et en recherche sérielle comparé à la recherche parallèle (avec le recrutement du cortex angulaire gauche). L'analyse de variance sur les ROI a permis de préciser l'influence du nombre de traits communs cible-distracteurs et du nombre d'items sur la variation du signal dans ces régions. Cette analyse a montré que la diminution de l'activation des cortex angulaire et cingulaire gauches était plus importante lors d'une recherche sérielle de la cible que lors d'une recherche parallèle. L'activation du cortex angulaire droit et du cortex frontal médian diminuait avec l'augmentation du nombre d'items. Ces résultats suggèrent une mise en sommeil du réseau de déactivation plus importante d'une part pour les processus attentionnels contrôlés, et d'autre part avec une augmentation de l'information visuelle. Cette différence dans le réseau de déactivation entre les processus de recherche parallèle et sérielle va dans le sens des résultats de l'étude de Mayer et al. (2010). De plus, les analyses ont montré que l'activation du cortex cingulaire postérieur droit était stable lors d'une recherche sérielle, alors qu'elle diminuait avec le nombre d'items lors d'une recherche parallèle. Si on rapproche ce résultat des données comportementales de l'expérience 1, on

peut faire l'hypothèse que lors d'une recherche parallèle la diminution avec le nombre d'items de l'activation des structures du réseau de déactivation, est liée au maintien d'une performance comportementale efficace. Et lors d'une recherche sérielle, on peut penser que cette diminution de l'activation dans le réseau de déactivation atteigne un seuil, impliquant une stabilisation du niveau d'activation dans ces régions pour un nombre d'items élevé. Le fait de ne pas pouvoir déactiver davantage avec le nombre d'items pourrait participer à la perturbation retrouvée au niveau comportemental. Chez les enfants et les adolescents, le réseau de déactivation était semblable à celui des adultes avec l'implication du cortex angulaire bilatéral, du cortex cingulaire postérieur et du cortex frontal médian. Les enfants ont donc un réseau de déactivation proche de celui des adultes, comme le suggère l'étude de Vuontela et al. (2011), ce qui valide notre hypothèse de départ. Chez les enfants également, ce réseau semblait s'étendre avec le nombre d'items. Dans la recherche sérielle comparée à la recherche parallèle, le réseau d'aires déactivées s'étendait au cervelet et au cortex frontal médian, toutefois, cet élargissement du réseau ne se maintenait pas lors d'un affichage important d'items. Ce dernier résultat peut traduire une difficulté dans la mise en sommeil du réseau de déactivation lors de la sollicitation de processus attentionnels contrôlés. L'analyse de variance sur les ROI a confirmé une diminution de l'activation des aires du réseau de déactivation avec l'augmentation du nombre d'items, comme c'était le cas chez les adultes. Toutefois, on peut noter qu'alors que la déactivation de certaines régions, comme le cortex angulaire bilatéral, était modulée chez les adultes par le type de recherche visuelle ou le nombre d'items, ce n'était pas toujours le cas chez les enfants et les adolescents. Ceci suggère que la maturation du réseau de déactivation dans la recherche visuelle passe notamment par la modulation de l'activité de certaines régions en fonction du type de recherche et du nombre d'items. Autrement dit, la maturation du réseau de déactivation serait davantage due à une capacité de mise en sommeil différentielle en fonction de la nature du processus attentionnel en jeu, qu'à un recrutement de régions différentes avec l'âge.

Bien que l'expérience ait été réalisée sur un faible effectif d'enfants et d'adolescents (N=15), en raison de difficulté de recrutement, les résultats sont cohérents avec la littérature. L'ensemble de ces résultats comptent en somme deux démonstrations importantes de la dissociation développementale et fonctionnelle des processus automatiques et contrôlés de l'attention sélective visuelle, avec d'une part des différences dans le réseau d'activation, et d'autre part des différences dans le réseau de déactivation. Concernant le réseau d'activation,

cette dissociation a été observée avec un premier argument qui est le recrutement du cortex pariétal supérieur pour les processus attentionnels automatiques chez les enfants, alors que chez les adultes l'implication de cette structure était confinée aux processus attentionnels contrôlés. Un second argument démontrant cette dissociation développementale et fonctionnelle est la diminution de l'implication des aires frontales avec l'âge spécifique aux processus attentionnels automatiques, alors que ces régions étaient sollicitées de la même façon pour les processus attentionnels contrôlés. Concernant le réseau de déactivation, cette dissociation développementale et fonctionnelle a été révélée par une mise en sommeil différentielle des aires de ce réseau en fonction de la nature des processus attentionnels (automatiques ou contrôlées) moins importante chez les enfants et les adolescents que chez les adultes, pour qui le réseau de déactivation était modulé par la nature des processus attentionnels.

Il serait tout de même intéressant de confirmer ces résultats dans une étude comptant davantage d'inclusions. De plus, une amélioration de la consigne lors des phases de repos pourrait être proposée. En effet, nous avons vu que la détermination des réseaux d'activation et de déactivation prenait en compte l'activité durant la phase de repos. C'est pour cette raison que des recherches proposent maintenant diverses consignes durant la phase de repos comme garder les yeux fermés, fixer un stimulus visuel ou encore avoir une activité motrice basique (e.g. Shulman et al., 1997). Enfin, concernant les analyses en conjonction, elles ont montré des réseaux moins étendus chez les enfants et les adolescents que chez les adultes. Ceci peut être dû à l'hétérogénéité liée à l'âge du groupe d'enfants et d'adolescents dont on sait que des modifications cérébrales liées à la maturation du cerveau sont en jeu. Pour le groupe d'adultes, même si l'écart type des âges était plus important, au niveau cérébral ils se situaient à des âges où le cerveau est déjà mature. Les adultes étaient donc beaucoup plus homogènes entre eux que le groupe d'enfants et d'adolescents. Cette hétérogénéité chez les enfants explique certainement pourquoi les réseaux d'activation d'aires communes étaient moins importants. Il serait donc intéressant de reproduire cette expérience avec davantage de participants afin de constituer des groupes d'âge plus fins.

Résumé du chapitre 1

Dans ce chapitre, notre objectif était d'étudier les différences développementales liées à aux processus automatiques et contrôlés de l'attention sélective visuelle, d'une part en abordant différents niveaux de traitement des processus attentionnels, et d'autre part en utilisant deux approches complémentaires, l'approche comportementale et l'approche en imagerie fonctionnelle.

Dans les expériences 1 et 2, nous avons observé une dissociation entre les processus automatiques et contrôlés de l'attention sélective visuelle relatifs au traitement de formes visuelles simples et à l'analyse sémantique d'une scène. En effet, nos résultats ont montré que les processus automatiques sont efficaces dès 7 ans, en accord avec l'étude d'Alder et Orprecio (2006) qui a révélé un effet *pop-out* chez des nourrissons. Les processus contrôlés, eux, deviennent matures plus tardivement. Les données de la littérature suggèrent qu'ils atteignent maturité entre 7 et 10 ans (Akshoomoff, 2002 ; Garrad-Cole et al., 2011 ; Klenberg et al., 2001 ; Rueda et al., 2005). Les résultats des expériences 1 et 2 ont révélé que cette maturation se réalise encore plus tardivement au cours de l'adolescence, qu'il s'agisse de processus attentionnels contrôlés guidant l'exploration visuelle de scènes comme de processus attentionnels contrôlés responsable de la recherche sérielle de formes visuelles simples.

Avec l'expérience 3, nous avons pu étudier comment s'organisent les réseaux cérébraux d'activation et de déactivation sous-tendant cette dissociation développementale entre les processus automatiques et contrôlés de l'attention sélective visuelle. Tout d'abord, nos résultats ont montré du niveau d'implication de certaines régions cérébrales avec l'âge lors de la mise en œuvre de ces processus. Un argument en faveur d'une dissociation développementale et fonctionnelle entre les processus automatiques et contrôlés de l'attention sélective visuelle, provient du fait que la cette diminution de l'implication des aires frontales avec l'âge spécifique aux processus attentionnels automatiques, alors que ces régions étaient sollicitées de la même façon pour les processus attentionnels contrôlés. De plus, nos résultats ont montré qu'alors que le cortex pariétal supérieur n'était recruté chez les adultes que lors de processus attentionnels contrôlés, chez les enfants cette structure était déjà impliquée lors de processus automatiques. Examiné en relation avec les données de l'expérience 1, ce dernier résultat suggère que le maintien d'une performance comportementale proche de celle des

adultes lors de l'exécution de processus attentionnels automatiques, nécessite chez les enfants et les adolescents l'implication du cortex pariétal supérieur, structure connue pour avoir un rôle dans l'orientation visuo-spatiale et le filtrage des entrées sensorielles (Behrman et al., 2004 ; Corbetta et al., 1995). Enfin, avec l'étude du réseau de déactivation, cette dissociation développementale et fonctionnelle a été révélée par une mise en sommeil différente de ce réseau suivant la nature des processus attentionnels (automatiques ou contrôlées) chez les adultes, alors que chez les enfants et les adolescents, cette mise en sommeil différentielle était moins importante. Dans les deux cas, la mise en sommeil du réseau était moins importante lors de l'exécution de processus contrôlés que lors de processus automatiques. En observant ce résultat avec ceux de l'expérience 1, nous avons proposé l'hypothèse que cette mise en sommeil moins importante du réseau de déactivation durant la mise en œuvre de processus contrôlés, participe à la dégradation des performances comportementales liée à l'augmentation de la quantité d'informations visuelles.

Chapitre 2 :
Les dysfonctionnements attentionnels chez les enfants traités pour une tumeur de la fosse postérieure

Les tumeurs de la fosse postérieure sont les tumeurs les plus fréquentes chez l'enfant. Actuellement, de nombreuses recherches émergent auprès de cette population, afin de définir et expliquer les troubles cognitifs qui surviennent chez ces enfants longtemps après la fin des traitements malgré une imagerie morphologique apparemment normale, en dehors la zone lésée consécutivement à l'ablation de la tumeur (Kieffer-Renaux et al., 2005 ; Riva & Giorgi, 2000 ; Steinlin et al., 2003). Ces déficits concernent de nombreuses fonctions cognitives (De Smet et al., 2009 ; Kieffer-Renaux et al., 2000 ; Konczak et al., 2005 ; Steinlin et al., 2003) dont l'attention (Akshoomoff & Courchesne, 1992 ; Mulhern et al. 1998), même si l'altération de l'attention n'est pas encore bien définie chez ces patients, tant au niveau comportemental qu'au niveau anatomo-fonctionnel.

Les résultats de l'étude de Gottwald et al. (2003) ont montré que les processus d'attention sélective étaient préservés chez des patients adultes ayant une lésion du cervelet, cependant, ils présentaient une instabilité des réponses. Une procédure expérimentale plus fine permettrait d'en apprendre davantage sur la perturbation de ces processus chez les enfants traités pour une tumeur de la fosse postérieure.

Ce chapitre constitue une étude exploratoire dans laquelle des données ont été apportées afin de mieux définir l'altération de l'attention sélective visuelle chez les enfants ayant été traité pour une tumeur de la fosse postérieure. Comme dans le précédent chapitre, nous nous sommes intéressés aux différences liées au niveau du traitement attentionnel et à la complémentarité entre l'approche comportementale et l'approche en imagerie cérébrale. Les deux premières expériences (expériences 4 et 5) rendent compte de la dissociation entre les processus attentionnels automatiques et contrôlés de l'attention sélective visuelle chez ces patients, mis en jeu dans deux situations attentionnelles : la détection de formes visuelles simples dans l'expérience 4 et l'analyse sémantique de scènes visuelles dans l'expérience 5. Le but de ces expériences était d'étudier si les processus d'attention sélective visuelle liés à différents niveaux de traitement étaient altérés différemment dans cette pathologie. Puis dans

la dernière expérience (expérience 6) les réseaux cérébraux qui sous-tendent les processus attentionnels précoces chez ces patients ont été étudiés, afin d'évaluer leur modification éventuelle dans cette pathologie. Ces résultats ont notamment été discutés en fonction des données de l'expérience 4, afin d'apprécier l'intérêt d'une double approche comportementale et fonctionnelle.

1. Etude comportementale du dysfonctionnement des processus d'attention sélective visuelle lors de la détection de formes visuelles simples chez des enfants traités pour une tumeur de la fosse postérieure (Expérience 4)

1.1. Objectif et hypothèses

L'objectif de cette expérience était d'évaluer l'atteinte des processus automatiques et contrôlés de l'attention sélective visuelle liés à la recherche visuelle d'une cible, chez des patients traités pour une tumeur cérébelleuse au moins deux ans auparavant. Les performances des patients ont été comparées à celle d'un groupe de témoins appariés.

Globalement, on s'attendait à un ralentissement général chez les patients, qui présentent d'après la littérature un ralentissement du traitement de l'information (Kieffer-Renaux et al., 2000). On a donc fait l'hypothèse d'un allongement des TR chez les patients comparés aux témoins. Steinlin et al. (2003) ont montré avec une tâche d'attention divisée, que plus la tâche nécessitait un contrôle attentionnel, plus les patients étaient en difficulté. Par conséquent, nous nous attendions à ce que les processus attentionnels contrôlés soient plus altérés que les processus automatiques qui devraient être préservés. Cette seconde hypothèse devrait se traduire d'une part par une préservation des performances avec le nombre d'items lors d'une recherche parallèle de la cible chez les patients comme chez les témoins, et d'autre part, par une perturbation des performances avec l'augmentation du nombre d'items lors d'une recherche sérielle plus importante chez les patients que chez les témoins.

1.2. Méthode

1.2.1. Participants

Dix enfants ayant été traités pour une TFP ont été recrutés à l'hôpital Pellegrin de Bordeaux pour cette expérience. Leurs caractéristiques démographiques et leur histoire médicale sont présentées dans le tableau 15. Ce groupe était composé de quatre garçons et six filles, avec une moyenne d'âge de 12.8 ans +/- 2.9 ans. Parmi ces patients, neufs étaient droitiers. Seuls deux patients étaient scolarisés dans un établissement spécialisé, les autres

suivaient une scolarisation normale. Ces patients ont été diagnostiqués à des âges différents (entre 1 an et 10 ans). Dans la majorité des cas, la tumeur était un médulloblastome, et c'est le vermis qui était atteint. Ils ont tous été opérés pour retirer la tumeur. Neuf patients sur dix ont été traités par une irradiation crânio-spinale (ICS) et une irradiation de la fosse postérieure (IFP). Le traitement par radiothérapie diffèrait selon les patients. Quatre patients ont reçu une radiothérapie mono-fractionnée, c'est-à-dire que le patient recevait une certaine dose de radiation en une fois, il s'agit du traitement classique. Et trois patients ont été traités avec une radiothérapie bi-fractionnée, pour laquelle la dose de radiation était fractionnée en deux séances rapprochées. Tous les patients sauf un ont été traité par chimiothérapie.

Tableau 15. *Données démographiques et histoire médicale des patients participant à l'expérience 4.*

	Patients	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Données démographiques	**Age**	14.6	16.6	10.9	15.2	13	15.9	12.7	9.2	7.9	12
	Genre	M	M	M	F	F	F	F	F	F	M
	Classe	4° spé	3°	6°	3° pro	5°	4°	6°	CM1	CE1	6° spé
	Latéralisation	G	D	D	D	D	D	D	D	D	D
Histoire médicale	**Age au diagnostic**	4.9	14.3	7.1	10.7	9.4	6.3	8.8	6.0	1.9	3.5
	Type de tumeur	med	med	med	rhab	med	med	med	med	ep	med
	Siège de la tumeur	hd	v	v	v	v	nr	v	hg	v	v
	ICS	bi	bi	bi	mono	mono	mono	mono	bi	-	mono
	IFP	bi	bi	bi	mono	mono	mono	mono	bi	-	mono
	Chimiothérapie	non	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui

bi : bi-fractionnée ; D : droitier ; ep : épendymome ; F : féminin ; G : gaucher ; hd : hémisphère droit ; hg : hémisphère gauche ; ICS : irradiation crânio-spinale ; IFP : irradiation de la fosse postérieure ; M : masculin ; med : médulloblasme ; mono : mono-fractionnée ; nr : non renseigné ; pro : classe professionnelle ; rhab : rhabdoïde ; spé : établissement spécialisé ; v : vermis.

Ces patients ont effectué un bilan neuropsychologique dans le cadre de leur suivi médical, comprenant notamment une évaluation de quatre indices du Quotient Intellectuel (QI) avec le WISC IV. Dans le tableau 16, qui présente le résultat de cette évaluation neuropsychologique, les scores déviants de la norme sont indiqués par une étoile. Six patients avaient un QI global normal ou proche de la norme. Les autres patients présentaient des scores trop hétérogènes dans les indices spécifiques pour le QI global soit interprétable. Globalement, les fonctions les plus altérées chez ces patients étaient la vitesse de traitement et

le raisonnement perceptif. Quatre patients présentaient une cognition normale (P1, P3, P8 et P9), quatre autres présentaient des déficits sélectifs (P2, P5, P7 et P10), et enfin deux patients avaient des déficits cognitifs globaux (P4 et P6).

Tableau 16. *Scores au WISC IV des patients de l'expérience 4.*

Patients	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Indice CV	108	114	108	84*	96	90	101	110	101	92
Indice RP	104	92	111	77*	84*	65*	73*	102	119	96
Indice MT	97	67*	121	79*	88	70*	85	112	94	85
Indice VT	88	83*	109	55*	88	64*	59*	93	115	73*
Indice global	101	-	116	-	86	-	-	107	110	83*

CV : compréhension verbale ; MT : mémoire de travail ; RP : raisonnement perceptif ; VT : vitesse de traitement ; * : score déviant de la norme (moyenne à 100 +/- 15).

Un groupe de dix enfants témoins apparié en âge et en genre a été constitué à partir des participants à l'expérience 1 du chapitre 1. Ce groupe compte six garçons pour quatre filles, avec une moyenne d'âge de 12.8 ans +/- 2.9 ans. Tous les témoins étaient droitiers.

1.2.2. Matériel et procédure

Nous avons utilisé pour cette expérience le paradigme de recherche visuelle de Treisman et Gelade (1980). Le même matériel et la même procédure que dans l'expérience 1 du chapitre 1 de cette partie expérimentale ont été réutilisés.

La tâche était donc une adaptation du paradigme de Treisman et Gelade (1980), elle consistait à répondre à la présence et à l'absence d'une cible présentée parmi d'autres items distracteurs. Nous avons manipulé le nombre de traits communs entre la cible et les distracteurs (T_2 : 0 ou 2) et le nombre d'items présentés (I_3 : 4, 16 ou 25). Les participants devaient détecter la présence d'un « **T** » présenté parmi deux types de distracteurs. Dans la condition t0, les distracteurs étaient des « **X** » (aucun trait commun avec la cible), et dans la condition t2, il s'agissait de « **X** » (même couleur que la cible) et de « **T** » (même la forme que la cible).

1.3. Résultats

Afin d'étudier l'effet du groupe de participants (G_2 : témoins ou patients), du nombre de traits communs entre la cible et les distracteurs (T_2 : 0 et 2) et du nombre d'items (I_3 : 4, 16 et 25), nous avons pris en compte trois indices : le temps de réponse (TR), la pente des TR en fonction du nombre d'items et le pourcentage de réponses correctes (%RC). Comme pour l'expérience 1, le TR brut a été filtré pour chaque participant à +/- 2,5 écart type de la moyenne spécifique à chacune des six situations expérimentales (T_2 x I_3). Les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel Statistica 8.0. Nous présenterons dans un premier temps les analyses effectuées sur les réponses à la présence de la cible (réponses positives), dans le but de mettre à l'épreuve nos hypothèses. Puis dans un second temps, nous effectuerons des analyses complémentaires concernant les réponses à l'absence de la cible (réponses négatives).

