



Université de Fribourg  
Faculté des lettres et des sciences humaines  
Département de Psychologie



UFR des Arts, Lettres, Langues et Sciences humaines  
Laboratoire de Psychologie Cognitive – UMR 7290  
École Doctorale Cognition, Langage, Éducation – ED 356

## **THÈSE de doctorat**

Présentée à la Faculté des lettres et des sciences humaines  
de l'Université de Fribourg (Suisse)  
Pour obtenir le titre de

*Docteur ès Sciences en Psychologie*  
de l'Université de Fribourg

*Docteur en Psychologie*  
de l'Université d'Aix-Marseille

---

**Développement de la mémoire de travail et aide au maintien du but :**  
**Investigation du rôle joué par l'indiciage du but**  
**dans le fonctionnement de la mémoire de travail verbale**  
**chez les enfants de 4 à 9 ans**

---

Par

**Christophe FITAMEN**

(de Marseille, France)

Cotutelle de thèse

12 avril 2019

Approuvé par la Faculté des lettres et des sciences humaines sur proposition des Professeurs Valérie Camos (première rapporteure), Agnès Blaye (deuxième rapporteure), Pierre Barrouillet (troisième rapporteur) et Édouard Gentaz (quatrième rapporteur). Fribourg, le 12 avril 2019. La Doyenne Bernadette Charlier Pasquier.

# Résumé

Cruciale dans les apprentissages, notamment scolaires, la mémoire de travail se développe avec l'avancée en âge durant l'enfance. Ce travail de thèse vise à élargir nos connaissances sur le développement de son fonctionnement entre la période préscolaire et la période scolaire. De précédentes études ont démontré que la négligence du but contribuait au faible contrôle exécutif des enfants d'âge préscolaire. Par conséquent, présenter des indices de but durant une tâche améliore les performances des enfants dans des tâches d'inhibition et de flexibilité. Paradoxalement, quasiment aucune étude ne s'est interrogée sur le rôle que pourrait jouer un défaut de maintien du but dans les faibles performances des enfants les plus jeunes dans les tâches de mémoire de travail. C'est l'objet du présent travail. Ce sujet a été traité en introduisant, durant l'intervalle de rétention de paradigmes de type Brown-Peterson et des tâches d'empan simple ou complexe, des indices de but pouvant être exogènes (visuels ou auditivo-verbaux), exogènes et associés à un indice endogène (effectuer une gestuelle porteuse de sens), ou prendre la forme d'un jeu de rôle. Les résultats ont indiqué 1) que les enfants d'âge préscolaire répétaient plus fréquemment en présence d'un indice visuel sans toutefois que cela n'impacte leurs scores de rappel ; 2) qu'une association d'un indice exogène à un indice endogène améliore les performances en mémoire de travail des enfants ; 3) qu'effectuer en premier une condition de jeu de rôle permettait aux enfants de conserver le même niveau de performances en mémoire de travail dans une condition subséquente sans jeu de rôle. Toutefois, A) un indice auditivo-verbal a détérioré les performances de rappel des enfants ; B) l'effet bénéfique de l'association des indices exogène et endogène n'a pas été reproduit ; et C) l'effet bénéfique du jeu de rôle observé dans les études d'Istomina (1948) et de Bertrand et Camos (2015) ne fut pas répliqué. Ces évidences contrastent ainsi fortement avec les résultats d'autres tâches de contrôle exécutif et avec les résultats d'Istomina (1948) et de Bertrand et Camos (2015). Les limites du transfert de méthode d'un champ à un autre de la psychologie du développement sont discutées, ainsi que la capacité des enfants d'âge préscolaire à maintenir le but durant une tâche de mémoire de travail. Enfin, ce travail de thèse propose une ouverture vers l'étude du maintien du but dans des tâches d'empan complexe en modalité visio-spatiale et non plus verbale lors de paradigmes de type Brown-Peterson.

**Mots Clefs :** Maintien du But, Mémoire de Travail, Indice de But, Enfants d'Âge Préscolaire, Négligence du But, Psychologie du Développement

# **Working memory development and support for goal maintenance: The role of goal cueing in verbal working memory functioning in 4- to 9-year-old children**

## **Abstract**

Crucial in learning, especially academic learning, working memory develops with age during childhood. This thesis aims to broaden our knowledge of working memory functioning development between the preschool period and the school period. Previous studies have shown that goal neglect contributed to kindergarteners' poor executive control. Hence, presenting goal cues during a task improves children's performance in inhibition and switching tasks. Paradoxically, almost no study has questioned the role that failure to maintain the goal might play in the poor performance of younger children in working memory tasks. This is the topic of this work. This topic was been treated by introducing, during the retention interval in a Brown-Peterson task and in a simple or complex span task, goal cues that can be exogenous (visual or auditory-verbal), exogenous associated to an endogenous cueing (perform meaningful gestures) or taking the form of a role play. Results showed that 1) preschoolers rehearsed more frequently with a visual cue without improvement in their recall performance; 2) an association of an exogenous cue with an endogenous cue has improved kindergarteners' working memory performance; 3) performing a role play first allowed kindergarteners to maintain the same level of working memory performance during a subsequent condition without role playing. However, A) an auditory-verbal cue was detrimental to kindergarteners' recall; B) the beneficial effect of the association of exogenous and endogenous cues was not replicated; and C) the beneficial effect of role playing observed in Istomina (1948) and Bertrand and Camos (2015) was not replicated. This contrasts sharply with findings in other executive control tasks and with findings of Istomina (1948) and Bertrand and Camos (2015). The limits of transferring a method from different fields in developmental psychology and the ability of kindergarteners to maintain the goal during a working memory task are discussed. Finally, this thesis proposes an opening towards the study of goal maintenance in visuo-spatial complex span tasks contrary to Brown-Peterson verbal tasks.

**Keywords:** Goal Maintenance, Working Memory, Goal Cue, Kindergarteners, Goal Neglect, Developmental Psychology

*« La nature recommençait à régner  
sur le Bois d'où s'était envolée l'idée qu'il était le  
Jardin élyséen de la Femme ; au-dessus du moulin factice  
le vrai ciel était gris ; le vent ridait le Grand Lac de petites  
vaguelettes, comme un lac ; de gros oiseaux parcouraient rapidement  
le Bois, comme un bois, et poussant des cris aigus se posaient l'un après  
l'autre sur les grands chênes qui, sous leur couronne druidique et avec  
une majesté dodonéenne, semblaient proclamer le vide inhumain de la forêt  
désaffectée, et m'aidaient à mieux comprendre la contradiction que c'est  
de chercher dans la réalité les tableaux de la mémoire, auxquels  
manquerait toujours le charme qui leur vient de  
la mémoire même et de n'être pas perçus par  
les sens. »*

Marcel Proust  
Du côté de chez Swann

# Remerciements

« Venez passer quelques temps à Fribourg voir si vous vous y sentez bien [comprendre si vous pouvez survivre ici.] » Sachant que j'étais originaire de Marseille, puis avais vécu dans un « petit village » au doux nom de Dijon, ce fut à quelques vraisemblances près que la Professeur Ordinaire Valérie Camos, ma directrice de thèse, m'annonçait le début de mon doctorat. Petit tour sur Google images, j'entrevois quelques photos d'un village perché dans un rude climat montagnard (la basse ville et ses falaises) et, ok, me voilà lancé dans l'aventure ! Passons les détails de l'acclimatation plus que facilitée par les spécialités locales (chocolats Villars, le Gruyère, etc.), c'est à vous Valérie que j'adresse mes premiers remerciements. De notre premier contact par Skype jusqu'à la rédaction de ces lignes, vous avez été d'une grande aide pour chaque étape de mon parcours de thèse. C'est de façon inlassable que vous preniez le temps d'expliquer chaque concept théorique, que vous étiez à l'écoute à tout moment et pour tout type d'interrogation que je pouvais avoir. Votre disponibilité fut sans aucun doute précieuse durant mon doctorat. Merci de m'avoir offert votre confiance durant ces trois années et de continuer à le faire.

Outre la part « exotique » du doctorat se déroulant dans ces contrées qui comptent de drôles de saisons dont une qui fait blanchir les paysages et une autre qui par ses couleurs flamboyantes rend si chaleureuse une période où, dans mes souvenirs d'enfant, le Mistral sort de son sommeil estival, une autre part de la thèse se fit à Marseille sous la codirection de la Professeure Agnès Blaye. Agnès, c'est d'une façon intense que vous avez partagé votre savoir au cours de ma thèse. Je me souviens d'un des tous premiers Skype où je me suis retrouvé à bénéficier d'un véritable cours privé sur le fonctionnement exécutif. Durant les années qui suivirent, vous n'avez pas tari en enseignements et multiples conseils, cela même durant mes périodes fribourgeoises. Merci pour toute votre aide que vous m'apportez encore aujourd'hui.

Je remercie les Professeurs Ordinaires Pierre Barrouillet et Édouard Gentaz de l'Université de Genève d'avoir accepté d'être les rapporteurs de ce travail de thèse. J'adresse également mes remerciements au Reader Nicolas Chevalier de l'Université d'Édimbourg de me faire le plaisir d'être assesseur lors de ma soutenance de thèse.

Je tiens à remercier le Fond National Suisse de la recherche scientifique (contrat n° 100019L\_156521) ainsi que l'Agence Nationale de la Recherche (contrat ANR-14-CE36-0011 MEMOGOAL) pour avoir financé ce projet de recherche binational. Merci également à swissuniversities pour leur attribution d'un subside de cotutelle. Merci au Fond d'Action de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines, et à l'Académie Suisse des Sciences Humaines et Sociales, de m'avoir donné l'opportunité de participer à des colloques internationaux en prenant en charge les frais s'y rattachant.

Que serait une thèse en psychologie du développement sans enfant ? J'adresse mes remerciements à Monsieur Jean-Marc Oberson et à la Direction de l'instruction publique pour toutes les facilités qui nous ont été apportées quant à l'accès aux écoles du canton de Fribourg. Merci aux établissements suisses et français de Bouc-Bel-Air (la Salle), Bramois, Bulle (la Condémine, la Léchère, la Vudalla), Cabriès (Petit Lac, la Trébillane), Châtel-Saint-Denis, Estavayer-le-Gibloux, Farvagny, Marseille (Notre-Dame de la Paix, Notre-Dame de l'Huveaune, Sainte-Anne, Sainte-Bernadette), Marsens, Matran, Sion, la Tour-de-Trême, Vuisternens-en-Ogoz, ainsi qu'à leurs responsables et à l'ensemble des enseignants nous ayant accueilli dans leurs classes. Un grand merci à tous les parents ayant accepté que leurs enfants participent à nos expériences. Merci à tous ces enfants qui nous ont accordés leur confiance en prenant part à notre recherche.