1.3.1. Les résultats principaux : l'analyse des réponses positives

Une ANOVA a été effectuée sur le TR et le %RC suivant le plan expérimental $S_{10} <G_2> * T_2 * I_3$ et sur la pente en fonction du plan $S_{10} <G_2> * T_2$ afin d'étudier l'effet des facteurs liés à la tâche sur les deux groupes. Nous nous sommes centrés ici sur l'effet simple du groupe et ses effets d'interaction avec les autres facteurs, afin de nous focaliser sur les différences entre les patients et les témoins. Des analyses de contraste ont été effectuées de façon complémentaire, afin de préciser les effets significatifs. Dans le cas d'effet d'interaction lié au facteur groupe non significatif, des analyse de variance en sous plan ont été effectuées afin de déterminer séparément la sensibilité des patients et des témoins aux facteurs liés à la tâche. Ces ANOVA ont donc été effectuées suivant le plan $S_{10} * T_2 * I_3$ sur le %RC et le TR, et suivant le plan $S_{10} * T_2$ sur la pente. Ces ANOVA ont été si besoin complétées par des analyses de contraste. Les différences de moyenne significatives sont représentées sur les graphiques par une, deux ou trois étoiles en fonction du seuil de significativité : * quand $p<.05$, ** quand $p<.01$ et *** quand $p<.001$. Les écarts types sont représentés sur les graphiques par des barres verticales.

Comme le montre la figure 52, l'analyse de variance a montré un effet simple significatif du facteur groupe sur le TR ($F(1,18)=8.8$; $p<.01$) et non significatif sur le %RC ($F(1,18)=3.0$; n.s.) et sur la pente ($F(1,18)=2.8$; n.s.). Le TR était globalement plus élevé pour les patients que pour les témoins. Bien que le %RC fût plus faible et la pente plus élevée chez les patients que chez les témoins, ces effets n'atteignaient pas le seuil de significativité.

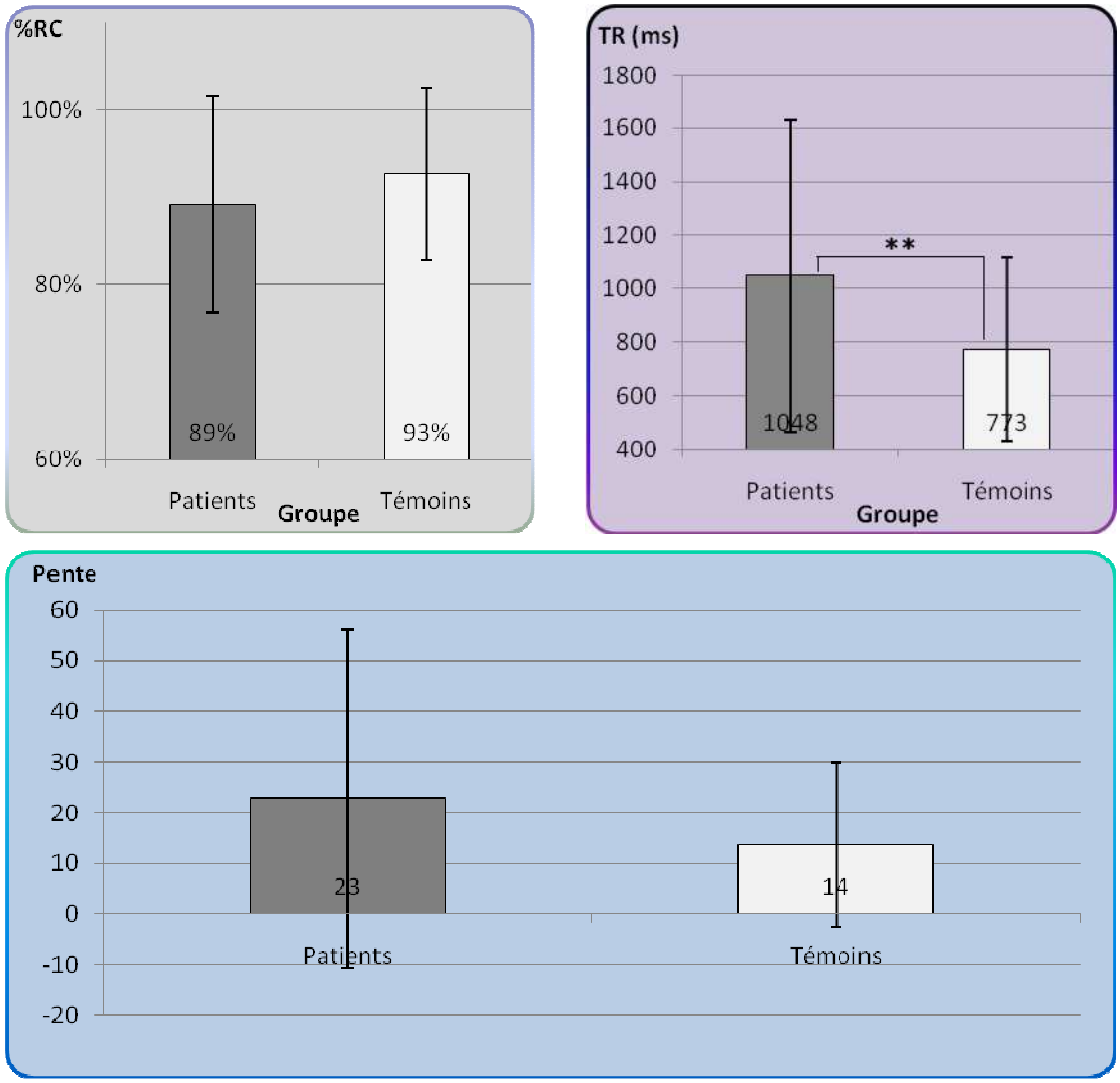


Figure 52. Représentations graphiques de la variation du % RC (en haut à gauche), du TR (en haut à droite) et de la pente (bas) chez les patients et les témoins.

L'analyse de variance a montré un effet d'interaction significatif entre le facteur groupe et le nombre de traits communs sur le TR ($F(1,18)=5.1$; $p<.05$) et non significatif sur le %RC ($F(1,18)=2.6$; n.s.) et sur la pente ($F(1,18)=2.1$; n.s.). Les analyses en sous plan ont révélé un effet significatif du nombre de traits communs cible-distracteurs sur le %RC et la pente chez les patients (%RC : $F(1,9)=49.7$; $p<.001$; pente : $F(1,9)=15.1$; $p<.01$) et chez les témoins (%RC : $F(1,9)=14.5$; $p<.01$; pente : $F(1,9)=49.0$; $p<.001$). Comme le montre la figure 53, l'allongement du TR dans la condition t2 par rapport à la condition t0 était plus important chez les patients que chez les témoins. Bien que descriptivement les résultats concernant le %RC et la pente aient révélé une dégradation plus importante des performances dans la condition t2 par rapport à la condition t0 chez les patients comparativement aux témoins, ces effets n'atteignaient pas le seuil de significativité.

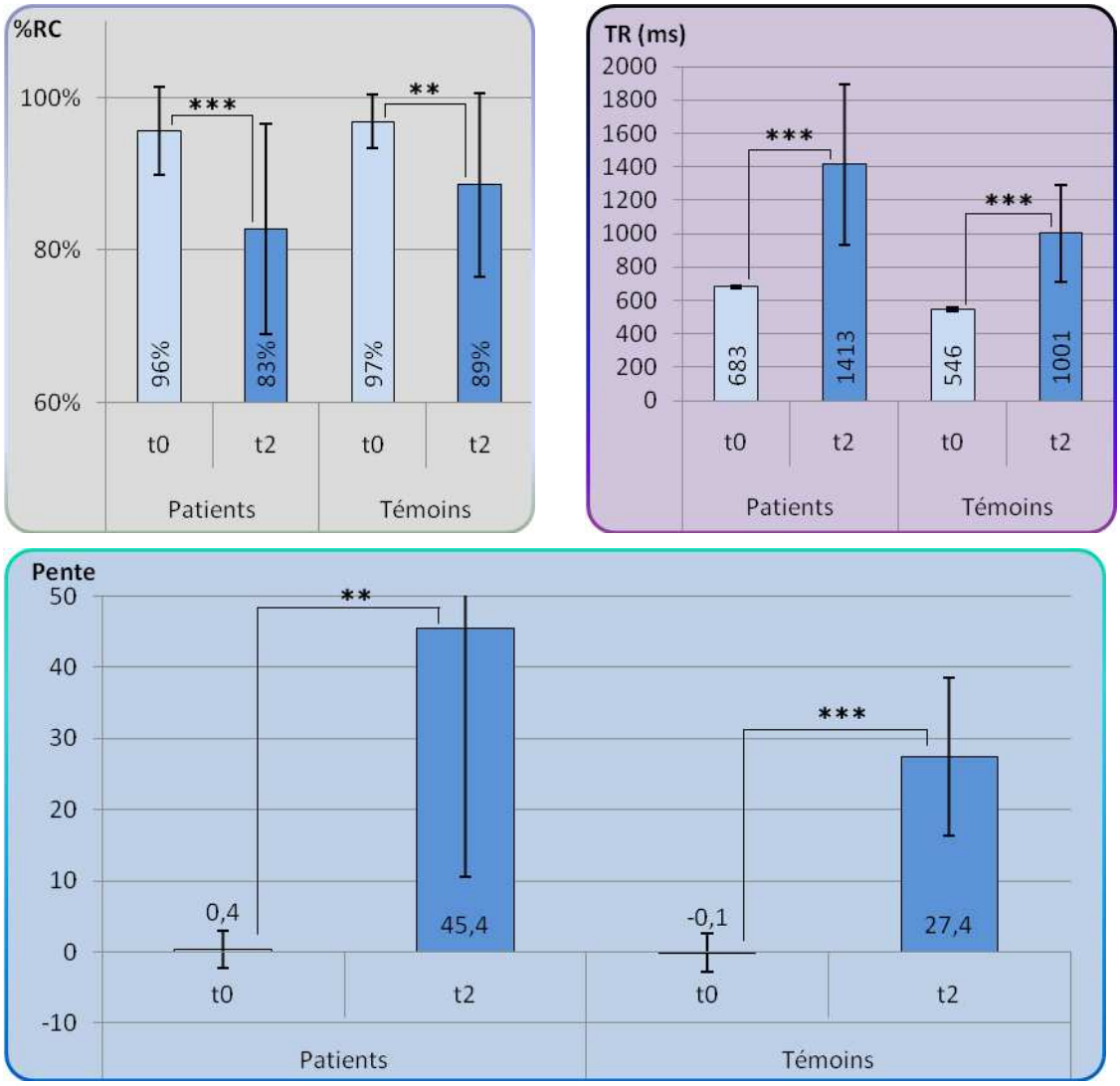


Figure 53. Représentations graphiques de la variation du % RC (en haut à gauche), du TR (en haut à droite) et de la pente (bas) en fonction du nombre de traits communs cible-distracteurs chez les patients et les témoins.

L'analyse de variance n'a pas montré d'effet d'interaction significatif entre le facteur groupe et le nombre d'items sur le %RC ($F(2,36)=1.5$; n.s.), ni sur le TR ($F(2,36)=2.3$; n.s.). Les analyses en sous plan ont révélé un effet significatif du nombre d'items sur le %RC ($F(2,18)=13.5$; $p<.001$) et sur le TR ($F(2,18)=16.5$; $p<.001$) chez les patients, chez les témoins cet effet était tendanciel sur le %RC ($F(2,18)=3.0$; $p=.08$) et significatif sur le TR ($F(2,18)=38.1$; $p<.001$). La diminution du %RC et l'augmentation du TR avec le nombre d'items était significativement la même chez les patients que chez les témoins (figure 54).

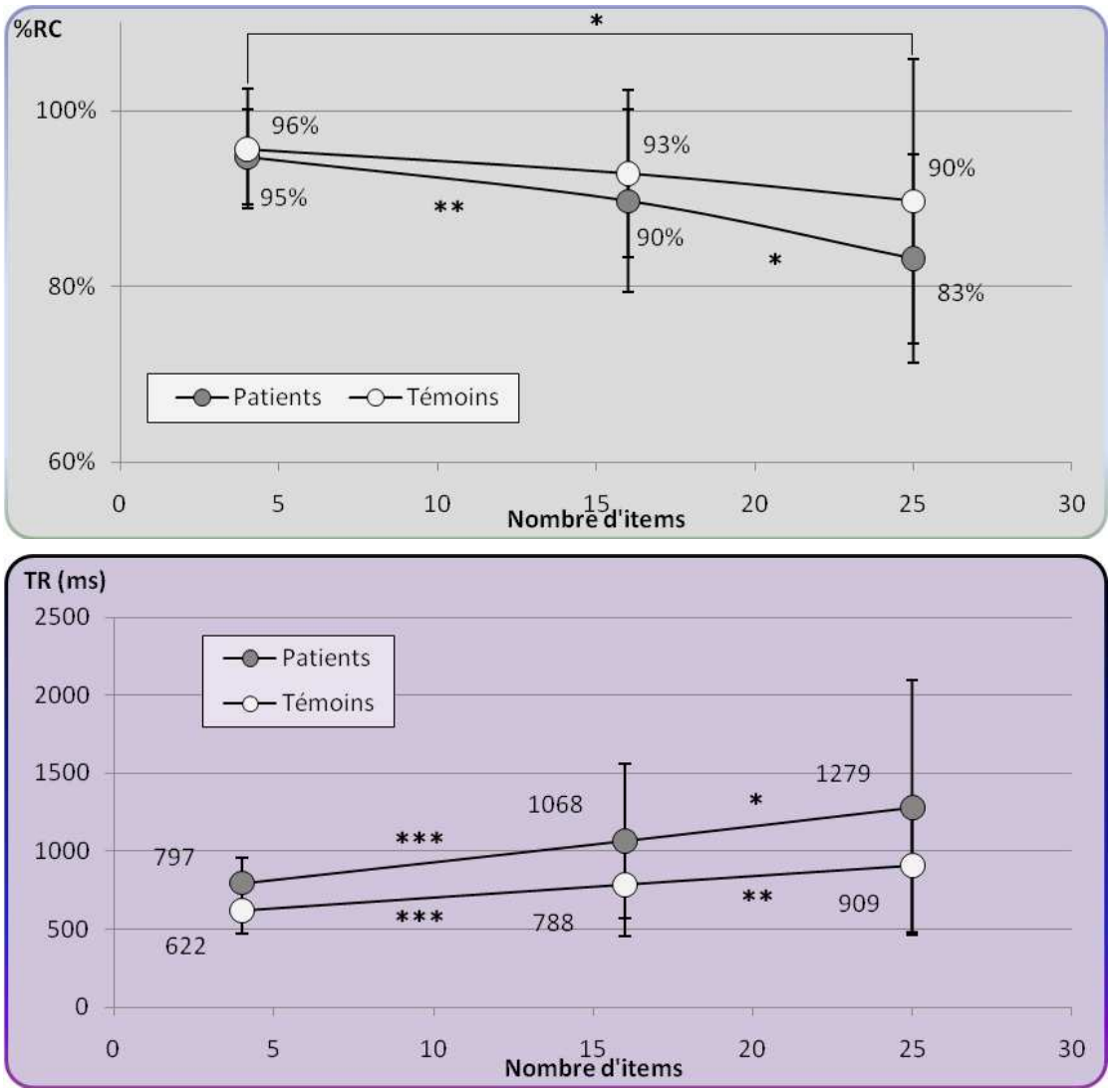


Figure 54. Représentations graphiques de la variation du % RC (en haut), du TR (en bas) en fonction du nombre d'items chez les patients et les témoins.

L’analyse de variance n’a pas révélé d’effet d’interaction significatif entre le facteur groupe, le nombre de traits communs cible-distracteurs et le nombre d’items (figure 55) sur le %RC ($F(2,36)=1.6$; n.s.), ni sur le TR ($F(2,36)=1.9$; n.s.). Les analyses de variances en sous plan ont montré un effet d’interaction significatif entre le nombre de traits communs entre la cible et les distracteurs et le nombre d’items sur le %RC ($F(2,18)=10.9$; $p<.001$) et le TR ($F(2,18)=14.4$; $p<.001$) chez les patients, cet effet était tendanciel sur le %RC ($F(2,18)=3.3$; $p=.06$) et significatif sur le TR ($F(2,18)=34.9$; $p<.001$) chez les témoins. Concernant le %RC, chez les patients comme chez les témoins, dans la condition t0 le %RC n’était pas influencé par le nombre d’items, alors qu’il diminuait avec le nombre d’items dans la condition t2. Même si descriptivement cette diminution semblait plus importante chez les patients que chez les témoins, cet effet n’atteignait pas un seuil de significativité. Il en était de même pour le TR. Alors que le TR ne variait pas avec le nombre d’items dans la condition t0, il augmentait avec le nombre d’items dans la condition t2. Même si cette augmentation était descriptivement plus importante chez les patients que chez les témoins, cet effet n’atteignait pas de seuil de significativité.

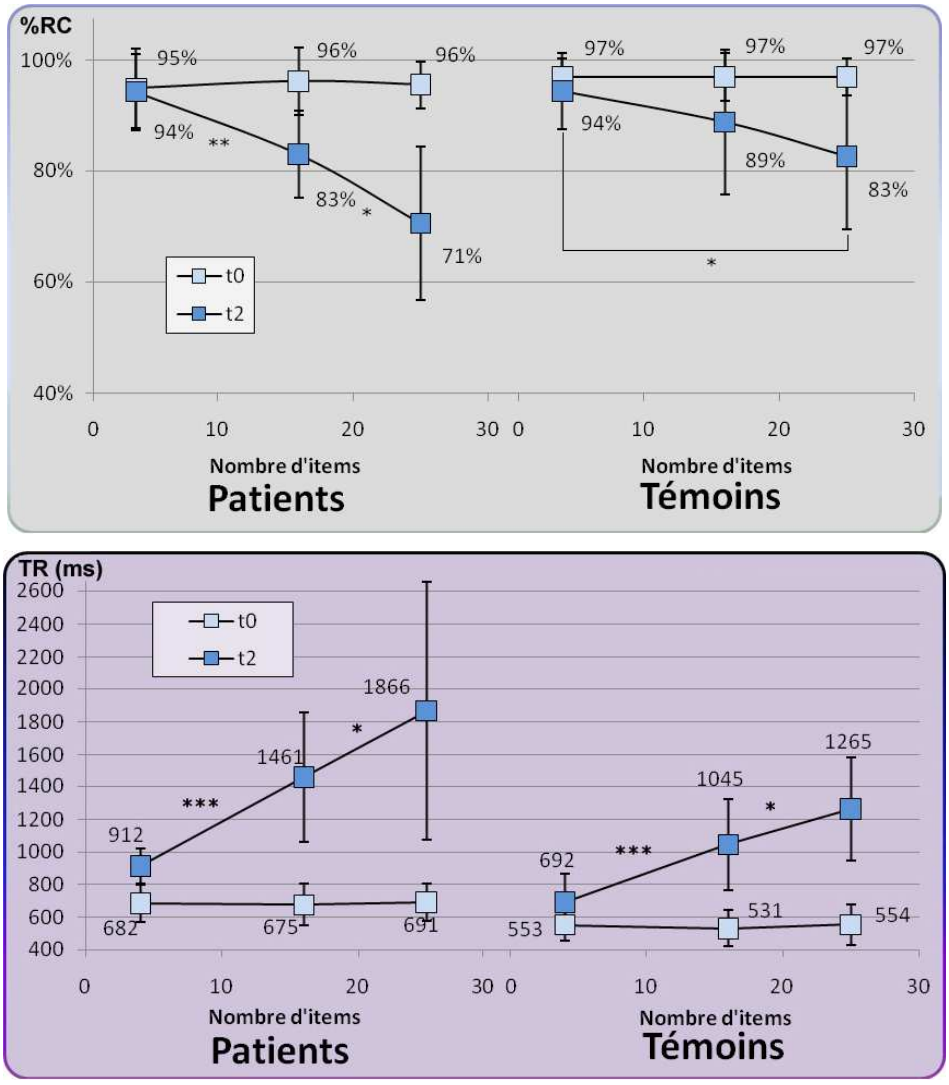


Figure 55. Représentations graphiques de la variation du % RC (en haut), du TR (en bas) enfonction du nombre de traits communs cible-distracteurs et du nombre d'items chez les patients (à droite) et les témoins (à gauche).