Comme on ne teste pas huit cents enfants tout seul, je tiens à adresser mes sincères remerciements aux ingénieures d'études Alix Leyat et Charlotte Reymond qui furent d'un grand renfort lors des expérimentations marseillaises. Mes sincères remerciements vont également à tous les étudiants fribourgeois qui, dans le cadre de leur mémoire ou de leur stage, ont pris part aux passations. Muriel Arrigoni, Mathieu Bach, Delphine Berard, Mélanie Caloz, Felicie Corminboeuf, Albertine Corthay Charlotte Crisci, Antoine Despond, Sarah Despont, Delphine Genoud, Philomène Gentner, Helin Hazal, Kim Hirsbrunner, Auriane Joly, Chloé de Martino, Manon Ngoy, Clarisse Niçaise, Romane Pegaitaz, Diana dos Santos Sanches, Mathilda Stritt, Sarah Tanner, Carine Valnet, Antoine Wuilleret, sans vous, il aurait été bien compliqué de réaliser ces expériences. Et puis, c'était quand même très sympa de pouvoir partager tous ces moments dans les écoles ! Merci également à Stéphane Dufau,

ingénieur au laboratoire de psychologie cognitive à Marseille, pour sa précieuse aide à la réalisation d'un script E-Prime qui m'a donné beaucoup de fil à retordre.

Un grand merci à toute mon équipe de Fribourg avec qui j'ai évolué durant mes années de thèse. Anne-Laure, Benoit, se fut un plaisir de commencer ma thèse en votre bonne compagnie. Vous m'avez intégré à l'équipe et aux autres groupes si rapidement ! Clément, oh fatche de, vé ! Le gadjo il dit qu'il vient de Marseille alors qu'il vient d'Aix. Quelle esbroufe ! Mais tu avais toujours ces petites touches, « t'y es, t'y as » qui réchauffaient mon cœur. Fiona, qui croirait que l'on a une telle guerrière dans l'équipe ? Avec ton esprit de combattante et toujours optimiste, c'était naturellement vers toi que je venais dès que j'avais besoin d'un coup de boost ! Johann, où l'art de citer South Park dans n'importe quel sujet de conversation. J'adore ! Lina, ta joie était communicative ! Marlène, c'était fantastique de partager le bureau avec toi. J'ai tant appris en début de thèse grâce à toi, mais j'ai aussi tant rigolé ! Philippe, tu es arrivé dans le bureau lors de la partie la moins fun de ma thèse. Mais tu as su si bien t'adapter, surtout à ma Travoltamania ! Et puis, j'ai en partie survécu grâce à toi les midis. Stéphanie, toujours gaie en affichant un large sourire, tu as beaucoup contribué à tous ces petits moments me permettant de déconnecter un peu. Serena, maintenant je sais danser la danse du Backback Kid ! Bon enfin presque. Lady et Gilou, que d'amour lors de vos passages ! Un tel partage d'affection, de poils, et de bave.

Une thèse c'est quand même beaucoup plus cool avec de supers camarades d'aventure ! Anne-Raphaëlle, c'était génial de partager avec toi l'expérience de ma thèse en 180 secondes. Merci pour tes nombreux encouragements au cours de l'écriture. Claudie, qu'aurais-je fait sans ma guide des meilleurs lieux de vie fribourgeois ? Ce fut un plaisir de partager avec toi tous ces moments ponctuant le parcours de thèse de saveurs houblonnées. Et quelles belles discussions nous avons eu durant ces années. Force, courage, et folies pour la suite ! Mayron, duuuuuude, je suis tellement heureux d'avoir eu la chance de te rencontrer. Je ne peux que manquer de superlatifs, surtout face à ton excellente capacité à en donner, pour te dire combien tous ces derniers mois en ta compagnie étaient incroyables. Vivement les prochains jours, mois, années ! Michael, pouvoir échanger nos photos et des discussions autour de la photo me permettait de m'évader, de voyager sur ces magnifiques sommets, durant quelques agréables instants. Poshita, mon rayon de soleil marseillais ! Tu

donnais cette couleur chatoyante à mes journées passées au labo et après-midis en terrasse. Regina, c'était toujours un plaisir d'échanger avec toi autour d'un verre, de passage à ton bureau ou lors de nos excursions en montagne. Romina, j'ai eu droit à de prodigieuses vagues de radiations de bonheur chaque fois que nous partagions un moment ensemble. Il n'y a pas d'autre mot. Ce qui est bien, c'est qu'il n'y a pas de dose limite pour ce genre d'irradiation. J'en redemande volontiers pour les années à venir !

Maman, Papa, merci pour votre soutien sans faille durant ce long parcours scolaire. Qui pouvait imaginer que je passerais tant de temps à l'école ? J'en repars même en maternelle ! Outre ce retour chez les pitchouns, la cotutelle de thèse m'a donné l'occasion de revenir plus longuement au pays. Qu'il était drôle de retrouver sa chambre d'ado, mais qu'est-ce qu'il était chaleureux de revenir à la maison. Après avoir fait le plein de douceurs locales d'Elitys (aaah tous ces bons petits plats), les montagnes suisses me rappelaient déjà. Enfin, après avoir corrigé mon mémoire de Master 1, celui de Master 2, celui de Psy (?), vous avez tenu bon à la correction de la Thèse ! Cécile, Philippe, Léa, Matthieu, Marie, Éric, Quentin, Françoise, Denis, Sophie, merci beaucoup pour vos encouragements et votre présence durant ces années de thèse.

Audrey, malgré la distance, tu as su rester présente et à l'écoute durant tout ce temps. Tu as fait preuve de tant de patience. Patience pendant ces longues périodes où j'étais de l'autre côté de la frontière ou en pays marseillais ; patience à m'écouter débâter de psycho de façon incessante ; patience à créer ces merveilleux petits dessins qui ont illustrés de nombreuses présentations de ma thèse ; enfin, patience à participer à la relecture minutieuse de ce manuscrit. Tout cela alors que ton temps était si précieux. Je ne saurais te remercier suffisamment pour toute ton attention et toute ton aide. Dans ce parcours ponctué de retrouvailles, merci pour toutes ces douces et chaleureuses parenthèses de vie.

Muriel, Norbert, merci pour votre accueil toujours agréable lors de mes venues en terres bourguignonnes. Mélanie, merci pour ta générosité en apéros ! Ils ont toujours été incroyables. Eloi, nos sessions rock kammthaar constituaient une fantastique évasion pour moi, merci !

Merci à Petit Chat de m'avoir donné sa confiance, tant fait rire, et d'avoir été si généreux en ronrons.



# Table des matières

Résumé .....	II
Abstract.....	III
Remerciements .....	V
Table des matières.....	IX
Table des illustrations.....	XIII
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>PARTIE THÉORIQUE .....</b>	<b>5</b>
<b>Chapitre 1 La mémoire de travail.....</b>	<b>6</b>
1.1 Modèles de la mémoire de travail.....	8
1.1.1 Le modèle à composantes multiples .....	9
1.1.2 Le modèle des processus emboîtés : un modèle à conception unitaire .....	11
1.1.3 Le modèle TBRS : Time-Based Resource-Sharing model.....	13
1.2 Évaluation de la mémoire de travail.....	16
1.3 Le développement de la mémoire de travail.....	18
1.3.1 Évolutions quantitatives : progression des capacités en mémoire de travail ...	19
1.3.2 Changements qualitatifs : les mécanismes de maintien de l'information .....	21
1.4 Le rôle de la mémoire de travail dans le milieu scolaire .....	23
1.5 Influence de la motricité et de la gestuelle sur les performances cognitives .....	25
<b>Chapitre 2 Les fonctions exécutives .....</b>	<b>31</b>
2.1 Visions unitaire et fractionnée du fonctionnement exécutif .....	32
2.2 Une vision intégrative.....	33
2.3 Développement des fonctions exécutives.....	35
2.3.1 Inhibition des réponses prépotentes.....	35
2.3.2 Mise à jour de la mémoire de travail .....	36
2.3.3 Flexibilité mentale.....	37
<b>Chapitre 3 La gestion des buts dans le contrôle exécutif .....</b>	<b>40</b>
3.1 Identification et maintien des buts.....	41
3.2 Aide à la gestion des buts .....	45
3.3 Gestion des buts, attention et structures cérébrales .....	48
<b>Chapitre 4 Maintien du but et développement de la mémoire de travail.....</b>	<b>52</b>
4.1 Études antérieures à nos travaux .....	52
4.1.1 L'étude princeps d'Istomina (1948).....	52
4.1.2 L'étude de Bertrand et Camos (2015).....	56

---

4.1.3	Similarités entre les deux études .....	58
4.2	Notre recherche : présentation.....	59
4.2.1	L'indiciage exogène .....	59
4.2.2	L'indiciage exogène associé à un indiciage endogène.....	62
4.2.3	Indiciage et jeu de rôle.....	63
4.2.4	Tableau récapitulatif des expériences .....	66
<b>PARTIE EXPÉRIMENTALE.....</b>		<b>67</b>
<b>Chapitre 5 L'indiciage exogène.....</b>		<b>68</b>
5.1	Étude 1 : The roal of goal cueing in kindergarteners' working memory .....	68
5.1.1	Résumé .....	68
5.1.2	Abstract .....	69
5.1.3	Introduction .....	69
5.1.3.1	Development of working memory maintenance .....	70
5.1.3.2	Goal maintenance in executive control tasks .....	73
5.1.3.3	The present study.....	76
5.1.4	Experiment 1.....	76
5.1.4.1	Method.....	77
5.1.4.1.1	Participants.....	77
5.1.4.1.2	Material and Procedure.....	77
5.1.4.2	Results.....	79
5.1.4.3	Discussion .....	80
5.1.5	Experiment 2a.....	81
5.1.5.1	Method.....	81
5.1.5.1.1	Participants.....	81
5.1.5.1.2	Material and Procedure.....	81
5.1.5.2	Results.....	82
5.1.5.3	Discussion .....	82
5.1.6	Experiment 2b.....	83
5.1.6.1	Method.....	83
5.1.6.1.1	Participants.....	83
5.1.6.1.2	Material and Procedure.....	83
5.1.6.2	Results.....	84
5.1.7	Discussion .....	84
5.1.8	General Discussion .....	85
5.1.9	Conclusion .....	90
5.2	Expériences 3 et 4 : Matériel complémentaire à l'étude 1 .....	91
5.2.1	Expérience 3.....	91
5.2.1.1	Méthode.....	92

5.2.1.1.1	Participants.....	92
5.2.1.1.2	Matériel et procédure.....	93
5.2.1.2	Résultats .....	94
5.2.1.3	Discussion .....	96
5.2.2	Expérience 4.....	97
5.2.2.1	Méthode.....	99
5.2.2.1.1	Participants.....	99
5.2.2.1.2	Matériel et procédure.....	99
5.2.2.2	Résultats .....	101
5.2.2.3	Discussion .....	103
<b>Chapitre 6</b>	<b>L'indiciage exogène associé à un indiciage endogène.....</b>	<b>107</b>
6.1	Introduction.....	107
6.1.1	Développement de la mémoire de travail.....	108
6.1.2	Maintien du but.....	109
6.1.3	Transparence des indices de but.....	110
6.1.4	Influence de la gestuelle.....	111
6.1.5	Activité motrice et demande attentionnelle.....	112
6.1.6	Notre étude .....	113
6.2	Expérience 5.....	115
6.2.1	Méthode.....	116
6.2.1.1	Participants .....	116
6.2.1.2	Matériel et procédure .....	116
6.2.2	Résultats .....	121
6.2.3	Discussion .....	124
6.3	Expérience 6.....	126
6.3.1	Méthode.....	127
6.3.1.1	Participants .....	127
6.3.1.2	Matériel et procédure .....	127
6.3.2	Résultats .....	131
6.3.3	Discussion .....	134
6.4	Discussion générale.....	135
<b>Chapitre 7</b>	<b>Indiciage et jeu de rôle .....</b>	<b>141</b>
7.1	Introduction.....	141
7.2	Expérience 7.....	148
7.2.1	Méthode.....	148
7.2.1.1	Participants .....	148
7.2.1.2	Matériel et procédure .....	149
7.2.2	Résultats .....	155