1.3.2. Les analyses complémentaires

Une ANOVA a été réalisée pour étudier l'effet du facteur présence de la cible C_2 (présente et absente) et ses interactions avec les autres facteurs sur le %RC et le TR selon le plan expérimental $S_{10} < G_2 > * C_2 * T_2 * I_3$ et sur la pente selon le plan $S_{10} < G_2 > * C_2 * T_2$. Les résultats sont résumés dans le tableau 17.

Tableau 17. *Analyses de variance de l'effet simple du facteur C et de ses intéractions avec les facteurs A, T et I sur le %RC, le TR et la pente.*

	Analyses sur le %RC		**Analyses sur le TR**		**Analyses sur la pente**	
	F	**p**	**F**	**p**	**F**	**p**
C	42.5	<.001	27.0	<.001	36.8	<.001
C x G	0.5	n.s.	2.1	n.s.	0.7	n.s.
C x T	58.7	<.001	33.7	<.001	37.0	<.001
C x I	17.0	<.001	22.4	<.001	-	-
C x G x T	2.1	n.s.	1.3	n.s.	0.0	n.s.
C x G x I	2.3	n.s.	0.5	n.s.	-	-
C x T x I	11.4	<.001	26.3	<.001	-	-
C x G x T x I	1.1	n.s.	0.0	n.s.	-	-

Le tableau 17 montre que les performances des participants étaient sensibles à la présence de la cible et aux autres facteurs de la tâche déjà étudiés (le nombre de traits communs cible-distracteurs et le nombre d'items). De façon générale, les performances lorsque que la cible était présente étaient meilleures que lorsque la cible était absente. Les effets du nombre de traits communs cible-distracteurs, du nombre d'items et leur interaction allaient dans le même sens pour les réponses négatives que pour les réponses positives (voir partie précédente), simplement ces effets étaient plus marqués pour les réponses négatives que pour les réponses positives. Cependant on peut observer que dans le tableau 17, les effets d'interaction incluant le facteur groupe n'étaient pas significatifs. Autrement dit, les effets des facteurs liés à la tâche étaient les mêmes chez les témoins et chez les patients.

1.4. Discussion

L'objectif de cette expérience était d'étudier l'atteinte des processus automatiques et contrôlés de l'attention sélective visuelle en jeu dans une tâche de recherche visuelle chez les enfants ayant été traités pour une TFP.

Les résultats chez les patients ont reproduit les effets classiques du paradigme de recherche visuelle adapté de Treisman et Gelade (1980). En effet, les performances des patients n'étaient pas influencées par le nombre d'items dans la condition t0, traduisant la mise en place d'une recherche parallèle de la cible, alors qu'elles étaient altérées avec l'augmentation du nombre d'items dans la condition t2 reflétant une recherche sérielle de la cible parmi les distracteurs. Les patients étaient globalement plus lents que les témoins pour détecter une cible. Comme prédit par les données de la littérature (Steinlin et al., 2003), les patients présentaient un ralentissement dans leur réponse. Cependant, les patients parvenaient à réaliser la tâche correctement, puisque leur %RC était aussi élevé que celui des témoins. On peut penser que chez les patients, le maintien d'un %RC élevé était rendu possible par une élévation des TR. Concernant plus précisément les processus attentionnels, les résultats ont révélé que chez les patients la pente n'était pas plus élevée que chez les témoins. Ceci suggère que les différences de TR reflétaient uniquement des problèmes de vitesse de traitement, et non une altération de l'attention. Les patients auraient donc des processus de recherche parallèle et sérielle préservés. En effet, les analyses statistiques sur la pente n'ont pas montré de différences en condition t0 comme en condition t2 entre les patients et les témoins. Cependant, l'analyse descriptive de la figure 53, qui montre la variation de la pente en fonction du nombre de traits communs entre la cible et les distracteurs dans les deux groupes, et de la figure 55, qui présente la variation du TR en fonction du nombre de traits communs cible-distracteurs et du nombre d'items, suggère d'autres résultats. En effet, on peut observer que dans la condition t0, comme le souligne l'analyse statistique, la pente était nulle dans les deux groupes. Toutefois, dans la condition t2, la pente semblait être plus marquée chez les patients que chez les témoins. De plus on peut constater grâce aux analyses de variance en sous plan, que l'effet d'interaction entre le nombre traits communs cible-distracteurs et le nombre d'items sur le %RC et sur la pente était plus faible chez les témoins que chez les patients. L'analyse descriptive et les analyse en sous plan suggèrent une préservation des processus automatiques de l'attention sélective visuelle, et une altération uniquement des

processus attentionnels contrôlés, comme nous en avions fait l'hypothèse à partir de l'étude de Steinlin et al. (2003).

Les analyses portant sur l'effet de la présence de la cible ont montré un ralentissement du TR pour les réponses négatives comparativement aux réponses positives. Ce résultat est classiquement observé dans la littérature. Selon le modèle de Chun et Wolfe (1996) cette augmentation du TR correspondrait à un temps de vérification. Les effets des facteurs liés à la tâche étaient plus marqués quand la cible était absente chez les patients et chez les témoins. Tous ces effets étaient du même ordre chez les patients et les témoins. Autrement dit, les patients ne faisaient pas davantage de vérification que les témoins.

Les analyses de variance n'ont été effectuées qu'auprès de dix patients et dix témoins à cause d'un problème de recrutement des patients. Hors ce type d'analyse nécessite des échantillons plus importants pour révéler des résultats fiables. Il serait intéressant voir indispensable pour pouvoir conclure, d'inclure davantage de patients afin de déterminer statistiquement si les processus contrôlés de l'attention sélective visuelles sont en effet altérés chez ces enfants traités pour une TFP. De plus, les patients de notre échantillon présentaient une certaine hétérogénéité dans leur histoire médicale. Nous avons vu dans la partie théorique, que certains facteurs comme l'âge de l'enfant au moment du diagnostic (George et al., 2003 ; Kieffer-Renaux et al., 2005 ; Mulhern et al., 1998 ; Palmer et al., 2003), la localisation de la tumeur (Steinlin et al., 2003), ou encore le traitement par radiothérapie (Copeland et al., 1999 ; Kieffer-Renaux et al., 2000 ; Mulhern et al., 2004) pouvaient influencer la sévérité des déficits cognitifs et attentionnels. Avec un échantillon aussi réduit, il aurait été préférable de diminuer les différences entre les patients concernant ces facteurs. Il serait intéressant dans une prochaine étude d'augmenter le nombre de patients dans le but de comparer leurs performances attentionnelles justement en fonction de ces facteurs de risque.

2. Etude comportementale du dysfonctionnement des processus d'attention sélective visuelle lors de l'analyse sémantique de scènes chez deux enfants traités pour une tumeur de la fosse postérieure (Expérience 5)

2.1. Objectif et hypothèses

Cette expérience a été menée afin d'évaluer l'atteinte des processus automatiques et contrôlés de l'attention sélective visuelle en jeu de l'exploration de scène visuelle chez des patients traités pour une tumeur de la fosse postérieure. Les performances de deux patients à une tâche de détection du changement ont été comparées à celle de deux groupes témoins appariés en âge, afin d'explorer les atteintes attentionnelles des patients.

On s'attendait de façon générale à un ralentissement chez les patients en lien avec une diminution de la vitesse de traitement de l'information (Kieffer-Renaux et al., 2000). Dans leur étude, Steinlin et al. (2003) ont mis en évidence que ce type de patients était en difficulté dans une tâche d'attention divisée, alors que lorsque qu'il s'agissait de porter attention à un seul stimulus, ces patients avaient de bonnes performances. Ceci peut être interprété comme un manque de contrôle sur le focus attentionnel. On peut donc penser que les processus de recherche sérielle (processus dits contrôlés) seraient plus altérés que les processus de recherche parallèle (processus dits automatiques).

2.2. Méthode

2.2.1. Participants

Cette expérience étudiait le cas de deux enfants, AG et CL, qui ont été traités pour une TFP. Les performances de chacun d'eux ont été comparées à celles de groupes témoins choisis parmi les participants de l'expérience 2. Le tableau 18 présente les caractéristiques démographiques des patients et des groupes témoins ainsi que l'histoire médicale des patients. Le patient AG était âgé de 10 ans au moment de l'expérience. Il avait été opéré trois ans auparavant pour un médulloblastome vermien et traité avec une ICS bi-fractionnée, une IFP bi-fractionnée et une chimiothérapie. Le groupe auquel ses performances ont été comparées

est le groupe des enfants de 9-10 ans de l'expérience 2, groupe de vingt-cinq enfants avec un âge moyen de 9.8 ans +/- 0.3 an. Le patient CL, quant à lui, était âgé de 16 ans au moment de l'expérience, et avait été opéré d'un médulloblastome vermien deux ans auparavant. Puis il a reçu les mêmes traitements que le patient AG. Les performances du patient CL ont été comparées à celle du groupe de trente-et-un jeunes adultes de l'expérience 2, qui avait une moyenne d'âge de 22.2 ans +/- 3.1 ans.

Tableau 18. *Caractéristiques démographiques des participants patients et témoins de l'expérience 5 et histoire médicale des patients.*

Patients	**AG**	**CL**	**Groupe témoin**	**d'AG**	**de CL**
Age	10.9 ans	16.6 ans	**N**	25	31
Genre	M	M	**Age moyen**	9.8 ans	22.2 ans
Classe	6°	3°	**Ecart type des âges**	0.3 ans	3.1 ans
Latéralisation	D	D	**Age minimum**	9.3 ans	18.1 ans
Age au diagnostic	7.1	14.3	**Age maximum**	10.3 ans	27.9 ans
Type de tumeur	med	med	**Genre (♂/♀)**	13/12	11/20
Siège de la tumeur	v	v	**Latéralisation (D/G)**	21/3	26/5
ICS	bi	bi			
IFP	bi	bi			
Chimiothérapie	oui	oui			

bi : bi-fractionnée ; D : droitier ; G : gaucher ; ICS : irradiation crânio-spinale ; IFP : irradiation de la fosse postérieure ; M : masculin ; med : médulloblasme ; v : vermis.

Une évaluation neuropsychologique à l'aide du WISC IV a été réalisée auprès de ces deux patients (tableau 19). Le patient AG a obtenu des scores tout à fait dans la norme au WISC IV. Il présentait de bonnes capacités de compréhension verbale, de raisonnement perceptif, de mémoire de travail, et de vitesse de traitement. Le patient AG n'avait donc globalement pas de déficits cognitifs. Les différents sous-tests de l'indice de compréhension verbale dépassaient tous la moyenne. AG portait un intérêt adapté au monde environnant et faisait preuve de bon sens dans de nombreuses situations de la vie quotidienne. Il avait de bonnes capacités de conceptualisation. Son stock lexical était dans la norme. Les scores des sous-tests de l'indice de raisonnement perceptif étaient également dans la norme. Toutefois AG avait tendance à rester à un niveau trop concret pour regrouper des images partageant une

caractéristique commune. Il avait de bonnes capacités de raisonnement par analogie et de reconstruction spatiale à partir de différents modèles. AG disposait également d'une mémoire de travail de bonne qualité, avec des empans mnésiques tout à fait corrects. L'indice de vitesse de traitement se situait dans la norme pour les épreuves grapho-motrices.

Tableau 19. *Résultats de l'évaluation neuropsychologique effectuée avec le WISC IV du patient AG et du patient CL.*

Patients	Indice CV	Indice RP	Indice MT	Indice VT	Indice global
AG	108	111	121	109	116
CL	114	92	67*	83*	-

CV : compréhension verbale ; MT : mémoire de travail ; RP : raisonnement perceptif ; VT : vitesse de traitement ; * : score déviant de la norme (moyenne à 100 +/- 15).

Le patient CL, quant à lui, avait de bonnes capacités de compréhension verbale et de raisonnement perceptif, mais ils avaient une mémoire de travail faible et une vitesse de traitement ralentie. Face au manque d'homogénéité des résultats, le calcul d'un quotient intellectuel total n'était pas pertinent. Dans l'indice de compréhension verbale, les différents sous-tests se situaient dans une bonne moyenne. CL accédait aisément à la conceptualisation et il avait un stock lexical enrichi. De plus, il portait de l'intérêt au monde environnant et faisait preuve de bon sens face à de nombreuses situations de la vie quotidienne. Les scores des sous-tests de l'indice de raisonnement perceptif étaient proches de la norme. Dans une tâche de reconstruction spatiale à partir de modèle, il était mis en difficulté par le temps lorsque la complexité de la réalisation augmentait. Pour identifier des concepts transversaux à des objets ou situations, il restait à un niveau trop concret. Il avait quelquefois des difficultés à raisonner par analogie. Concernant l'indice de vitesse de traitement, CL manquait de rapidité pour exécuter les épreuves chronométrées, tout en ne faisant pas d'erreur. Enfin ses plus grandes difficultés concernaient la mémoire de travail, avec des faibles empans mnésiques.

2.2.2. Matériel et procédure

Ces patients ont effectué la tâche de détection de changement utilisé dans l'expérience 2. Le matériel et la procédure sont identiques à ceux de l'expérience 2. Cette expérience était une adaptation du paradigme de cécité au changement de Rensink et al. (1997). Il s'agissait d'une présentation rapide d'images dans laquelle alternaient, jusqu'à la réponse du participant, deux versions d'une même scène. Les participants devaient indiquer le

changement entre les deux versions de l'image en appuyant sur la barre espace du clavier avec leur main favorite, le plus rapidement possible. L'expérimentateur cotait ensuite la justesse de la détection.

Deux procédures ont été utilisées. La première, la procédure discontinue, correspondait à celle utilisée par Rensink et al. (1997), c'est-à-dire qu'elle consistait en l'alternance des deux versions d'une même image dont chacune d'elle était suivie par un masque, créant ainsi une interruption dans la présentation de la scène. Dans la seconde procédure, la procédure continue, il n'y avait pas de masque, les deux versions de la même scène étaient donc présentées de façon continue. De plus nous avons manipulé l'intérêt sémantique du changement. Les changements pouvaient être centraux dans la compréhension de la scène ou marginaux.

Nous avons mesuré le %RC de détection de changement, ainsi que le nombre d'itérations nécessaire pour détecter le changement. Le nombre d'itérations correspond au nombre de répétitions de l'alternance de la présentation des deux versions d'une scène.

2.3. Résultats

Dans cette partie, une analyse uniquement descriptive est proposée à la vue du nombre de participants patients. Les performances des patients ont été comparées à celles de leur groupe témoin à +/- 1 écart type. Les écarts types des groupes témoins sont représentés par des barres verticales sur les graphiques. Cette analyse a été réalisée afin de rendre compte des différences entre les patients traités pour une TFP et les témoins, de l'effet simple des facteurs procédure (P_2 : continue et discontinue) et intérêt sémantique du changement (I_2 : central et marginal) et de leur interaction sur le %RC et le nombre d'itérations.

Concernant le %RC, AG et CL ont obtenu 100%RC dans chaque situation. Etant au plafond de performance, ils n'ont donc commis aucune erreur de détection ou d'identification des changements, indépendamment de la procédure utilisée et de l'intérêt sémantique du changement. Par conséquent, seuls les résultats portant sur le nombre d'itération ont été présentés ici.

Concernant l'effet simple du facteur procédure, les résultats ont montré que le nombre d'itérations des patients et des témoins étaient plus élevés dans la procédure discontinue que dans la procédure continue. Dans la procédure continue, les deux patients se situaient dans l'écart type des performances de leur groupe témoin respectif, les patients détectaient donc les changements aussi rapidement que les témoins dans la procédure continue. Cependant dans la procédure discontinue, le nombre d'itérations des deux patients était plus élevé que celui des témoins et se situait en dehors de l'écart type du nombre d'itérations de leurs témoins (voir figure 56).

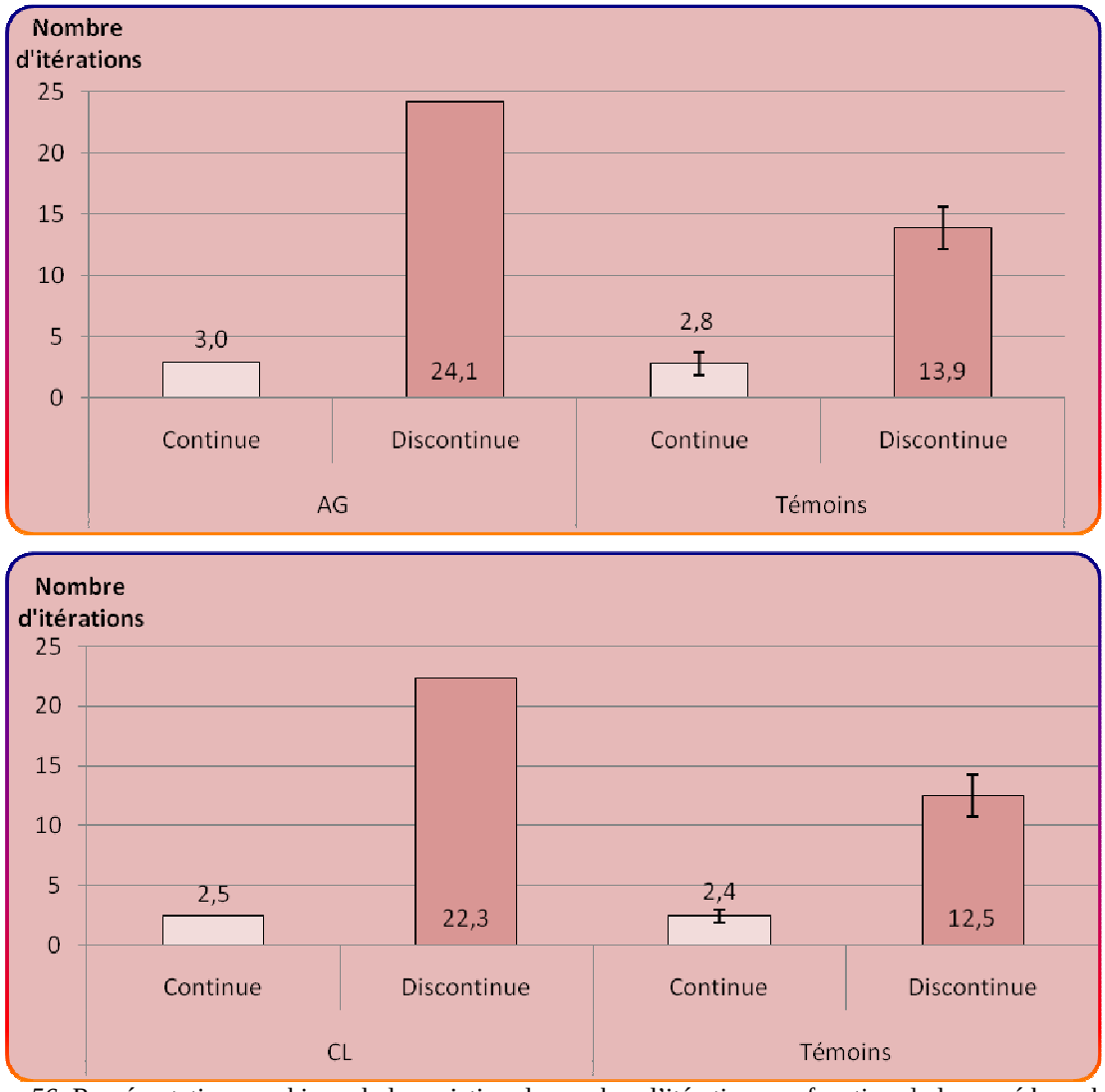


Figure 56. Représentation graphique de la variation du nombre d'itérations en fonction de la procédure chez le patient AG (en haut), le patient CL (en bas) ainsi que chez leur groupe témoin respectif (à droite).