---

7.2.3	Discussion .....	157
7.3	Expérience 8.....	160
7.3.1	Méthode.....	161
7.3.1.1	Participants .....	161
7.3.1.2	Matériel et procédure .....	162
7.3.2	Résultats .....	164
7.3.3	Discussion .....	166
7.3.4	Discussion générale .....	167
<b>DISCUSSION GÉNÉRALE.....</b>		<b>175</b>
<b>Chapitre 8 Apports, limites et perspectives .....</b>		<b>176</b>
8.1	Nos apports à la recherche sur le développement de la mémoire de travail.....	179
8.1.1	Négligence du but en tâches de mémoire de travail ?.....	179
8.1.1.1	Inefficacité de l'indication et persistance de la négligence .....	180
8.1.1.2	Inutilité de l'indication due à un maintien efficace du but.....	182
8.1.1.2.1	Capacités en mémoire de travail et maintien du but .....	184
8.1.1.2.2	Age minimal pour l'apparition des mécanismes de maintien de l'information ?.....	186
8.2	Limites du transfert d'une méthode d'un champ à un autre .....	188
8.3	Perspectives .....	190
<b>CONCLUSION .....</b>		<b>193</b>
Références.....		194
Annexe .....		224
Analyses statistiques complémentaires : Influence de l'indication en fonction des capacités en mémoire de travail des enfants.....		224
Curriculum Vitæ .....		228

# Table des illustrations

## Liste des figures

- Figure 1.* Le modèle à composantes multiples de Baddeley (2000) ..... 10
- Figure 2.* Le modèle des processus emboîtés de Cowan (1995, 2001). Les ronds noirs représentent les items maintenus activement sous le focus attentionnel. Les flèches pleines indiquent l'activation à venir, en entrant dans le focus attentionnel, des éléments se trouvant en mémoire à long terme. La flèche en tiret représente la gestion du focus attentionnel par l'administrateur central. 13
- Figure 3.* Le modèle du partage temporel des ressources de Barrouillet et Camos (2015) ..... 15
- Figure 4.* Représentation des paradigmes d'empan simple (sans et avec délai après l'encodage), d'empan complexe, et de type Brown-Peterson. « S » correspond aux stimuli à mémoriser et « P » aux items à traiter lors la tâche concurrente. La flèche représente le décours temporel. Figure inspirée de Tam et collaborateur (2010). ..... 16
- Figure 5.* Illustrations de l'évolution quantitative des performances en mémoire à court terme à travers les âges, de 2 ans à l'âge adulte. A gauche sont rapportées par Dempster et collaborateurs (1981) les performances obtenues à travers 17 études proposant une mémorisation de chiffres ; à droite figurent les performances en mémorisation de mots issues de 10 études. Les lignes en trait plein représentent les différences développementales, celles en pointillés indiquent les différences individuelles..... 20
- Figure 6.* Illustration du DCCS tel qu'il est présenté par Zelazo (2006)..... 38
- Figure 7.* Représentation de l'activation temporelle des buts. Après l'activation rapide d'un but, celle-ci décline graduellement lorsque le système s'oriente vers d'autres traitements. Le But 1 est réactivé via la rencontre d'un indice lui étant associé. Les lignes pleines représentent le niveau d'activation des buts. La ligne en tirets correspond au niveau d'interférence dû aux anciens buts. Illustration inspirée d'Altmann et Trafton (2002, p. 46 et 48). ..... 45

---

<i>Figure 8.</i> Empan moyen suivant l'âge et la condition de rappel dans l'Expérience 2 de Bertrand et Camos (2015). Les barres verticales représentent l'erreur type. ....	57
<i>Figure 9.</i> Schematic illustration of the cue condition in Experiment 1. The no-cue condition was similar, except that a blank screen replaced the visual goal cue. ....	79
<i>Figure 10.</i> Mean span according to age group and cueing in Experiment 1. Verticals bars represent standard errors. ....	80
<i>Figure 11.</i> Schematic illustration of the cue condition in Experiment 2a. The no-cue condition was similar, except that a blank screen replaced the visual goal cue. ....	81
<i>Figure 12.</i> Illustration de la condition avec indice de l'Expérience 3. Dans la condition sans indice, un écran blanc remplaçait la présentation de l'indice visuel de but. ....	94
<i>Figure 13.</i> Empan moyen en fonction du groupe d'âge et de l'indication dans l'Expérience 3. Les barres verticales représentent l'erreur type. ....	95
<i>Figure 14.</i> Empan moyen en fonction du groupe d'âge, de la charge cognitive et de l'indication dans l'Expérience 4. Les barres verticales représentent l'erreur type. ....	103
<i>Figure 15.</i> Epreuve contrôle de l'Expérience 5. Représentation de la phase d'encodage suivie par l'animation d'une forme abstraite jusqu'à la phase de rappel libre. Les éléments ne sont pas représentés à l'échelle. ....	118
<i>Figure 16.</i> Construction des différentes conditions expérimentales de l'Expérience 5. La phase d'encodage était suivie par une animation avec ou sans indication visuelle du but. Ces conditions étaient effectuées en suivant soit du regard, soit du doigt le déplacement de la forme. Les éléments ne sont pas représentés à l'échelle. ....	119
<i>Figure 17.</i> Score moyen en rappel libre chez les enfants de 4 ans en fonction de l'indication visuelle et de la gestuelle dans l'Expérience 5. Les barres verticales représentent l'erreur type. ....	123
<i>Figure 18.</i> Score moyen en rappel libre chez les enfants de 5 ans en fonction de l'indication visuelle et de la gestuelle dans l'Expérience 5. Les barres verticales représentent l'erreur type. ....	124