L'effet de l'intérêt sémantique du changement a également été analysé de façon descriptive chez les patients. Les résultats ont montré que le nombre d'itérations chez les patients et les témoins était plus élevé quand le changement à détecter avait un intérêt marginal dans la scène plutôt qu'un intérêt central. D'autre part, que le changement à détecter soit d'intérêt central ou marginal, les performances des deux patients ne se situaient pas dans l'écart type du nombre d'itérations de leur groupe témoin respectif. Les patients étaient donc plus lents que leurs témoins pour détecter les changements centraux et marginaux (voir figure 57).

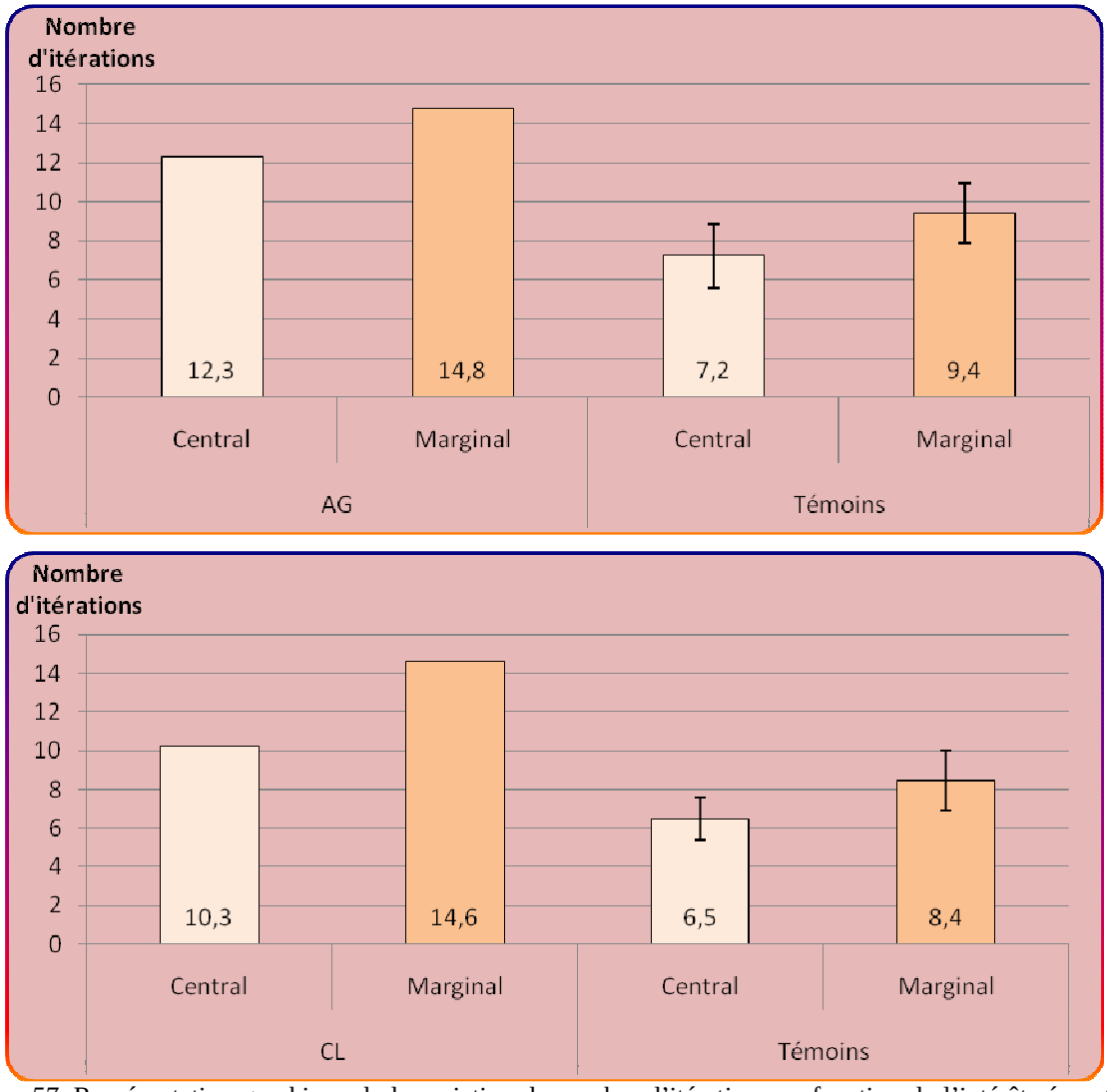


Figure 57. Représentation graphique de la variation du nombre d'itérations en fonction de l'intérêt sémantique du changement chez le patient AG (en haut), le patient CL (en bas) ainsi que chez leur groupe témoin respectif (à droite).

L’effet d’interaction entre la procédure et l’intérêt sémantique du changement a également été analysé. Comme le montre la figure 58, alors que dans la procédure continue le nombre d’itérations ne variait pas en fonction de l’intérêt sémantique du changement, dans la procédure discontinue, le nombre d’itérations diminuait avec la centralité sémantique du changement, et ceux pour les deux patients comme pour leur groupe témoin respectif. La comparaison des performances des deux patients aux écarts types des performances des témoins a révélé que, dans la procédure continue le nombre d’itérations des patients se situait dans l’écart type de leurs témoins quel que soit l’intérêt sémantique du changement, alors que dans la procédure discontinue le nombre d’itérations des deux patients était en dehors de l’écart type des performances des témoins. Autrement-dit, alors que les patients étaient aussi rapides que leurs témoins pour détecter le changement dans la procédure continue et ce quel que soit l’intérêt sémantique du changement, dans la procédure discontinue les patients AG et CL mettaient présentaient un nombre d’itérations plus élevé que leurs témoins pour détecter les changements sémantiquement centraux et marginaux.

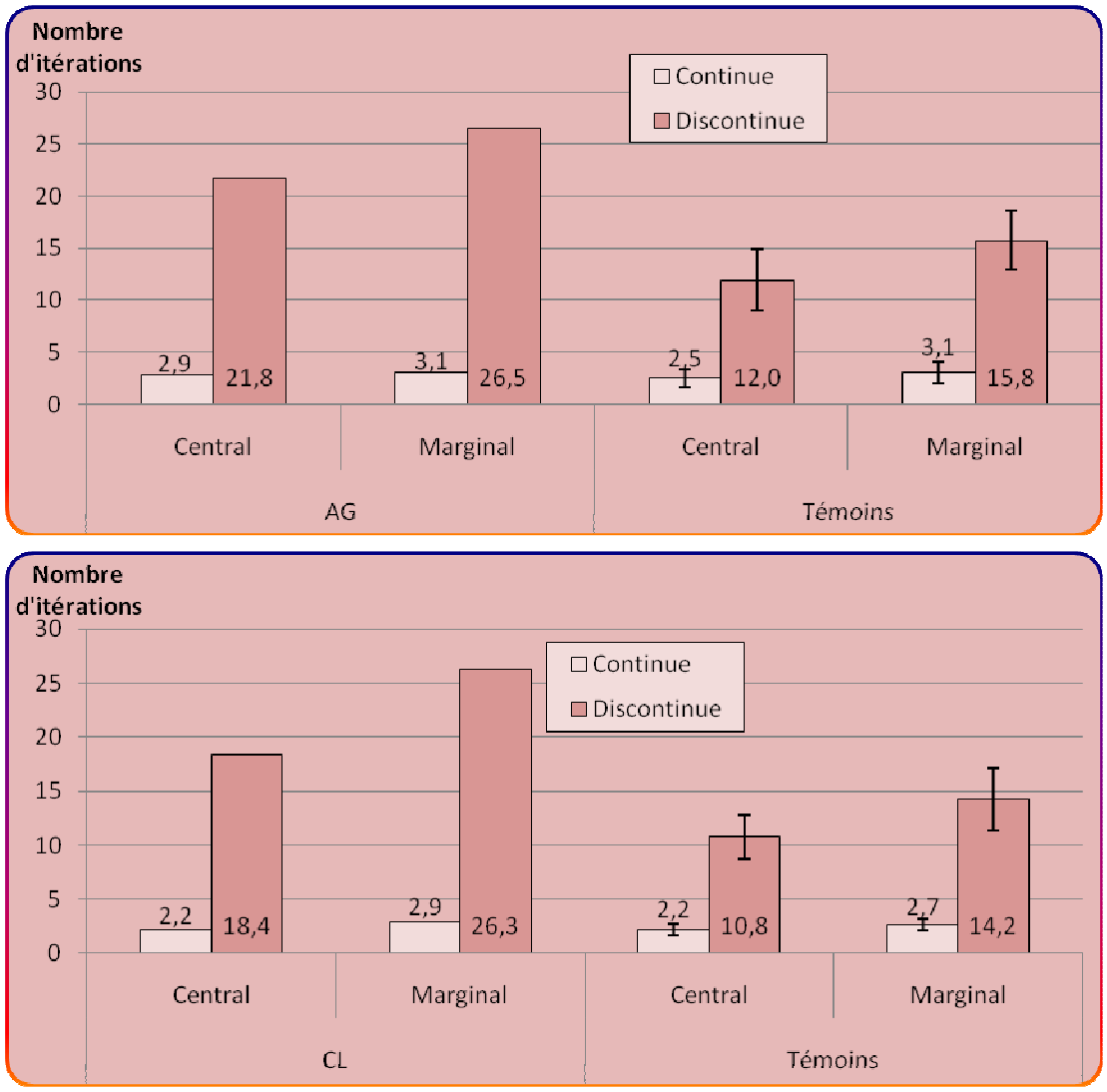


Figure 58. Représentation graphique de la variation du nombre d'itérations en fonction de la procédure et de l'intérêt sémantique du changement chez le patient AG (en haut), le patient CL (en bas) ainsi que chez leur groupe témoin respectif (à droite).

2.4. Discussion

Les études menées auprès d'enfants traités pour une tumeur de la fosse postérieure ont mis en évidence des déficits attentionnels essentiellement à l'aide de tests neuropsychologiques (e. g. Copeland et al., 1999 ; Kieffer-Renaux et al., 2005 ; Steinlin et al., 2003). L'objectif de cette expérience était donc de mieux définir l'atteinte de ces processus attentionnels chez deux de ces patients.

De façon générale, on s'attendait à un ralentissement général chez les patients. Les résultats ont montré que les patients étaient plus lents que les témoins, en effet ils avaient besoin de plus d'itérations pour détecter un changement. Ce ralentissement du traitement de l'information va dans le sens des études réalisées auprès de cette population (e.g. Kieffer-

Renaux et al., 2000). Toutefois, même si ces patients étaient plus lents que les témoins, ils effectuaient tout à fait correctement la tâche.

Les résultats ont montré qu'on retrouvait chez les patients AG et CL l'effet classique observé avec ce paradigme de cécité au changement (Rensink et al., 1997). Les patients semblaient être soumis aux mêmes priorités d'analyse sémantique d'une scène que les témoins. En effet, les deux patients détectaient plus rapidement les changements sémantiquement centraux que les changements marginaux. Toutefois, que le changement ait un intérêt central ou marginal dans la scène, la détection d'un changement demandait davantage d'itérations aux patients qu'aux témoins. Autrement-dit, même si l'attention des patients se portait prioritairement sur les mêmes éléments dans une scène que leurs témoins, il n'en restait pas moins que ces patients avaient besoin d'explorer plus longtemps les scènes. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer ceci. Nous avons vu dans l'expérience 4, que les patients avaient tendance à effectuer davantage de vérification que les témoins, ce qui est une explication possible ici. D'autre part, il se pourrait également que l'exploration spatiale de la scène soit mal organisée chez ces patients. Une étude utilisant une technique d'enregistrement des mouvements oculaires pourrait mettre à l'épreuve cette hypothèse.

A partir des résultats de l'étude de Steinlin et al. (2003) qui porte sur l'attention divisée, nous nous attendions à une atteinte plus importante des processus attentionnels contrôlés, comparé aux processus automatiques chez nos deux patients. Les résultats ont montré que lors d'une présentation interrompue de la scène, les patients détectaient tous les deux rapidement le changement, alors que lors d'une présentation continue de la scène, ils avaient tous les deux besoin d'explorer plus longtemps la scène. Même si un temps d'exploration supplémentaire était également indispensable aux témoins avec l'interruption de la scène, les patients en nécessitaient davantage. Avec la procédure continue, le changement sautait aux yeux, il attirait l'attention de façon exogène. L'attention était donc automatiquement portée sur le changement. Les résultats ont montré que les processus attentionnels automatiques sous-tendant cette détection étaient préservés chez les deux patients de cette étude. Avec la procédure discontinue, l'interruption dans la présentation de la scène obligeait les observateurs à déplacer volontairement leur attention pour explorer la scène. Les résultats ont montré que les patients étaient plus lents que les témoins lorsque que la détection du changement nécessitait la mise en place de processus attentionnels contrôlés. L'analyse

descriptive allait dans le sens d'un effet d'interaction entre la procédure et l'intérêt sémantique chez les patients AG et CL et leurs témoins. En effet, chez les patients et les témoins, alors que le nombre d'itérations ne variait pas en fonction de l'intérêt sémantique du changement dans la procédure continue, dans la procédure discontinue le nombre d'itérations augmentait pour les changements marginaux comparés aux changements centraux. L'ensemble de ces résultats va dans le sens d'une atteinte sélective des processus contrôlés tardifs de l'attention sélective visuelle.

D'autre part, il est intéressant de remarquer que les deux patients n'avaient commis aucune erreur dans la détection des changements. Même s'ils ont été plus lents que leur groupe témoin, ils se sont toujours appliqués à trouver la bonne réponse. L'atteinte attentionnelle chez ces patients est donc différente de celle rencontrée chez les enfants présentant un trouble déficit de l'attention/hyperactivité (TDA/H) qui peuvent avoir tendance à répondre de façon impulsive (Lemelin et al., 2009), c'est-à-dire que dans notre tâche ils auraient certainement eu tendance à privilégier la rapidité de la réponse plutôt que la justesse. Dans notre étude, les enfants traités pour une tumeur de la fosse postérieure ont privilégié la justesse de la réponse à la rapidité.

Enfin, des études ont mis en évidence que certains facteurs comme l'âge de l'enfant au moment du diagnostic (George et al., 2003 ; Kieffer-Renaux et al., 2005 ; Mulhern et al., 1998 ; Palmer et al., 2003), la localisation de la tumeur (Steinlin et al., 2003), ou encore le traitement par radiothérapie (Copeland et al., 1999 ; Kieffer-Renaux et al., 2000 ; Mulhern et al., 2004) avaient une influence sur la sévérité des déficits cognitifs et notamment attentionnels chez ces patients traités pour une tumeur de la fosse postérieure. Les patients AG et CL ont tous les deux étés diagnostiqués d'un médulloblastome localisé dans le vermis, et ont été traités avec le même protocole thérapeutique. Toutefois ils ont été diagnostiqués à des âges différents, respectivement 7 et 14 ans. Mais cette différence d'âge au diagnostic entre ces deux patients n'a apparemment pas eu d'effet. Les résultats ont montré que le nombre d'itérations était globalement rallongé de la même manière chez AG et CL par rapport à leurs témoins respectifs. Une prochaine étude, prenant en compte un effectif plus important que celui de cette étude exploratoire, pourrait étudier les différences dans l'atteinte des processus attentionnels des patients traités pour une TFP en lien avec l'âge au diagnostic.

3. Etude en imagerie fonctionnelle du dysfonctionnement des processus d'attention sélective visuelle lors de la détection de formes visuelles simples chez des enfants traités pour une tumeur de la fosse postérieure (Expérience 6)

3.1. Objectifs et hypothèses

Les données cliniques (Konczak et al., 2005 ; Steinlin et al., 2003) ont montré que ces patients, qui ont une IRM morphologique normale, présentait des déficits attentionnels. On peut penser que ces troubles cognitifs sont sous-tendus par une modification de la dynamique des réseaux neuronaux. L'IRMf nous a permis d'apprécier les dysfonctionnements associés aux processus attentionnels et d'identifier leurs substratums anatomiques.

L'objectif général de cette expérience était d'étudier la modification des réseaux cérébraux sous-tendant les processus attentionnels des recherches visuelles parallèles et sérielles chez des patients traités pour une tumeur du cervelet. Nos précédents résultats en imagerie fonctionnelle chez le sujet sain (expérience 3) ont montré, en accord avec les données de la littérature (Allen et al., 1997 ; Nobre et al., 1999), une implication du cervelet dans le réseau qui sous-tend les processus d'attention sélective visuelle. De plus, la littérature fait état d'une altération de la matière blanche cérébrale dans cette pathologie, et notamment dans des régions spécifiquement impliquées dans les processus d'attention sélective visuo-spatiale, comme des aires pariétales et frontales (Mulhern et al., 2004 ; Qiu et al., 2007). La présente recherche a permis l'étude des réseaux attentionnels mis en place chez ces patients de façon à compenser les difficultés de recrutement du cervelet (du fait son ablation partielle) et l'altération de la matière dans certaines régions cérébrales.

Au niveau du réseau d'activation, on s'attendait tout d'abord à ce que la recherche parallèle soit sous-tendue chez les patients par un réseau plus largement distribué que chez les témoins. Ce réseau pourrait impliquer davantage des régions spécifiques aux processus attentionnels contrôlés, telles que le cortex pariétal supérieur ou le cortex cingulaire. D'autre part, on s'attendait à ce que le réseau sous-tendant la recherche sérielle chez les patients, présente une saturation au niveau du recrutement des aires spécifiques de l'attention, et

compense en s'étendant à d'autres régions cérébrales, et notamment des aires frontales. Concernant l'influence du nombre d'items sur les réseaux sous-tendant la recherche parallèle et la recherche sérielle, on pouvait s'attendre à ce que la modification du réseau attentionnel soit effectif dès très peu d'items présentés, et que par conséquent, il y ait peu d'influence du nombre d'items sur le réseau de structure recruté chez les patients pour réaliser ces tâches de recherche visuelle.

Concernant le réseau de déactivation, on attendait une modification de ce réseau chez les patients comparés aux témoins. D'une part, ce réseau pourrait impliquer non seulement des aires spécifiques du réseau de déactivation comme le cortex préfrontal médian et le cortex cingulaire postérieur, ces structures semblant être au centre des réseaux de déactivation (Geday & Gjedde, 2009 ; Grecius et al., 2003 ; Shulman et al., 1997 ; Sridharan et al., 2008 ; Van Horn, 2004), mais également s'étendre à d'autres régions non recrutées chez les témoins. Ceci pourrait traduire une nécessité chez les patients de mettre en sommeil davantage des structures pour réaliser une recherche visuelle que les témoins. D'autre part, concernant la dissociation entre la recherche parallèle et la recherche sérielle dans le réseau de déactivation, nous avons fait l'hypothèse d'un réseau aussi largement distribué pour la recherche parallèle que pour la recherche sérielle, compte tenu de nos résultats précédents (expérience 3) chez les enfants et les adolescents sains. Ceci pourrait traduire une perturbation des processus de recherche sérielle sur la mise en sommeil des régions cérébrales concernées.

3.2. Méthode

3.2.1. Participants

Neuf patients ont accepté de participer à cette expérience. Deux d'entre eux n'ont cependant pas pu être inclus, l'une à cause d'une valve métallique de dérivation posée au moment de la chirurgie et l'autre à cause d'un appareil dentaire. Les caractéristiques démographiques et l'histoire médicale des sept patients retenus pour les analyses sont présentées dans le tableau 20. Tous ces patients avaient également participé à l'expérience 4. Le groupe de patients avait une moyenne d'âge de 11.5 ans +/- 2.4 ans. Parmi eux, trois étaient des garçons, et l'un d'entre eux était gaucher. Au moment du diagnostic, ces patients avaient entre 1 et 10 ans. Parmi ces patients, six d'entre eux ont été traités avec une

radiothérapie, qu'elle soit mono-fractionnée ou bi-fractionnée. Six d'entre eux également avaient eu une chimiothérapie dans leur protocole thérapeutique.

Tableau 20. *Données démographiques, histoire médicale et résultats de l'évaluation neuropsychologique des patients participant à l'expérience 6.*

	Patients	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Données démographiques	Age	15.2	12.7	9.2	7.9	14.6	10.9	12
	Genre	F	F	F	F	M	M	M
	Classe	3° pro	6°	CM1	CE1	4° spé	6°	6° spé
	Latéralisation	D	D	D	D	G	D	D
Histoire médicale	Age au diagnostic	10.7	8.8	6.0	1.9	4.9	7.1	3.5
	Type de tumeur	rhab	med	med	ep	med	med	med
	Siège de la tumeur	v	v	hg	v	hd	v	v
	ICS	mono	mono	bi	-	bi	bi	mono
	IFP	mono	mono	bi	-	bi	bi	mono
	Chimiothérapie	oui	oui	oui	oui	non	oui	oui
Evaluation neuropsychologique	Indice CV	84*	101	110	101	108	108	92
	Indice RP	77*	73*	102	119	104	111	96
	Indice MT	79*	85	112	94	97	121	85
	Indice VT	55*	59*	93	115	88	109	73*
	Indice global	-	-	107	110	101	116	83*

bi : bi-fractionnée ; CV : compréhension verbale ; D : droitier ; ep : épendymome ; F : féminin ; G : gaucher ; hd : hémisphère droit ; hg : hémisphère gauche ; ICS : irradiation crânio-spinale ; IFP : irradiation de la fosse postérieure ; M : masculin ; med : médulloblasme ; mono : mono-fractionnée ; MT : mémoire de travail ; pro : classe professionnelle ; rhab : rhabdoïde ; RP : raisonnement perceptif ; spé : établissement spécialisé ; v : vermis ; VT : vitesse de traitement ; * : score déviant de la norme (moyenne à 100 +/- 15)

L'évaluation neuropsychologique des patients réalisée avec le WISC IV a révélé que dans cet échantillon quatre patients (P3, P4, P5, et P6) avaient une cognition normale. Un patient (P7) présentait une altération de la vitesse de traitement, avec également un score du QI global faible. Un autre patient (P2) avait un score déviant aux indices de raisonnement perceptif et de vitesse de traitement ; l'écart entre ces indices et les deux autres ne permettait pas à l'indice global du QI de refléter fidèlement sa cognition globale. Ceci était le cas

également pour une patiente (P1) qui présentait une altération globale de la cognition avec un score déviant aux quatre indices du QI.

Les données expérimentales des patients ont été comparés à celles d'un groupe témoin constitué par les quinze enfants et adolescents de l'expérience 3, dont l'âge moyen est de 12.2 ans +/- 2.8 ans. Ce groupe était constitué de huit filles pour sept garçons, et tous étaient droitiers.

3.2.2. Matériel et procédure

Le matériel et la procédure était semblables à ceux de l'expérience 3. Les patients devaient réaliser une adaptation du paradigme de recherche visuelle de Treisman et Gelade (1980). Cette tâche consistait en la détection de la présence d'une cible, un **T**, présentée parmi deux types de distracteurs. Dans la condition où la cible et les distracteurs ne partageaient aucun trait visuel commun (t0), les distracteurs étaient des **X**. Dans la condition où la cible et les distracteurs partageaient deux traits (t2), les distracteurs étaient des **X** et des **T**. De plus le nombre d'items présentés pouvaient varier (4, 16 et 25 items).

Comme dans l'expérience 3, avant l'examen IRM, une version oui/non de la tâche était proposée aux participants. Puis ils réalisaient un entraînement à la version go/no go utilisée dans l'IRM. Tout en restant adaptés à la difficulté de la tâche, les temps limite de présentation des stimuli étaient allongés pour les patients qui présentent souvent un ralentissement de la vitesse de traitement. Le temps limite de réponse était de 2000 ms dans la condition t0 avec 4, 16 et 25 items. Dans la condition t2, il était de 3200 ms pour la présentation de 4 items, 5200 ms pour 16 items et de 7000 ms pour 25 items. Ces temps limite de réponse ont été doublés par rapport à ceux des enfants de 9 ans de l'expérience 3.

3.3. Résultats

Les données d'imagerie fonctionnelle ont été traitées avec les logiciels SPM_5, Statistica 8.0 et MATLAB 7.1. Les étapes du traitement statistique des données fonctionnelles étaient les mêmes que celles de l'expérience 3. En premier lieu, un prétraitement individuel a été réalisé, il comprenait le réalignement, la normalisation et le lissage des images. Puis des analyses de groupe ont été réalisées sur le groupe de patients avec d'une part sur les activations et d'autre part sur les déactivations cérébrales. Ces analyses sur le groupe de

témoins ont déjà été effectuées pour l'expérience 3. Enfin des analyses comparatives entre les patients et les témoins ont été réalisées.

Les analyses sur le réseau d'activation des patients (phase d'activation > phase de repos) ont été réalisées avec une ANOVA à deux facteurs (nombre de traits communs cible-distracteurs et nombre d'items), afin d'obtenir une carte d'activation de chacune des six situations expérimentales. Puis nous avons effectué deux types de traitement statistique :

- Des analyses en conjonction nous ont permis de déterminer chez les patients les régions communes aux trois cartes d'activation de la condition t0 d'une part, puis de la condition t2 d'autre part. Ces analyses ont été effectuées au seuil $p<.001$.

- Des analyses de contraste ont permis d'étudier les différences entre les activations cérébrales liées à l'augmentation du nombre d'items dans la condition t0 puis dans la condition t2. Ces analyses ont été effectuées au seuil $p<.001$ avec une taille minimum de cluster de 100 voxels.

Le réseau de déactivation (phase de repos > phase d'activation) a été exploré à partir de deux types de traitements statistiques :

- Des analyses de contraste ont permis d'étudier les cartes de déactivations cérébrales propres à chacune des six situations expérimentales. Ces analyses ont été effectuées au seuil $p<.001$ avec un minimum de 100 voxels par cluster.

- Des ANOVA sur la valeur du signal d'une région d'intérêt (ROI) ont été réalisées afin d'étudier l'évolution du signal dans cette région cible en fonction des facteurs expérimentaux. Les critères de sélection de cette ROI étaient les mêmes que ceux de l'expérience 3 : l'appartenance au réseau de déactivation décrit par les contrastes de l'étape précédente, et la reconnaissance par la littérature de l'implication des régions dans le réseau de déactivation. Une seule région répondait à ces deux critères : le cortex cingulaire postérieur. Nous avons donc extrait la valeur du signal dans cette région à partir d'une sphère de 10 mm de diamètre ayant comme point d'origine les coordonnées suivantes : -12, -58, 14.

Enfin, une analyse comparative entre les patients et les témoins a été effectuée afin de déterminer d'une part, le réseau de structures qui était plus activé chez les patients que chez les témoins (patients-témoins), et d'autre part, le réseau de structures dont le niveau d'activation était plus élevé chez les témoins que chez les patients (témoins-patients). Pour cela un *t-test* entre les deux groupes a été réalisé dans chacune des six situations

expérimentales. Ces analyses ont été effectués au seuil p<.001 avec des clusters de minimum 100 voxels.

3.3.1. Les analyse sur le groupe des patients

3.3.1.1. Le réseau d'activation

Les analyses en conjonction ont révélé les régions cérébrales activées, communes à la présentation de 4, 16 et 25 items dans la condition t0 puis dans la condition t2 (figure 59). Dans les trois situations de la condition t0, le groupe de patients présentait une activation de certaines régions occipitales bilatérales, du cortex pariétal supérieur droit et du gyrus précentral. Communément aux trois situations de la condition t2, les analyses ont montré une activation supplémentaire du cortex pariétal inférieur droit, du cortex temporal supérieur gauche, du cortex insulaire bilatéral, du cortex cingulaire moyen, du cortex frontal médian, des aires supra-marginales, des cortex frontaux inférieur et moyen bilatéraux, et du thalamus.

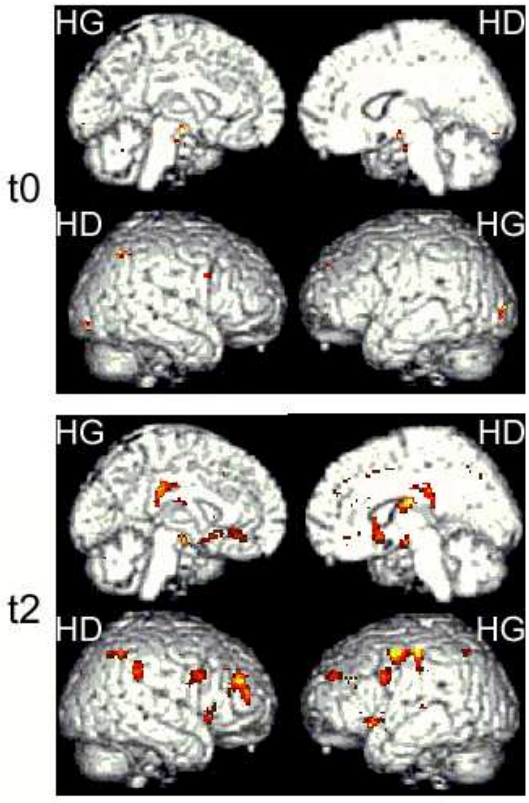


Figure 59. Cartes d'activation communes à la présentation de 4, 16 et 25 items de la condition t0 (en haut) et de la condition t2 (en bas) chez les patients.

Les analyses de contraste ont été réalisées pour étudier les différences significatives d'activation cérébrale liées à l'augmentation du nombre d'items dans chaque condition (tableau 21). Dans la condition t0, il n'y avait aucune différence significative liée à l'augmentation du nombre d'items. Dans la condition t2, les analyses ont montré des différences significatives uniquement entre 4 et 16 items qui concernaient une activation plus importante du cortex occipital.

Tableau 21. *Différences d'activation liées à l'augmentation du nombre d'items dans la condition t0 et dans la condition t2 chez les patients.*

	Contraste	**Coordonnées (x, y, z)**	**T**	**Taille du cluster**	**Localisation**
Condition t0	16-4	aucune différence significative			
	25-4	aucune différence significative			
	25-16	aucune différence significative			
Condition t2	16-4	-22, -58, 12	4.32	162	Cortex occipital
	25-4	aucune différence significative			
	25-16	aucune différence significative			

3.3.1.2. Le réseau de déactivation

Les analyses de contraste ont été réalisées afin de décrire le réseau de structures dont l'activité diminuait durant chacune des six situations expérimentales (figure 60). Ces analyses ont révélé que, lorsque 4 items étaient présentés dans la condition t0, une région du cervelet présentait une diminution de l'activation, alors que dans la condition t2 aucune région n'était déactivée. Lorsque 16 items étaient présentés, dans l'une et l'autre des conditions, une diminution de l'activation n'était observée dans aucune région cérébrale. Lorsque 25 items étaient affichés dans la condition t0, l'activation du cortex temporal moyen et supérieur droit diminuait, et dans la condition t2, les analyses ont montré une diminution de l'activation du cortex temporal moyen droit, du cortex cingulaire postérieur et du cortex orbito-frontal gauche.

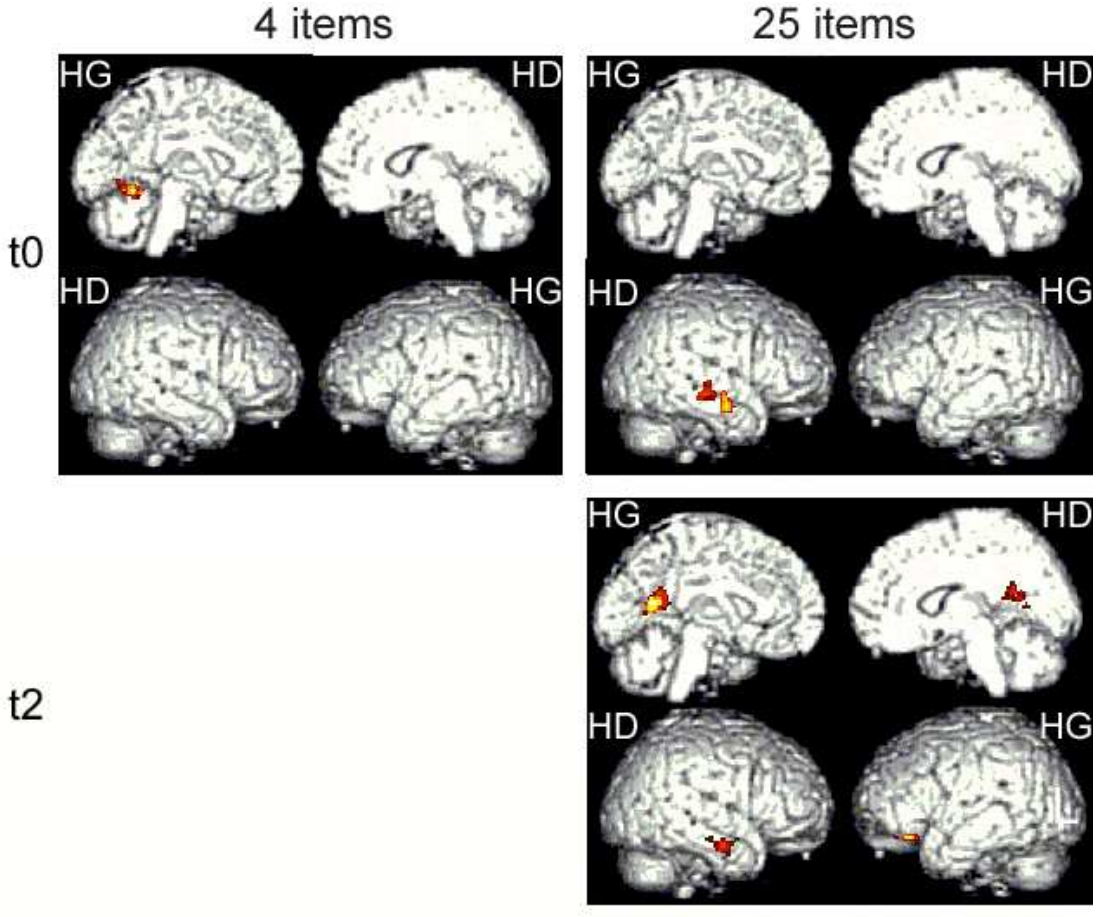


Figure 60. Carte de déactivations cérébrales dans les conditions t0 (en haut) et t2 (en bas) avec 4 (à gauche) et 25 items (à droite) chez les patients.

Des analyses de variance ont été réalisées sur la valeur du signal extrait du cortex cingulaire postérieur. Ces analyses ont montré que l'effet simple du nombre de traits communs cible-distracteurs ($F(1,6)<1$; n.s.) et l'effet simple du nombre d'items ($F(2, 12)=3.8$; n.s.) n'étaient pas significatifs sur la variation du signal du cortex cingulaire postérieur. Toutefois, l'effet d'interaction entre le nombre de traits communs cible-distracteurs et le nombre d'items était significatif sur la valeur du signal du cortex cingulaire postérieur ($F(2,12)=4.0$; $p<.05$). Les analyses de contraste ont révélé que dans la condition t0, le signal augmentait entre 4 et 16 items, puis diminuait entre 16 et 25 items, alors que dans la condition t2 aucune variation significative relative au nombre d'items n'était observée (figure 61).

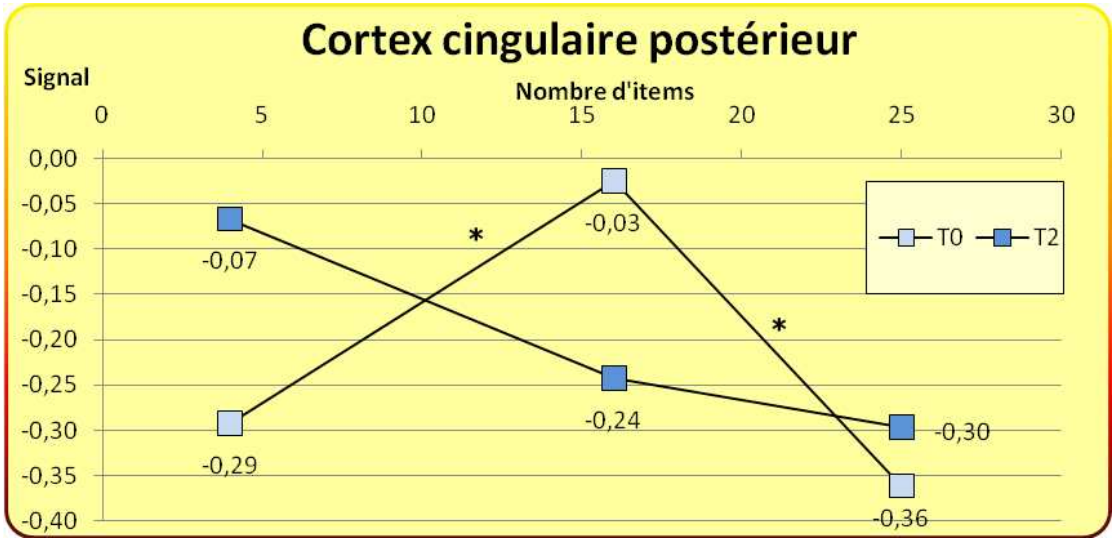


Figure 61. Représentation graphique de l'effet d'interaction entre le nombre de traits communs cible-distracteurs et le nombre d'items sur la valeur du signal du cortex cingulaire postérieur droit chez les patients.