<i>Figure 19.</i> Illustration schématique des conditions expérimentales de l'Expérience 6 suivant les deux variables d'indication visuelle du but et de gestuelle. Une condition expérimentale est formée en croisant chacune des deux modalités « sans » ou « avec » pour chacune des deux variables indépendantes. Les éléments ne sont pas représentés à l'échelle. ....	128
<i>Figure 20.</i> Empan moyen en fonction du groupe d'âge, de la gestuelle et de l'indication visuelle dans l'Expérience 6. Les barres verticales représentent l'erreur type..	134
<i>Figure 21.</i> Illustration du matériel de « la course des animaux » utilisé dans l'Expérience 7. A gauche, un échantillon des items pouvant être présentés. A droite, la partie du podium affiché lorsque l'ordre de deux items est à mémoriser.....	150
<i>Figure 22.</i> Fruits et légumes en plastique utilisés comme items à mémoriser dans l'Expérience 7.....	152
<i>Figure 23.</i> Photo du magasin et disposition de la boîte contenant les items récupérés par l'employé du magasin lors de l'Expérience 7.....	153
<i>Figure 24.</i> Représentation des quatre conditions expérimentales de l'Expérience 7. Un délai de 4 secondes entre l'encodage et le rappel était présent dans toutes les conditions. ....	154
<i>Figure 25.</i> Empan moyen en fonction du groupe d'âge, de l'activité motrice (marche) et de l'indication visuelle (indice) dans l'Expérience 7. Les barres verticales représentent l'erreur type. ....	157
<i>Figure 26.</i> Illustration des deux modalités de la variable Type de contexte : Jeu et Exercice de l'Expérience 8. Les sujets réalisent les deux conditions suivant l'une des deux modalités de la variable Type de rappel : Reconstruction ou Rappel oral sériel. ....	164
<i>Figure 27.</i> Empan moyen chez les enfants de 5 ans en fonction de l'ordre de présentation des conditions de la variable Type de contexte (Jeu ou Exercice) dans l'Expérience 8. Les barres verticales représentent l'erreur type. ....	166
<i>Figure 28.</i> Empan moyen chez les enfants de 5 ans en fonction du type de contexte (Exercice ou Marche) et du type de rappel (Reconstruction ou Oral sériel) dans l'Expérience 8. Les barres verticales représentent l'erreur type.....	166

<i>Figure 29. Contrôle de la robustesse du Bayes Factor de l'effet principal bénéfique de l'indiciage sur les scores d'empan des sujets à faible empan de l'Expérience 3.</i>	226
<i>Figure 30. Analyse séquentielle avec contrôle de la robustesse de l'effet principal bénéfique de l'indiciage sur les scores d'empan des sujets à faible empan de l'Expérience 3.</i>	226

## Liste des tableaux

<i>Tableau 1. Résumé des neuf expériences présentes dans cette thèse.</i>	66
<i>Tableau 2. Procédure et distribution des participants à l'Expérience 5 après exclusion des sujets présentant des valeurs extrêmes.</i>	116
<i>Tableau 3. Distribution des échantillons de sujets dans l'Expérience 7 selon un plan mixte en fonction de l'âge, de l'activité motrice et de l'indiciage.</i>	149
<i>Tableau 4. Distribution des enfants de 5 ans dans l'Expérience 8 selon un plan mixte en fonction du type de rappel et du type de contexte.</i>	163
<i>Tableau 5. Analyses statistiques complémentaires pour les Exp. 1 à 8 : influence de l'indiciage sur les performances de rappel des enfants en fonction de leurs capacités en mémoire de travail.</i>	225



# INTRODUCTION

---

Ce travail de thèse vise à mieux comprendre le fonctionnement de la mémoire de travail verbale chez les jeunes enfants, celle-ci restant peu étudiée dans la période préscolaire. Faire usage de la mémoire de travail correspond à notre capacité à maintenir consciemment une quantité limitée d'information tout en manipulant celle-ci dans un laps de temps restreint. Nous savons que les capacités en mémoire de travail s'améliorent quantitativement avec l'avancée en âge durant l'enfance (Dempster, Case, Jensen, Kirschner, & Rohwer, 1981). Ce développement de la mémoire de travail se ferait également sur un plan qualitatif avec l'apparition de mécanismes permettant le maintien des informations en mémoire de travail. Les évidences empiriques obtenues dans de précédentes études suggèrent que le mécanisme de répétition articulatoire (le fait de répéter en boucle l'information) et le mécanisme de rafraîchissement attentionnel (le fait de refocaliser son attention sur l'information) ne seraient employés qu'à partir de l'âge scolaire, soit dès 6 ou 7 ans (Oftinger & Camos, 2016 ; Barrouillet, Gavens, Vergauwe, Gaillard, & Camos, 2009). Cependant, une récente étude a mis en évidence des résultats qui semblent contradictoires avec une apparition des mécanismes de maintien de l'information après 6 ou 7 ans (Bertrand & Camos, 2015). Les auteurs ont observé une augmentation des capacités en mémoire de travail chez des enfants de 4 à 6 ans lorsqu'ils étaient impliqués dans une condition proposant une tâche concurrente augmentant le coût attentionnel (activité motrice de marche), par comparaison à une condition sans tâche concurrente (rester assis), donc moins coûteuse. La variation du coût attentionnel ne devrait pas impacter les performances en mémoire d'enfants n'utilisant pas encore de mécanismes de maintien de l'information. Afin de proposer une interprétation à ces résultats inattendus, Bertrand et Camos (2015) ont suggéré que la tâche concurrente aidait au maintien du but. Ainsi, d'après les auteurs, le fait que l'activité motrice soit orientée vers le but à atteindre (marcher vers un magasin pour rappeler des fruits et légumes), aurait pu aider les enfants à se focaliser sur la tâche principale de mémorisation et donc faciliter le maintien du but durant la réalisation de l'expérience. Cette interprétation ouvre la voie