3.3.2. Les analyses comparatives des patients et des témoins

Des t-test ont été effectués afin d'étudier les aires cérébrales plus activées chez les patients que chez les témoins (tableau 22). Ces analyses ont révélé que dans la condition t0, lorsque 4 items étaient affichés le cortex pariétal supérieur droit était plus activé chez les patients, et lorsque 16 items étaient affichés c'était le cortex cingulaire antérieur qui était plus activé chez les patients que chez les témoins. Dans la condition t0 avec 25 items, et la condition t2 avec 4 items, aucune région cérébrale n'était plus activée chez les patients que chez les témoins. Dans la condition t2 avec 16 items, le réseau des patients sollicitait davantage le cervelet, le cortex angulaire gauche, le cortex cingulaire antérieur, le cortex frontal supérieur droit et le thalamus que le réseau des témoins. Dans la condition t2 avec 25 items, seul le cortex cingulaire gauche était plus activé chez les patients que chez les témoins.

Tableau 22. *Régions cérébrales plus activées chez le groupe de patients que chez le groupe de témoins.*

		Coordonnées (x, y, z)	**T**	**Taille du cluster**	**Localisation**
Condition t0	4 items	22, -52, 46	4.49	168	Cortex pariétal supérieur droit
	16 items	4, 30, -2	6.50	135	Cortex occipital droit
	25 items	aucune différence significative			
Condition t2	4 items	aucune différence significative			
	16 items	4, -44, -24	4.58	275	Cervelet
		-28, -62, -4	4.87	198	Cortex angulaire gauche
		10, 20, 30	5.09	198	Cortex cingulaire antérieur droit
		16, 42, 26	4.33	126	Corte frontal supérieur droit
		30, 0, -16	4.53	111	Amygdale
		16, -18, 18	6.14	410	Thalamus
	25 items	-14, -30, 26	5.64	897	Cortex cingulaire moyen gauche

Les analyses statistiques réalisées afin d'étudier les réseaux de structures plus activées chez les témoins que chez les patients dans chacune des situations expérimentales, n'ont mis en évidence des différences que dans la condition t0 avec 25 items. Dans cette situation

expérimentale, le cortex occipital inférieur gauche, le cortex pariétal inférieur droit et le cortex frontal supérieur droit étaient plus activés chez les témoins que chez les patients.

3.4. Discussion

Dans cette expérience 6, l'objectif était d'étudier la modification des réseaux cérébraux qui sous-tendent les processus automatiques et contrôlés de l'attention sélective visuelle chez des patients traités pour une tumeur de la fosse postérieure. Tout d'abord, nous avons identifié le réseau d'activation qui sous-tendait les processus de recherche parallèle et sérielle chez les sept patients inclus, avec des analyses en conjonction. Lors d'une recherche parallèle, les patients activaient un réseau commun incluant le cortex occipital bilatéral, le cortex pariétal supérieur droit et le gyrus précentral. L'implication de ces régions est tout à fait cohérente avec l'exécution motrice d'une tâche attentionnelle à partir d'une entrée visuelle (Donner et al., 2000 ; Gitelman et al., 1999 ; Hopfinger et al., 2000 ; Nobre et al., 1999 ; Shafritz et al., 2002). Lors d'une recherche sérielle, les résultats ont montré l'implication de structures supplémentaires. Ces régions additionnelles concernaient le cortex pariétal inférieur droit, le cortex temporal supérieur gauche, le cortex insulaire bilatéral, le cortex cingulaire moyen, le cortex frontal médian, les cortex frontaux inférieur et moyen bilatéraux, et le thalamus. Ce résultat suggère que lors d'une recherche sérielle, en plus des régions attentionnelles classiques, le réseau des patients recrutait des régions non spécifiques de l'attention sélective, qui étaient essentiellement des aires frontales, pour leur réaliser la tâche. Ces régions frontales sont classiquement associées à des traitements nécessitant un contrôle attentionnel exécutif (Arrington, Carr, Mayer, & Rao, 2000). Parmi elles, le cortex frontal inférieur bilatéral est justement une région qui était recrutée par les enfants témoins les plus jeunes, d'après les corrélations effectuées dans l'expérience 3, enfants témoins qui par ailleurs présentaient une activation du cervelet. Ces résultats, montrant un élargissement du réseau d'activation sélectivement pour la recherche sérielle, vont dans le sens de notre première hypothèse. Les comparaisons statistiques entre les témoins et les patients ont permis de confirmer ces résultats, en montrant d'une part une implication plus importante du cortex pariétal supérieur droit chez les patients durant une recherche parallèle, et d'autre part un élargissement du réseau cérébral chez les patients lors d'une recherche sérielle. Ce réseau de structures plus activées chez les patients incluait notamment le cortex cingulaire antérieur, le cortex frontal supérieur droit et le thalamus. Ces structures, et particulièrement le cortex cingulaire

antérieur, sont souvent associées dans la littérature aux processus d'attention sélective visuelle (Booth et al., 2003 ; Gitelman et al., 1999 ; Nobre et al., 1997). Ces résultats suggèrent que l'élargissement du réseau sous-tendant les processus de recherche visuelle ne s'effectuait pas au hasard. En effet, le recrutement d'aires supplémentaires dans le réseau des processus de recherche sérielle, tendait d'une part à solliciter davantage des structures spécifiquement impliquées dans l'attention, et d'autre part à se rapprocher du réseau encore immature en place chez des enfants de 7 ans.

Notre seconde hypothèse portait sur une faible variation du réseau d'activation avec l'augmentation du nombre d'items chez les patients. Les analyses de contraste ont permis de répondre cette question. Ces analyses ont révélé qu'il n'y avait aucune différence liée à l'augmentation du nombre d'items dans la recherche parallèle, alors que chez les enfants témoins de l'expérience 3, des différences occipitales avaient été mises en évidence. Lors d'une recherche sérielle, des différences occipitales liées à l'augmentation du nombre d'items ont été mise en évidence chez les patients, alors que ces différences concernaient également le cortex frontal chez les enfants témoins. Autrement-dit, lors d'une recherche parallèle, les patients présentaient le même réseau d'activation quel que soit le nombre d'items, et ne réalisaient donc pas de différence dans l'analyse visuelle des stimuli en fonction du nombre d'items. Et lors d'une recherche sérielle, les différences liées à l'augmentation du nombre d'items chez les patients ne concernaient pas de régions impliquées dans les processus cognitifs ou attentionnels, mais elles semblaient être liées à une analyse visuelle plus complexe. Ceci suggère que l'élargissement du recrutement de structures pour les processus attentionnels contrôlés devait être à saturation dès 4 items, ce qui va dans le sens de notre hypothèse.

Durant l'exécution de la tâche de recherche visuelle, certaines régions présentaient une diminution de l'activation. Ce réseau de déactivation impliquait chez les patients des régions déjà révélées chez les enfants témoins dans l'expérience 3, comme le cortex cingulaire postérieur. Le cortex cingulaire postérieur est connu dans la littérature pour être impliqué dans le réseau de fonctionnement par défaut du cerveau (Fox et al., 2005 ; Grecius et al., 2003). Le réseau de déactivation chez les patients incluait également des aires qui à priori ne sont pas spécifiques du réseau de repos comme les cortex temporaux moyen et supérieur, et le cortex orbito-frontal. Toutefois, certaines recherches menées auprès d'adultes et d'enfants sains ont fait part de l'implication du cortex orbito-frontal (Grecius et al., 2003) et du cortex temporal

moyen et supérieur (Huettel et al., 2001 ; Tomasi et al., 2006) dans des réseaux de déactivation notamment liés à des tâches attentionnelles. Le cortex orbito-frontal est associé dans la littérature à l'affect (Baker, Frith, & Dolan, 1997). Le cortex temporal supérieur, inclus dans la jonction temporo-pariétale droite, est très activé par les distracteurs partageant un trait commun avec la cible, lorsque l'attention est portée sur la cible (Serences et al., 2005). Il est donc cohérent que la diminution de l'activation du cortex temporal supérieur droit n'ait été observée que lors de la recherche parallèle. Le fait que le cortex temporal supérieur et le cortex orbito-frontal ne fassent pas partie du réseau de déactivation du groupe témoin, pourrait traduire une nécessité de renforcer l'action filtrante du réseau de déactivation chez les patients pour la performance comportementale. Nos résultats ont suggéré une influence du type de recherche visuelle et du nombre d'items sur le réseau de déactivation chez les patients, dans le sens d'une modification du réseau suivant la nature de la recherche visuelle, et dans le sens d'un élargissement du réseau d'aires déactivées avec le nombre d'items. En effet, d'une part, le réseau de déactivation était modifié en fonction du type de recherche visuelle, passant de l'implication du cervelet et du cortex angulaire lors d'une recherche parallèle, à l'implication du cortex cingulaire postérieur et du cortex orbito-frontal lors d'une la recherche sérielle. Et d'autre part, avec l'augmentation du nombre d'items, le cortex temporal, le cortex cingulaire postérieur et le cortex orbito-frontal présentaient une diminution plus importante de l'activation par rapport à l'état de repos. L'analyse en ROI du cortex cingulaire postérieur chez les patients a révélé une variation de l'activation de cette région avec le nombre d'items différente lors d'une recherche parallèle que lors d'une recherche sérielle, ce qui n'était pas le cas chez les enfants témoins de l'expérience 3. Toutefois, cette variation de l'activation du cortex cingulaire postérieur a montré que lors d'une recherche parallèle, l'activation de cette région était instable avec l'augmentation du nombre d'items, ce qui confirmerait des difficultés dans la mise en sommeil des aires du réseau de déactivation. Les comparaisons statistiques entre les témoins et les patients ont montré que le cortex angulaire gauche était plus activé chez les patients. Le cortex angulaire étant connu comme étant impliqué dans le réseau de déactivation (Huettel et al., 2001), ce résultat peut être interprété comme une déactivation insuffisante de cette région chez les patients. Une perturbation du réseau de déactivation a été mise en cause dans d'autres pathologies. Dans la maladie d'Alzheimer durant une tâche de classification de mots par exemple, l'altération du réseau de déactivation va dans le sens d'une diminution du recrutement du réseau de déactivation chez les patients (Buckner et al., 2005). Nos hypothèses

sur la modification du réseau de déactivation chez les patients étaient donc partiellement vérifiées. Le réseau de déactivation chez les patients concernait effectivement davantage de régions que celui des témoins. Toutefois, des différences dans la mise en sommeil de certaines régions cérébrales en fonction du type de recherche visuelle ont été observées, alors qu'on s'attendait à ce qu'il y en ait peu. Ces différences concernaient davantage une modification du réseau qu'un élargissement de celui-ci, mais la mise en sommeil du réseau de déactivation était perturbée quel que soit la nature du processus de recherche visuelle en jeu.

Ces résultats pris ensemble, nous ont permis de supposer que l'altération de l'attention chez les enfants ayant été traités pour une tumeur de la fosse postérieure, serait sous-tendue à la fois par une modification du réseau de structures activées durant la recherche visuelle, et également par une modification du réseau de structures mis en sommeil. Les difficultés attentionnelles dans la mise en place de recherche parallèle et sérielle chez ces patients pourraient s'expliquer d'une part, par une saturation du recrutement des aires spécifiques aux processus attentionnelles conduisant à un élargissement du réseau d'activation, et d'autre part, par une modification du réseau de déactivation avec le recrutement d'autres aires cérébrales.

Toutefois, les analyses en conjonction ont présenté certaines limites chez les patients, qui ont révélé un réseau d'activation assez faible (taille des clusters réduite). Ceci peut certainement s'expliquer par une hétérogénéité importante des patients entre eux. En effet, en plus de la diversité due à l'âge qu'on trouvait également chez les enfants témoins, les patients présentaient des différences au niveau de la localisation de la tumeur, donc de la zone cérébelleuse lésée, des traitements, de l'âge au moment du diagnostic et tous n'étaient pas droitier. La présence d'un gaucher dans le groupe peut expliquer que les aires motrices ressortent peu de façon commune à tous les patients. L'âge au moment du diagnostic et les traitements thérapeutiques sont des facteurs connus dans la littérature pour influencer les performances attentionnelles (Copeland et al., 1999 ; Mulhern et al., 1998) et l'organisation de la matière blanche cérébrale dans des régions comme le cortex frontal, le cortex cingulaire et le cortex pariétal (Mulhern et al., 2004 ; Qiu et al., 2007). On peut donc supposer que ces facteurs ont pu également influencer différemment la modification du réseau attentionnel chez les sept patients de cette étude.

Résumé du chapitre 2

L'objectif dans ce chapitre était d'explorer et de mieux définir les déficits attentionnels des patients ayant été traités pour une tumeur de la fosse postérieure, altération attentionnelle principalement étudiée dans la littérature à partir de tests neuropsychologiques (Copeland et al., 1999 ; Kieffer-Renaux et al., 2005 ; Steinlin et al., 2003). Pour cela, nous avons mené trois expériences qui ont permis de mieux définir l'altération attentionnelle, à travers la distinction entre les processus automatiques et les processus contrôlés de l'attention sélective visuelle chez ces patients. Tout d'abord, nous avons exploré l'atteinte des processus attentionnels à un niveau comportemental, avec l'implication de processus attentionnels associés d'une part à des traitements de bas niveau en jeu dans la détection d'attributs visuels (expérience 4), et d'autre part à des traitements de plus haut niveau en lien avec l'analyse sémantique de scène visuelle (expérience 5). Puis nous avons également étudié la modification des réseaux cérébraux sous-tendant les processus attentionnels liés à des traitements de bas niveau (expérience 6).

Dans un premier temps, nous avons vu que les processus attentionnels automatiques, relatifs à un effet *pop-out*, étaient préservés chez les patients, aussi bien dans l'expérience 4 que dans l'expérience 5. En effet, dans le paradigme de recherche visuelle, la pente des TR était nulle lorsque la cible et les distracteurs n'avaient aucun trait commun, et dans le *flicker paradigm* la détection du changement était aussi rapide lorsque la présentation de la scène n'était pas interrompue quel que soit l'intérêt sémantique du changement. Un second résultat important concernait la préservation des processus attentionnels contrôlés intervenant dans la détection d'attribut visuel, alors que les processus attentionnels contrôlés associés à l'analyse sémantique d'une scène étaient altérés chez les patients. Autrement-dit, alors que la précision de la réponse n'avait pas d'effet sur l'altération des processus de recherche sérielle, elle se réalisait au détriment de la préservation des processus contrôlés en jeu dans l'analyse sémantique de scène visuelle. Ces expériences ont permis de mieux définir l'atteinte des processus d'attention sélective observée dans l'étude de Steinlin et al. (2003).

Enfin avec l'expérience 6, nous avons pu affiner l'interprétation de la préservation comportementale des processus attentionnels automatiques et contrôlés en jeu lors de la détection d'attributs visuels, par l'étude des réseaux neuronaux qui s'activent et se mettent en

sommeil durant la mise en place de ces processus. La préservation comportementale des processus de recherche parallèle était sous-tendue chez les patients par un réseau d'activation proche de celui des témoins, cervelet exclu. Ce réseau, classiquement observé dans la littérature dans ce type de tâche, incluait le cortex occipital, le cortex pariétal supérieur droit et les aires motrices (Donner et al., 2000 ; Gitelman et al., 1999 ; Hopfinger et al., 2000 ; Nobre et al., 1999 ; Shafritz, Gore, & Marvois, 2002). Toutefois, les patients compensaient par une modification des aires recrutées dans le réseau de déactivation par rapport aux témoins. Ce changement d'aires cérébrales mises en sommeil durant la recherche visuelle, était également observé lors de l'exécution de processus de recherche sérielle. Mais, contrairement aux processus de recherche parallèle, la préservation des processus de recherche sérielle était associée à un élargissement du réseau d'activation. Ce recrutement d'aires supplémentaires s'effectuait de façon particulière. En effet, le réseau d'activation chez les patients sollicitait davantage, d'une part des aires connues pour être très impliquées dans les processus attentionnels contrôlés, comme le cortex cingulaire antérieur (Booth et al., 2003 ; Gitelman et al., 1999 ; Nobre et al., 1997), et d'autre part des régions appartenant au réseau encore immature des enfants de 7 ans de l'expérience 3, comme le cortex frontal inférieur.

Conclusion générale

L'objectif général de ce travail de recherche était de mieux comprendre le fonctionnement des processus automatiques et contrôlés de l'attention sélective visuelle à travers l'étude de leur développement dans la population normale et de leur dysfonctionnement chez des enfants traités pour une tumeur de la fosse postérieure. Pour répondre à cet objectif cette recherche, qui s'inscrit dans le domaine de la neuropsychologie cognitive, s'est réalisée autour de la complémentarité entre l'approche comportementale et l'approche en imagerie fonctionnelle.

Le premier chapitre de la partie expérimentale portait sur l'étude du développement normal des processus d'attention sélective de l'âge de 7 ans à l'âge adulte. D'une part, nos résultats ont mis en évidence une dissociation comportementale dans la maturation des processus automatiques et contrôlés de l'attention sélective visuelle. Dans notre étude, même si une amélioration de la vitesse de traitement a été observée avec l'avancée en âge, les processus attentionnels automatiques étaient efficaces dès l'âge de 7 ans. Ce résultat est en accord avec les données de la littérature qui ont révélé une maturation de ces processus dès les premiers mois de la vie (Alder & Orprecio, 2006). Mais surtout, nos données ont permis de répondre au débat théorique qui concerne la maturation des processus contrôlés. En effet, alors que la littérature prédit une maturité de ces processus entre nous avons vu que ces processus entre 7 et 10 ans (Akshoomoff, 2002 ; Garrd-Cole et al., 2006 ; Klenberg et al., 2001 ; Rueda et al., 2005), notre étude a montré qu'ils arrivaient à maturité au-delà de 10 ans pour les traitements liés à l'analyse sémantique de scène visuelle, et à l'âge de 14 ans pour la détection d'attribut visuel, soit plus tardivement que les recherches le suggéraient. D'autre part, notre étude a permis de mettre en évidence une dissociation dans les réseaux neuronaux qui sous-tendaient les processus automatiques et contrôlés de l'attention sélective visuelle. En effet, même si les structures impliquées dans ces deux types de processus étaient superposables, comme la littérature le prédit chez l'adulte (Corbetta et al., 1991 ; Corbetta et al., 1995 ; Donner et al., 2000 ; Leonards et al. , 2000 ; Pollman et al., 2000), notre travail a révélé une dissociation fonctionnelle de ces réseaux avec trois résultats principaux : (1) le recrutement de cortex pariétal supérieur pour l'exécution des processus automatiques chez les enfants alors que chez les adultes l'implication de cette région était confinée aux processus

contrôlés, (2) une diminution de l'implication du cortex frontal inférieur avec l'âge pour les processus automatiques alors que pour les processus contrôlés cette structure présentait une activation stable avec l'âge, et (3) avec l'âge une mise en sommeil différentielle du réseau de déactivation en fonction du type de processus.

Le second chapitre de la partie expérimentale était centré sur l'étude du dysfonctionnement tardif des processus d'attention sélective de l'âge chez des patients traités pour une tumeur de la fosse postérieure. D'une part, les données comportementales de cette recherche ont révélé trois points importants : (1) la préservation des processus attentionnels automatiques impliqués dans la détection d'attribut visuel comme dans l'analyse de scène, (2) la préservation des processus attentionnels contrôlés relatif à la détection d'attribut visuel, et (3) l'altération des processus contrôlés liés à l'analyse sémantique d'une scène. Ces résultats suggèrent donc une préservation comportementale des processus attentionnels automatiques et une atteinte des processus contrôlés en fonction de la nature du traitement en jeu. Les données comportementales seules ne permettaient donc pas de se prononcer sur une dissociation entre les processus automatiques et contrôlés de l'attention sélective visuelle dans leur atteinte dans cette pathologie. Les résultats de l'imagerie cérébrale ont éclairé sur ce point. En effet, ils ont permis de préciser, concernant les traitements attentionnels liés à la détection d'attribut visuel, que la préservation comportementale de processus automatiques était sous-tendue par un réseau d'activation proche de celui de la population normale, mais également par une modification du réseau de déactivation. Alors que la préservation comportementale des processus attentionnels contrôlés passait par une activation plus importante du cortex cingulaire antérieur et du cortex frontal inférieur, en plus d'une modification du réseau de déactivation.

Cette recherche a donc montré que la dissociation entre les processus automatiques et contrôlés de l'attention chez l'adulte se retrouvait d'une part dans le développement de ces processus. En effet, non seulement ces processus étaient dissociés sur le plan comportemental dès l'enfance, mais en plus sur le plan fonctionnel ces processus étaient sous-tendus par des réseaux qui se modifiaient différemment avec l'âge. Ces processus fonctionnent donc séparément depuis le plus jeune âge. Et d'autre part, cette dissociation a été retrouvée en pathologie dans la compensation différentielle en fonction de la nature du processus attentionnel par les réseaux fonctionnels chez les enfants traités pour une tumeur de la fosse postérieure. En effet, la préservation comportementale des processus automatiques et

contrôlés de l’attention était compensée différemment au niveau cérébral. Les données de cette recherche, ayant montré que ces processus attentionnels se développaient de façon distincte et étaient compensés différemment en pathologie, nous renseignent sur la dissociation dans leur fonctionnement des processus automatiques et contrôlés de l’attention sélective visuelle.

Références bibliographiques

Akshoomoff, N. (2002). Selective attention and active engagement in young children. *Developmental Neuropsychology, 22(3),* 625-642.

Akshoomoff, N. A., & Courchesne, E. (1992). A new role for the cerebellum in cognitive operations. *Behavioral Neuroscience, 106(5),* 731-738.

Alder, S. A., & Orprecio, J. (2006). The eyes have it: visual pop-out in infants and adults. *Developmental Science, 9(2),* 189-206.

Allen, G., Buxton, R. B., Wong, E. C., & Courchesne, E. (1997). Attentional activation of the cerebelum independent of motor involvement. *Science, 275,* 1940-1943.

Arrington, C. M., Carr, T. H., Mayer, A. R., & Rao, S. M. (2000). Neural mechanisms of visual attention: object-based selection of a region in space. *Journal of Cogntive Neuroscience, 12(2),* 106-117.

Bacon, W. F., & Egeth, H. E. (1997). Goal-directed guidance of attention: evidence from conjunctive visual search. *Journal of Experimental Psychology, 23(4),* 948-961.

Baker, S. C., Frith, C. D., & Dolan, R. J. (1997). The interaction between mood and cognition function studied with PET. *Psychological Medicine, 27(3),* 565-578.

Barnea-Goraly, N., Menon, V., Eckert, M., Tamm, L., Bammer, R., Karchemskiy, A., Dant, C. C., & Reiss, A. L. (2005). White matter development during childhood and adolescence: a cross-sectional diffusion tensor imaging study. *Cerebral Cortex, 15,* 1848-1854.

Behrmann, M., Geng, J. J., & Shomstein, S. (2004). Parietal cortex and attention. *Curent Opinion in Neurobiology, 14,* 212-217.

Bertin, E., & Bhatt, R. S. (2001). Dissociation between featural versus conjunction-based texture processing in infancy: analyses of three potential contributing factors. *Journal of Experimental Child Psychology, 78,* 291-311.

Blumberg, F. C., & Torenberg, M. (2003). The impact of spatial cues on prescoolers' selective attention. *The Journal of Genetic Psychology, 164(1),* 42-53.

Blumberg, F. C., Torenberg, M., & Randall, J. D. (2005). The relationship between preschoolers' selective attention and memory for location strategies. *Cognitive Development, 20,* 245-255.

Booth, J., Burman, D. D., Meyer, J. R., Lei, Z., Trommer, B. L., Davenport, N. D., Li, W., Parrish, T. B., Gitelman, D. R., & Mesulam, M. M. (2003). Neural development of selective attention and response inhibition. *NeuroImage, 20,* 737-751.

Botez-Marquard, T., & Lallonde, R. (2005). Le cervelet : comportement moteur et non moteur. In T. Botez-Marquard, & F. Boller (Eds), *Neurosycholgie Clinique et neurologie du comportement* (pp. 295-315). Montréal : Les Presses de l'Université de Montréal.

Braun, C. M. J. (2000). *Neuropsychologie du développement*. Paris: Flammarion Médecine-Sciences.

Broadbent, D. (1958). *Perception and communication*. London: Pergamon Press.

Buckner, R. L., Snyder, A. Z., Shannon, B. J., LaRossa, G., Sachs, R., Fotenos, A. F., Sheline, Y. I., Klunk, W. E., Mathis, C. A., Morris, J. C., & Mintun, M. A. (2005). Molecular, structural, and functional characterization of Alzheimer's disease: evidence for a

relationship between default activity, amyloid, and memory. *Journal of Neuroscience, 25*, 7709-7717.

Buckner, R. L., & Carroll, D. C. (2007). Self-projection and the brain. *Cognitive Sciences, 11(2)*, 49-57.

Buschman, T. J., & Miller, E. K. (2009). Serial, covert shifts of attention during visual search are reflected by the frontal eye fields and correlated with population oscillations. *Neuron, 63*, 386-396.

Camus, J. F. (1996). *La psychologie cognitive de l'attention*. Paris: Armand Collin.

Caplovitz, G. P., Fendrich, R., & Hughes, H. C. (2008). Failures to see: attentive blank stares revealed by change blindness. *Consciousness and Cognition, 17*, 877-886.

Case, R. (1985). Intellectual development: birth to adulhood. New York: Academic Press.

Casey, B. J., Davidson, M. C., Hara, Y., Thomas, K. M., Martinez, A., Galvan, A., Halperin, J. M., Rodriguez-Aranda, C. E., & Tottenham, N. (2004). Early development of subcortical regions involved in non-cued attention switching. *Developmental Science, 7(5)*, 534-542.

Casini, L., & Ivry, R. B. (1999). Effects of divided attention on temporal processing in patients with lesions of cerebellum or frontal lobe. *Neuropsychology, 13(1)*, 10-21.

Cherry, E. C. Some experiments on the recognition of speech, with one and two ears. *Journal of the Acoustic Society of America*, 25:975-979, 1953.

Chun, M. M., & Wolfe, J. M. (1996). Just say no: how are visual searches terminated when there is no target present? *Cognitive Psychology, 30(2)*, 39-78.

Colombo, J. (2001). The development of visual attention in infancy. *Annual Review of Psychology, 52*, 337-367.

Connolly, J. D., Goodale, M. A., Goltz, H. C., & Munoz, D. P. (2004). fMRI activation in the human frontal eye field is correlated with saccadic reaction time. *Journal of Neurophysiology, 94*, 605-611.

Copeland, D. R., deMoor, C., Moore, B. D., & Ater, J. L. (1999). Neurocognitive development of children after a cerebellar tumor in infancy: a longitudinal study. *Journal of Clinical Oncology, 17(11)*, 3476-3486.

Corbetta, M., Akbudak, E., Conturo, T. E., Snyder, A. Z., Ollinger, J. M., Drury, H. A., Linenweber, M. R., Petersen, S. E., Raichle, M. E., Van Essen, D. C., & Shluman, G. L. (1998). A common network of functional areas for attention and eye movements. *Neuron, 21*, 761-773.

Corbetta, M., Kincade, J. M., Ollinger, J. M., McAvoy, M. P., & Shulman, G. L. (2000). Voluntary orienting is dissociated from target detection in human posterior parietal cortex. *Nature Neuroscience, 3*, 292-297.

Corbetta, M., Miezin, F. M., Dobmeyer, S. M., Shulman, G. L., & Petersen, S. E. (1991). Selective and divided attention during visual discriminations of shape, color and speed : functional anatomy by positron emission tomography. *The Journal of Neuroscience, 11(8)*, 2383-2402.

Corbetta, M., Miezin, F. M., Shulman, G. L., & Petersen, S. E. (1993). A PET study of visuospatial attention. *The Journal of Neuroscience, 13(3)*, 1201-1226.

Corbetta, M., Shulman, G. L., (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience, 3*, 201-215.

Corbetta, M., Shulman, G. L., Miezin, F. M., & Petersen, S. E. (1995). Superior parietal cortex activation during spatial attention shifts and visual feature conjunction. *Science, 270*, 802-805.

De Smet, H. J., Baillieux, H., Wackenier, P., De Praeter, M., Engelborghs, S., Paquier, P. F., De Deyn, P. P., Mariën, P. (2009). Long-term cognitive deficits following posterior fossa tumor resection: a neuropsychological and functional neuroimaging follow-up study. *Neuropsychology, 23(6)*, 694-704.

Dehaene, S. (1997). *Le cerveau en action: imagerie cérébrale fonctionnelle en psychologie cognitive*. Paris : PUF.

Di Lollo, V., Kawahara, J.-I., Ghorashi, S. M. S., & Enns, J. T. (2005). The attention blink: resource depletion or temporary loss control? *Psychological Research, 69*, 191-200.

Donner, Y., Kettermann, A., Diesch, E., Ostendorf, F., Villringer, A., & Brandt, S. A. (2000). Involvement of the human frontal eye field and multiple parietal areas in covert visual selection during conjunction search. *European Journal of Neuroscience, 12*, 3407-3414.

Ducan, J. & Humphreys, G. W. (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review, 96(3)*, 433-458.

Enns, J. T., & Rensink, R. A. (1990a). Sensitivity to three-dimensional orientation in visual search. *Psychological Science, 1*, 323-326.

Enns, J. T., & Rensink, R. A. (1990b). Influence of scene-based properties on visual search. *Science, 247*, 721-723.

Enns, J. T., & Trick, L. (2006). Four modes of selection. In E. Bialystok, & F. Craik, (Eds.), *Lifespan cognition: mechanisms of change* (pp. 43-56). New York: Oxford University Press.

Fair, D. A., Cohen, A. L., Dosebach, N. U. F., Church, J. A., Miezin, F. M., Barch, D. M., Raichle, M. E., Petersen, S. E., & Schlaggar, B. L. (2008). The maturing architecture of the brain's default network. *PNAS, 105(10)*, 4028-4032.

Fan, J., McCandliss, B. D, Fossella, J., Flombaum, J. I., & Posner, M. I. (2005). The activation of attentional networks. *NeuroImage, 26*, 471-479.

Fernandez-Duque, D., & Thornton, I. M. (2000). Change detection without awareness: do explicit reports underestimate the representation of change in the visual system? *Visual Cognition, 7(1/2/3)*, 323-344.

Fiori, N. (2006). *Les neurosciences cognitives*. Paris: Armand Collin.

Fletcher-Watson, S., Collis, J. M., Findlay, J. M., & Leekam, S. R. (2009). The development of change blindness: children's attentional priorities whilst viewing naturalistic scenes. *Developmental Science, 12(3)*, 438-445.

Fox, M. D., Snyder, A. Z., Vincent, J. L., Corbetta, M., Van Essen, D. C., & Raichle, M. E. (2005). The human brain is intrinsically organized into dynamic, anticorrelated functional networks. *PNAS, 102(27)*, 9673-9678.

Garrad-Cole, F., Shapiro, K. L., & Thierry, G. (2011). Developmental aspects of temporal and spatial visual attention: insights from the attentional blink and visual search tasks. Child *Neuropsychology*, *17(2)*, 118-137.

Geday, G., & Gjedde, A. (2009). Attention, emotion, and deactivation of default mode activity in inferior medial prefrontal cortex. *Brain and Cognition, 69,* 344-352.

George, A. P., Kuehn, S. M., Vassilyadi, M., Richards, P. M. P., Parlow, S. E., Keene, D. L., & Ventureyra, E. C. G. (2003). Cognitive sequelae in children with posterior fossa tumors. *Pediatric Neurology*, *28(1)*, 42-47.

Gerhardstein, P., & Rovee-Collier, C. (2002). The development of visual search in infants and very young children. *Journal of Experimental Child Psychology*, *81*, 194-215.

Giedd, J. N., Blumenthal, J., Jeffries, N. O., Castellanos, F. X., Liu, H., Zijdenbos, A., Paus, T., Evans, A. C., & Rapoport, J. L. (1999). Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study. *Nature Neuroscience*, *210*, 861-863.

Gitelman, D. R., Nobre, A. C., Parrish, T. B., LaBar, K. S., Kim, Y. H., Meyer, J. R., & Mesulam, M. M. (1999). A large-scale distributed network for covert spatial attention. *Brain*, *122*, 1093-1106.

Golla, H., Thier, P., & Haarmeier, T. (2005). Disturbed overt but normal covert shifts of attention in adult cerebellar patients. *Brain*, *128*, 1525-1535.

Gottwald, B., Mihajlovic, Z., Wilde, B., & Mehdorn, H. M. (2003). Does the cerebellum contribute to specific aspects of attention? *Neuropsychologia*, *41*, 1452-1460.

Grecius, M. D., Krasnow, Reiss, A. L., & Menon V. (2003). Functional connectivity in the resting brain: a network analysis of the default mode hypothesis. *PNAS*, *100(1)*, 253-258.

Gusnard, D. A., & Raichle, M. E. (2001). Searching for a baseline: functional imaging and the resting human brain. *Nature Reviews Neuroscience*, *2(10)*, 685-694.

Hale, S. (1990). A global development trend in cognitive processing speed. *Child Development*, *61*, 653-663.

Halford, G. S., & McCredden, J. E. (2007). Les nouvelles théories du développement cognitif. In A. Blaye, & P. Lemaire, *Psychologie du développement cognitif de l'enfant* (pp. 313-332). Bruxelles : De Boeck.

Harman, C., Posner, M. I., Rothbarth, M. K., & Thomas-Thrapp, L. (1994). Development of orienting to locations and objects in human infants. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *48(2)*, 301-318.

Hermoye, L., Saint-Martin, C., Cosnard, G., Lee, S.-K., Kim, J., Nassogne, M.-C., Menten, R., Clapuyt, P., Donohue, P. K., Hua, K., Wakana, S., Jiang, H., van Zijl, P., & Mori, S. (2006). Pediatric diffusion tensor imaging: normal database and observation of white matter maturation in early childhood. *NeuroImage*, *29*, 493-504.

Hood, B. M., Willen, J. D., & Driver, J. (1998). Adult's eyes trigger shifts of visual attention in human infants. *Psychological Science*, *9*, 131-134.

Hopf, J. M., Noesselt, T., Tempelmann, C., Braun, C., Schoenfeld, A. M., & Heinze, H. J. (2004). Pop-out modulates focal attention in the primary visual cortex. *NeuroImage*, *22*, 574-582.

Hopfinger, J. B., Buonocore, M. H., & Mangun, G. R. (2000). The neural mechanisms of top-down attentional control. *Nature Neuroscience, 3(3),* 284-291.

Horowitz, T. S., & Wolfe, J. M. (1998). Visual search has no memory. *Nature, 394,* 575-577.

Huang-Pollock, C. L., Carr, T. H., & Nigg, J. T. (2002). Development of selective attention: perceptual load influences early versus late attentional selection in children and adults. *Developmental Psychology, 38(3),* 363-375.

Huettel, S. A., Güzeldere, G., & McCarthy, G. (2001). Dissociating the neural mechanisms of visual attention in change detection using functional MRI. *Journal of Cognitive Neuroscience, 13(7),* 1006-1018.

Ivry, R., & Keele, S. (1989). Timing functions of cerebellum. *Journal of Cognitive Neuroscience, 1,* 136-152.

Kahneman, D. (1973). Attention and effort. London: Prentices Hall.

Kandel, E. R., Schwartz, J. H., & Jessell, T. M. (2000). *Principles of neural science*. New York: McGraw-Hill.

Kaptein, N. A., Theeuwes, J., & van der Heijden, A. H. C. (1995). Search for a conjunctively defined target can be selectively limited to a color-defined subset of elements. *Journal of Experimental Psychology, 21(5),* 1053-1069.

Kawahara, J., Enns, J. T. & Di Lollo, V. (2006). The attentional blink is not a unitary phenomenon. *Psychological Research, 70,* 405-413.

Kelley, T. A., Chun, M. M., & Chua, K. P. (2003). Effects of scene inversion on change detection of targets matched for visual salience. *Journal of Vision, 2,* 1-5.

Kendall, A. P., Kautz, M. A., Russo, M. B., Killgore, W. D. S. (2006). Effects of sleep deprivation on lateral visual attention. *International Journal of Neuroscience, 116,* 1128-1138.

Kieffer-Renaux, V., Bulteau, C., Grill, J., Kalifa, C., Viguier, D., & Jambaque, I. (2000). Patterns of neuropsychological deficits in children with medulloblastoma according to craniospinal irradiation doses. *Developmental Medicine & Child Neurology, 42,* 741-745.

Kieffer-Renaux, V., Viguier, D., Raquin, M. A., Laurent-Vannier, A., Habrand, J. L., Dellatolas, G., Kalifa, C., Hartmann, O., & Grill, J. (2005). Therapeutic schedules influence the pattern of intellectual decline after irradiation of posterior fossa tumors. *Pediatric Blood Cancer,* 1-6.

Klenberg, L., Korkman, M., & Lahti-Nuuttila, P. (2001). Differential development of attention and executive functions in 3- to 12-year-old finish children. *Developmental Neuropsychology, 20(1),* 407-428.

Konczak, J., Schoch, B., Dimitrova, A., Gizewski, E., & Timmann, D. (2005). Functional recovery of children and adolescents after cerebellar tumour resection. *Brain, 128,* 1428-1441.

Konrad, K., Neufang, S., Thiel, C. M., Specht, K., Hanisch, C., Fan, J., Herpertz-Dahlmann, B., & Fink, G. R. (2005). Development of attentional networks: an fMRI study with children and adults. *NeuroImage, 28,* 429-439.

Laloyaux, C., Destrebecqz, A., & Cleeremans, A. (2006). Implicit change identification: a replication of Fernandez-Duque and Thornton (2003). *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 32(6)*, 1366-1379.

Lemaire, P. (2006). *Psychologie cognitive*. Bruxelles: De Boeck.

Lemelin, G., Lafortune, D., Fortier, I., Simard, L., & Robaey, P. (2009). Etude du fonctionnement familial et de la symptomatologie des enfants présentant un TDA/H. *Neuropsychiatrie de l'enfance et de l'adolescence, 57(5)*, 392-403.

Leonards, U., Sunaert, S., Van Hecke, P., & Orban, G. A. (2000). Attention mechanisms in visual search: an fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience, 12(2)*, 51-75.

Lewis, J. L. (1970). Semantic processing of unattended messages using dichotic listening. *Journal of Experimental Psychology, 85(2)*, 225-228.

Lim, J., & Dinges, D. F. (2010). A meta-analysis of the impact of short-term sleep deprivation on cognitive variables. *Psychological Bulletin, 136(3)*, 375-389.

Lobaugh, N. J., & Cole, S., Rovet, J. F. (1998). Visual search for features and conjunctions in development. *Canadian Journal of Experimental Psychology, 52(4)*, 201-211.

Luck, S. J., & Vogel, E. K. (2001). Multiple sources of interference in dual-task performance: The cases of the attentional blink and the psychological refractory period. In K. L. Shapiro (Eds.), *The limit of attention* (pp. 124-140). London: Oxford University Press.