à un nouveau domaine d'étude, celui du rôle du maintien du but dans le développement de la mémoire de travail.

La notion de but renvoie à une représentation mentale de l'intention d'accomplir une tâche, de réaliser certains états spécifiques du monde, ou de prendre part à certaines actions physiques ou mentales (Altmann & Trafton, 2002, p.39). Ainsi, dans une tâche de mémoire de travail, le but est de rappeler l'information précédemment encodée ; information qui nécessite un maintien actif en mémoire. Cette tâche ne peut être menée à bien que si le sujet poursuit le but exigé. Cela suppose d'identifier et de maintenir activement le but durant la tâche. Il a été rapporté, dans le champ d'étude du fonctionnement exécutif, que le but serait maintenu en mémoire de travail durant l'exécution d'une tâche de contrôle exécutif. En effet, dans une tâche de flexibilité cognitive de type DCCS (Dimensional Change Card Sort) qui demande un appariement de cartes suivant un critère précis (forme ou couleur du dessin présent sur les cartes) et un maintien en mémoire de travail du critère de tri, des enfants de 4 et 6 ans à faibles capacités en mémoire de travail faisaient plus d'erreurs de tri de cartes (Marcovitch, Boseovski, Knapp, & Kane, 2010). Les auteurs attribuèrent la propension qu'ont les enfants à faibles capacités en mémoire de travail à commettre plus d'erreurs de tri à une moindre capacité à maintenir le but de la tâche en mémoire de travail. Aussi, dans l'étude princeps analysant le lien entre la capacité à maintenir le but et l'efficacité du contrôle exécutif, Duncan, Emslie, Williams, Johnson, et Freer (1996), ont mis en évidence, chez une population d'adultes, l'existence d'un lien corrélationnel entre le niveau d'intelligence générale (Spearman, 1904) et la capacité à maintenir le but. Ces deux études ont permis de mettre en évidence un lien corrélationnel entre l'aptitude à maintenir le but et les capacités cognitives, le rôle causal reste toutefois à démontrer. Dans le domaine étudiant le développement du contrôle exécutif, les recherches emploient diverses méthodologies pour investiguer le rôle joué par le maintien du but. Une des principales méthodes consiste à rappeler aux sujets le but pendant la réalisation de la tâche. Ceci se fait via la présentation d'indices exogènes visuels ou auditifs. Dans une tâche de flexibilité cognitive impliquant des enfants de 5, 6, 7 et 9 ans, Chevalier et Blaye (2009) ont mis en évidence que le format des indices de but utilisé influençait la capacité des enfants à identifier le but à poursuivre. En présence d'indices les plus signifiants par rapport au but à suivre, les enfants

amélioreraient leurs compétences en flexibilité cognitive. Toujours dans le domaine du contrôle exécutif, le lien entre maintien du but et capacités d'inhibition fut également mis en évidence chez des enfants de 4 et 5 ans où des indices de buts significatifs permettaient d'améliorer le contrôle inhibiteur (Blaye et Chevalier, 2011).

Clairement identifier et maintenir efficacement le but en mémoire semble être un élément essentiel du contrôle exécutif. Pour Miyake et ses collaborateurs (2000), il s'agit même du socle commun à la mise en place des trois fonctions intervenant dans le contrôle exécutif. Ainsi, dans ce travail de thèse, *nous faisons l'hypothèse que le maintien du but jouerait un rôle tout aussi primordial dans le domaine de la mémoire de travail. Nous supposons que le maintien du but serait un élément sur-ordonné à la mise en œuvre des mécanismes de maintien de l'information. Le défaut de maintien du but pourrait-il, ainsi, contribuer aux moindres capacités en mémoire de travail classiquement observées chez les enfants d'âge préscolaire par rapport aux enfants plus âgés ?* Suite à cette question de recherche et après avoir fait état de la littérature dans les domaines de la mémoire de travail (Chapitre 1), des fonctions exécutives (Chapitre 2), de la gestion des buts dans le contrôle exécutif (Chapitre 3), et du maintien du but dans le champ du développement de la mémoire de travail, nous présenterons neuf expériences organisées en trois chapitres empiriques distincts. Dans le Chapitre 5, nous avons utilisé une méthodologie inspirée de celle employée dans l'étude du maintien du but dans le domaine du contrôle exécutif, c'est-à-dire que nous avons présenté aux enfants un indicage exogène du but tout en en faisant varier sa signification. Dans le Chapitre 6, sur la base d'une littérature provenant de l'étude de l'impact de la gestuelle sur le fonctionnement de la mémoire de travail (développée dans le Chapitre 1 point 1.5 de la partie théorique), nous avons analysé l'effet que pouvait avoir l'utilisation combinée d'indices de but exogènes et endogènes sur les capacités en mémoire de travail des enfants. Dans le Chapitre 7, nous avons étudié l'impact du jeu de rôle dans l'aide au maintien du but. La méthodologie employée fut inspirée de l'étude de Bertrand et Camos (2015) mais aussi d'une étude plus ancienne, celle d'Istomina (1948/1975 traduction) présentée dans le Chapitre 4 point 4.1.1 de la partie théorique. Cette méthode permet aux enfants d'incarner un rôle, celui d'aller faire les courses, et ainsi d'en incarner également le but à atteindre via le rôle joué. C'est donc l'association d'indicages exogènes, endogènes et incarnés qui fut étudiée dans ce