Mabbott, D. J., Noseworthy, M., Bouffet, E., Laughlin, S., & Rockel, C. (2006). White matter growth as a mechanism of cognitive development in children. *NeuroImage, 33*, 936-946.

Mabbott, D. J., Penkman, L., Witol, A., Strother, D. & Bouffet, E. (2008). Core neurocognitive functions in children trreated for posterior fossa tumors. *Neuropsychology, 22(2)*, 159-168.

Mabbott, D. J., Spiegler, B. J., Greenberg, M. L., Rutka, J. T., Hyder, D. J., & Bouffet, E. (2006). Serial evaluation of academic and behavioral outcome after treatment with cranial radiation in childhood. *Journal of Clinical Oncology, 23(10)*, 2256-2263.

Mack, A., & Rock, I. (1998). *Inattentional blindness*. Cambridge, MA: MIT Press.

Mayer, J. S., Roebroeck, A., Maurer, K., & Linden, D. E. J. (2010). Specialization in the default mode: task-induced brain deactivation dissociate between visual working memory and attention. *Human Brain Mapping, 31*, 126-139.

Mazoyer (2001). *L'imagerie cérébrale fonctionnelle*. Paris : PUF.

Mesulam, M. M. (1981). A cortical network for directed attention and unilateral neglect. *Annals of Neurology, 10*, 309-325.

Mesulam, M. M. (1990). Large-scale neurocognitive networks and distributed processing for attention, language, and memory. *Annals of Neurology, 28*(597-613).

Mesulam, M. M., Nobre, A. C., Kim, Y. H., Parrish, T. B., & Gitelman, D. R. (2001). Heterogeneity of cingulate contributions to spatial attention. *NeuroImage, 13*, 1065-1072.

Middleton, F. A., & Strick, P. L. (2000). Basal ganglia and cerebellar loops: motor and cognitive circuits. Brain Research. *Brain Research Reviews, 31(2-3)*, 238-250.

Mitby, P. A., Robison, L. L., Whitton, J. A., Zevon, M. A., Gibbs, I. C., Tersak, J. M., Meadows, A. T., Stovall, M., Zeitzer, L. K., & Mertens, A. C. (2003). Utilization of special education services and educational attainment among long-term survivors of childhood cancer. *American Cancer Society, 97(4),* 1115-1126.

Mulhern, R. K., Merchant, T. E., Gajjar, A., Reddick, W. E., & Kun, L. E. (2004). Late neurocognitive sequelae in survivors of brain tumours in childhood. *Lancet Oncology, 5*, 399-408.

Müller, H. J., & Krummenacher, J. (2006). Visual search and selective attention. *Visual Cognition, 14*, 389-410.

Ness, K. K., Gurney, J. G., Zeltzer, L. K., Leisenring, W., Mulrooney, D. A., Nathan, P. C., Robison, L. L., & Mertens, A. C. (2008). The impact of limitations in physical, executive, and emotional function on health-related quality of life among adult survivors of childhood cancer: a report from the childhood cancer survivor study. *Archives of Physical Medicine and rehabilitation, 89*, 128-136.

Nobre, A. C., Sebestyen, G. N., Gitelman, D. R. , Mesulam, M., Frackowiak, R. S. J., & Frith, C. D. (1997). Functional localization of the system for visuospatial attention using positron emission tomography. *Brain, 120*, 515-533.

Nobre, A. C., Coull, J. T., Frith, C. D., & Mesulam, M. (1999). Orbitofrontal cortex is activated during breaches of expectation in tasks of visual attention. Nature Neuroscience, 2(1), 11-12.

Nobre, A. C., Gitelman, D. R., Dias, E. C., & Mesulam M. (2000). Covert visual spatial orienting and saccades: overlapping neural systems. *NeuroImage, 11*, 210-216.

Nothdurft, H. C. (1999). Focal attention in visual search. *Vision Research, 39*, 2305-2310.

O'Regan, J. K., Deubel, H., Clark, J. J., & Rensink, R. A. (2000). Picture changes during blinks: looking without seeing and seeing without looking. *Visual Cognition, 7(1/2/3)*, 191-211.

Palmer, S. L., Goloubeva, O., Reddick, W. E., Glass, J. O., Gajjar, A., Kun, L., Merchant, T. E., & Mulhern, R. K. (2001). Patterns of intellectual development among survivors of pediatric medulloblastoma: a longitudinal analysis. *Journal of Clinical Oncology, 19(8)*, 2302-2308.

Palmer, S. L., Gajjar, A., Reddick, W. E., Glass, J. O., Kun, L. E., Wu, S., Xiong, X., & Mulhern, R. K. (2003). Predicting intellectual outcome among children treated with 35-40 Gy craniospinal irradiation for medulloblastoma. *Neuropsychology, 17(4)*, 548-555.

Palmer, S. L., & Leigh, L. (2009). Survivors of pediatric posterior fossa tumors: cognitive outcome, intervention, and risk-based care. *European Journal of Oncology Nursing, 13*, 171-178.

Pasto, L., & Burack, J. A. (1997). A developmental study of visual attention: issues of filtering efficiency and focus. *Cognitive Development, 12*, 523-535.

Piaget, J. (1959). *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*. Neuchâtel: Delachaux & Niestlé.

Piaget, J., & Inhelder, B. (1966). *La psychologie de l'enfant et de l'adolescent*. Paris: PUF.

Pilcher, J. J., Band, D., Odle-Dussau, H. N., & Muth, E. R. (2007). Human performance under sustained operations and acute sleep deprivation conditions: toward a model of controlled attention. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, *78(5)*, B15-B24.

Pochon, J. B., Levy, R., Fossati, P., Lehericy, S., Poline, J. B., Pillon, B., Le Bihan, D., & Dubois, B. (2002). The neural system that bridges reward and cognition in humans: an fMRI study. *PNAS*, *99(8)*, 5669-5674.

Pollman, S., Weidner, R., Müller, H. J. & Cramon D. Y. (2000). A fronto-posterior network involved in visual dimension changes. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *12(3)*, 480-494.

Poggi, G., Liscio, M., Galbiati, S., Adduci, A., Massimino, M., Gandola, L., Spreafico, F., Clerici, C. A., Fossati-Bellani, F., Sommovigo, M., & Castelli, E. (2005). Brain tumors in children and adolescents: cognitive and psychological disorders at different ages. *Psycho-Oncology*, *14*, 386-395.

Porporino, M., Shore, D. I., Iarocci, G., Burack, J. A. (2004). A developmental change in selective attention and global form perception. *International Journal of Behavioral Development*, *28(4)*, 358-364.

Posner, M. I., & Petersen S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, *13*, 25-42.

Posner, M. I., & Raichle, M. E. (1998). *L'esprit en images*. Paris: De Boeck.

Prinzmental, W., Presti, D. E., & Posner, M. I. (1986). Does attention affect visual feature integration? *Journal of Experimental Psychology*, *12(3)*, 361-369.

Qiu, D., Kwong, D. L. W., Chan, G. C. F., Leung, L. H. T., & Khong, P. L. (2007). Diffusion tensor magnetic resonance imaging finding of discrepant fractional anisotropy between the frontal and parietal lobes after whole-brain irradiation in childhood medulloblastoma survivors: reflection of regional white matter radiosensitivity? *International Journal of Radiation Oncology Biology Physics*, *69(3)*, 846-851.

Ramnani, N., Behrens, T. E., Johansen-Berg, H., Richter, M. C., Pinsk, M. A., Andersson, J. L., Rudebeck, P., Ciccarelli, O., Richter, W., Thompson, A. J., Gross, C. G., Robson, M. D., Kastner, S., & Matthews, P. M. (2006). The evolution of prefrontal inputs to the cortico-pontine system: diffusion imaging evidence from macaque monkeys and humans. *Cerebral Cortex*, *16(6)*, 811-818.

Raymond, J. E., Shapiro, K. L., & Arnell, K. M. (1992). Temporary suppression of visual processing in an RSVP task: an attentional blink? *Journal of Experimental Psychology*, *18(3)*, 849-860.

Reddick, W. E., Russell, J. M., Glass, J. O., Mulhern, R. K., Langston, J. W., Merchant, T. E., Kun, L. E., & Gajjar, A. (2000). Subtle white matter volume differences in children treated for medulloblastoma with conventional or reduced-dose cranial-spinal irradiation. *Magnetic Resonance Imaging*, *18*, 787-793.

Rensink, R. A., O'Regan, K., & Clark, J. J. (1997). To see or not to see: the need for attention to perceive changes in scenes. *Psychological Science*, *8(5)*, 368-373.

Rensink, R. A. (2004). Visual sensing without seeing. *Psychological Science*, *15(1)*, 27-32.

Riggs, K. J., McTaggart, J., Simpson, A., & Freeman, R. P. J. (2006). Changes in the capacity of visual working memory in 5- to 10-year-olds. *Journal of Experimental Child Psychology, 95*, 18-26.

Riva, D., & Giorgi, C. (2000). The cerebellum contributes to higher functions during development: evidence from a series of children surgically treated for posterior fossa tumours. *Brain, 123*, 1051-1061.

Rueda, R., Posner, M.I., & Rothbart, M. K. (2005). The development of executive attention: contributions to the emergence of self-regulation. *Developmental Neuropsychology, 28(2)*, 573-594.

Saenz, M., Buracas, G. T., & Boynton, G. M. (2002). Global effects of feature-based attention in human visual cortex. *Nature Neuroscience, 5(7)*, 631-632.

Schmahmann, J. D. (1997). *The cerebellum and cognition*. San Diego: Academic Press.

Schmahmann, J. D., & Sherman, J. C. (1998). The cerebellar cognitive affective syndrome. *Brain, 121*, 561-579.

Schoch, B., Gorissen, B., Richter, S., Ozimek, A., Kaiser, O., Dimitrova, A., Regel, J. P., Wieland, R., Hövel, M., Gizewski, E., & Timmann, D. (2004). Do children with focal cerebellar lesions show deficits in shifting attention? *Journal of Neurophysiology, 92(3)*, 1856-1866.

Scholl, B. J. (2000). Attenuated change blindness for exogenously attended items in a flicker paradigm. *Visual Cognition, 7(1/2/3)*, 377-396.

Schul, R., Townsend, J., & Stiles, J. (2003). The development of attentional orienting during the school-age years. *Developmental Science, 6(3)*, 262-272.

Schulz, K. A. P., Ness, K. K., Whitton, J., Recklitis, C., Zebrack, B., Robison, L. L., Zeltzer, L., & Mertens, A. C. (2007). Behavioral and social outcomes I adolescent survivors of childhood cancer: a report from the childhood cancer survivor study. *Journal of Clinical Oncology, 25(24)*, 3649-3656.

Schweizer, T. A., Alexander, M. P., Cusimano, M., & Stuss, D. T. (2007). Fast and efficient visuotemporal attention requires the cerebellum. *Neuropsychologia, 45*, 3068-3074.

Serences, J. T., Shomstein, S., Leber, A. B., Golay, X., Egeth, H. E., & Yantis, S. (2005). Coordination of voluntary and stimulus-driven attentional control in human cortex. *Psychological Science, 16(2)*, 114-122.

Shafritz, K. M., Gore, J. C., & Marvois, R. (2002). The role of the parietal cortex in visual feature binding. *PNAS, 99(16)*, 10917-10922.

Shapiro, K. L., Raymond, J. E., & Arnell, K. M. (1994). Attention to visual pattern information produces the attentional blink in rapid serial visual presentation. *Journal of Experimental Psychology, 20(2)*, 357-371.

Shapiro, K. L., Caldwell, J., & Sorensen, R. E. (1997). Personal names and the attentional blink: a visual "cocktail party" effect. *Journal of Experimental Psychology, 23(2)*, 504-514.

Shapiro, K. L., & Garrad-Cole, F. (2003). Age-related deficits and involvement of frontal cortical areas as revealed by the attentional blink task. *Journal of Vision, 3(9)*, 726a.

Shen, J., Ringold, E. M., & Pomplun, M. (2003). Guidance of eye movements during conjunctive visual search: the distractor-ratio effect. *Canadian Journal of Experimental Psychology, 57(2)*, 76-96.

Shiffrin, R. M., & Schneider W. (1984). Automatic and controlled processing revisited. *Psychological Review, 91(2)*, 269-276.

Shore, D. I., Burack, J. A., Miller, D., Joseph, S., & Enns, J. T. (2006). The development of change detection. *Developmental Science, 9(5)*, 490-497.

Shulman, G. L., Fiez, J. A., Corbetta, M., Buckner, R. L., Miezin, F. M., Raichle, M. E., & Petersen, S. E. (1997). Common blood flow changes across visual tasks: II. Decreases in cerebral cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience, 9(5)*, 648-663.

Shulman, G. L., Astaafiev, S. V., McAvoy, M.P., d'Avossa, G., & Corbetta, M. (2007). Right TPJ deactivation during visual search: functional significance and support for a filter hypothesis. *Cerebral Cortex, 17(11)*, 2625-2633.

Simons, D. J., & Levin, D. T. (1998). Failure to detect changes to people during a real-world interaction. *Psychonomic Bulletin & Review, 5(4)*, 644-649.

Simons, D. J., & Chabris, C. F. (1999). Gorillas in our midst: sustained inattentional blindness for dynamic events. *Perception, 28*, 1059-1074.

Simons, D. J., & Rensink, R. A. (2005). Change blindness: past, present, and future. Cognitive Sciences, 9(1), 16-20.

Simons, S. J., & Ambinder, M. S. (2005). Change blindness: theory and consequences. *American Psychological Society, 14(1)*, 44-48.

Small, D. M., Gitelman, D. R., Gregory, M. D., Nobre, A. C., Parrish, T. B., & Mesulam, M. M. (2003). The posterior cingulate and medial prefrontal cortex mediate the anticipatory allocation of spatial attention. *NeuroImage, 18*, 633-641.

Smulders, S. F. A., Notebaert, W., Meijer, M., Crone, E. A., van der Molen, M. W., & Soetens, E. (2005). Sequential effects on speeded information processing: a developmental study. *Journal of Experimental Child Psychology, 90*, 208-234.

Sridharan, D., Levitin, D. J., & Menon, V. (2008). A critical role for the right fronto-insular cortex switching between central-executive and default-mode networks. *PNAS, 105(34)*, 12569-12574.

Steinlin, M., Imfeld, S., Zulauf, P., Boltshauser, E., Lövblad, K. O., Lüthy, A. R., Perring, W., & Kaufmann, F. (2003). Neuropsychological long-term sequelae after posterior fossa tumour resection during childhood. *Brain, 126*, 1998-2008.

Stevens, M. C., Pearlson, G. D., & Calhoun, V. D. (2009). Changes in the interaction of resting-state neural networks from adolescence to adulthood. *Human Brain Mapping, 30*, 2356-2366.

Testu, F. (1989). *Chronopsychologie et rythmes scolaires*. Paris: Masson.

Testu, F. (2008). *Rythmes de vie et rythmes scolaires: aspects chronobiologiques et chronopsychologiques*. Paris: Masson.

Theeuwes, J. (1991). Exogenous and endogenous control of attention: the effect of visual onsets and offsets. *Perception & Psychophysics, 49(1)*, 83-90.

Thompson, K. G., Biscoe, K. L., & Sato, T. R. (2005). Neuronal basis of covert spatail attention in the frontal eyes field. *The Journal of Neuroscience, 25(41),* 9479-9487.

Tomasi, D., Ernst, T., Caparelli, E. C., & Chang, L. (2006). Common deactivation patterns during working memory and visual attention tasks: an intra-subject fMRI study at 4 Tesla. *Human Brain Mapping, 27,* 694-705.

Treisman, A. M. (1982). Perceptual grouping and attention in visual search for features and for objects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 8(2),* 194-214.

Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology, 12,* 97-136.

Treisman, A. M., & Sato, S. (1990). Conjunction search revisited. *Journal of Experimental Psychology, 16(3),* 459-478.

Treisman, A. M. (1992). Perceiving and re-perceiving objects. *American Psychologist,* 47(7), 862-875.

Uddin, L. Q., Kelly, A. M. C., Biswal, B. B., Castellanos, F. X., & Milham, M. P. (2009). Functional connectivity of default mode network components: correlation, anticorrelation, and causality. *Human Brain Mapping, 30,* 625-637.

Ungerleider, L. G., & Mishkin, M. (1982). Two cortical visual systems. In D. J. Ingle, M. A. Goodale, & R. J. W. Mansfield, (Eds.), *Analysis of visual behavior* (pp. 549-586). Cambridge: The MIT Press.

Ungerleider, L. G., & Haxby, J. V. (1994). "What" and "where" in the human brain. *Current Opinion in Neurobiology, 4,* 157-165.

Van Horn, J. D. (2004). The new perspectives in fMRI research award: exploring patterns of default-mode brain activity. *Journal of Cognitive Neuroscience, 16(9),* 1479-1480.

Vidyasagar, T. R. (1999). A neuronal model of attentional spotlight: parietal guiding the temporal. *Brain Research Reviews, 30,* 66-76.

Visser, T. A. W., Bischop, W. F., & Di Lollo, V. (1999). Attentional switching in spatial and nonspatial domains: evidence from the attentional blink. *Psychological Bulletin, 125(4),* 458-469.

Visser, T. A. W. (2007). T1 difficulty and the attentional blink: expectancy versus bakward masking. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 60(7),* 936-951.

Vuontela, V., Steenari, M.-R., Aronen, E. T., Korvenoja, A., Aronen, H. J., & Carlson, S. (2009). Brain activation and deactivation during location and color working memory tasks in 11-13-year-old children. *Brain and Cognition, 69,* 56-64.

Webster, M. J., & Ungerleider, L. G. (1998). Neuroanatomy of visual attention. In R. Parasuraman (Eds.), *The attentive brain* (pp. 19-34). Cambridge: The MIT Press.

Weissman-Fogel, I., Moayedi, M., Taylor, K. S., Pope, G., & Davis, K. D. (2010). Cognitive and default-mode resting state networks: do male and female brains "rest" differently? *Human Brain Mapping, 31,* 1713-1726.

Werner, S., & Thies, B. (2000). Is "change blindness" attenuated by domain-specific expertise? an expert-novices comparison of change detection in football images. *Visual Cognition, 7,* 163-173.

Wetzel, N., Widman, A., Berti, S., & Schröger, E. (2006). The development of involuntary and voluntary attention from childhood to adulthood: a combined behavioral and event-related potential study. *Clinical Neurophysiology*, *117*, 2191-2203.

Wolfe, J. (1992). The parallel guidance of visual attention. *Cambridge University Press*, *1*, 124-128.

Wolfe, J. (1994). Guided search 2.0 : a revised model of visual search. *Psychonomic Bulletin & Review*, *1(2)*, 202-238.

Wolfe, J. M., Cave, K. R., & Franzel, S. L. (1989). Guided search: an alternative to the feature integration model for visual search. *Journal of Experimental Psychology*, *15(3)*, 419-433.

Wolfe, J. M. (2003). Moving towards solutions to some enduring controversies in visual search. *Trends in Cognitive Sciences*, *7(2)*, 70-76.

Yakolev, P. I. (1962). Morphological criteria of growth and maturation of the nervous system in man. *Research Publications, Association for Research in Nervous and Mental Diseases*, *39*, 3.

Yantis, S. & Egeth, H. E. (1999). On the distinction between visual salience and stimulus-driven attentional capture. *Journal of Experimental Psychology*, *25(3)*, 661-676.