dernier chapitre empirique. Dans le Chapitre 8, nous discuterons des apports de notre recherche au champ d'étude du développement de la mémoire de travail, ceci tout en soulevant les limites que la transposition d'une méthode de recherche d'un domaine à un autre impose. Enfin, il sera proposé une ouverture à ce travail de thèse quant aux perspectives de poursuite des recherches sur l'implication du maintien du but dans le développement de la mémoire de travail.

# PARTIE THÉORIQUE

---

# Chapitre 1

## La mémoire de travail

---

Incontournable au quotidien, la mémoire de travail nous permet de réaliser toute action orientée vers un but nécessitant le stockage et le traitement simultané de l'information. Suivre une recette de cuisine, s'orienter dans une nouvelle ville, développer et poursuivre une conversation, faire une recherche sur internet, écrire une nouvelle, etc., la liste pourrait être longue concernant les activités que notre mémoire de travail nous permet de réaliser. Au cœur des processus cognitifs de haut niveau, aucun consensus n'existe pourtant quand il s'agit de la définir. Dans une récente revue de littérature, Cowan (2016) liste neuf façons différentes de définir la mémoire de travail, tant sur un point de vue structurel que fonctionnel. Trois de ces différentes approches seront développées dans ce chapitre théorique. S'il ne fallait retenir qu'une seule définition de la mémoire de travail qui permettrait d'accorder ensemble les opinions divergentes de leurs auteurs, Cowan (2016, p. 14-15) propose la définition générique suivante : « La mémoire de travail correspond à l'ensemble des composants de l'esprit qui retiennent temporairement une quantité limitée d'information dans un état de disponibilité accrue pour être utilisée dans le traitement de l'information en cours ». Historiquement, les recherches portant sur le fonctionnement de la mémoire de travail sont récentes et il est souvent pris comme point de départ le travail princeps de Baddeley et Hitch (1974). Ce fut l'une des premières fois que le terme de mémoire de travail était utilisé en psychologie dans le cadre de la définition préalablement citée. Avant ces travaux fondateurs, Miller, Galanter, et Pribram (1960) employèrent cette terminologie pour définir une mémoire permettant de planifier et produire un comportement. Également, Atkinson et Shiffrin (1968, p. 90 et 92) utilisèrent ce terme de mémoire de travail pour définir leur concept de stockage à court terme en indiquant que ce dernier reçoit une sélection d'entrées provenant du registre sensoriel et aussi du stockage à long terme.

L'intérêt pour la recherche portant sur le fonctionnement mnésique, à court, comme à long terme, est encore plus ancien. Ebbinghaus (1885/1913 traduction) mena la première recherche sur la mémoire humaine. Une recherche notamment populaire

pour le fait d'avoir réalisé l'étude sur lui-même en s'imposant la mémorisation de séries de syllabes. Ce travail connu pour avoir démontré un effet d'économie au réapprentissage de l'information stockée à long terme implique également une part de mémoire à court terme. Ebbinghaus nota qu'il pouvait, lors du premier apprentissage, retenir 7 éléments en mémoire alors que des listes plus conséquentes demandaient davantage d'essais pour être correctement rappelées. Ce qu'Ebbinghaus nomma alors la première prise fugace (« first fleeting grasp ») peut être considéré aujourd'hui comme la manifestation de la mémoire de travail ou comme une trace du fonctionnement de la mémoire à court terme. Cela nous amène au questionnement de la différence entre mémoire à court terme et mémoire de travail. Le premier concept est historiquement antérieur au second. Les travaux portant sur la mémoire de travail découlent ainsi de ceux ayant étudié le fonctionnement de la mémoire à court terme. Certains auteurs qui développèrent une conception en composantes multiples de la mémoire de travail conçoivent son fonctionnement comme impliquant un module de stockage de l'information à court terme ainsi que l'intervention de processus exécutifs permettant de traiter et d'utiliser l'information temporairement stockée (Engle, Laughlin, Tuholski, & Conway, 1999). La mémoire de travail se baserait ainsi sur une dimension fonctionnelle (Baddeley & Logie, 1999), alors que la mémoire à court terme serait dédiée à un stockage passif de l'information (Engle et al., 1999).

Comme constaté par Ebbinghaus il y a plus d'un siècle, la mémoire de travail est limitée en capacité. Le nombre de 7 éléments, déjà constaté en 1885, correspond à un nombre moyen d'éléments pouvant être maintenus à court terme sans que des mécanismes de maintien de l'information ne soient entravés (Miller, 1956). Cette capacité est réduite à 3 ou 4 éléments ou chunks (groupements d'éléments) lorsque le mécanisme de répétition des items est bloqué, c'est-à-dire lorsque les sujets ne peuvent plus répéter en boucle les items afin de les conserver actifs en mémoire de travail (Chen & Cowan, 2009; Cowan, 2001; Cowan, Rouder, Blume, & Saults, 2012). La mémoire de travail possède donc des limites concernant la quantité d'information pouvant être maintenue active dans un même temps, ce qui la différencie d'une mémoire à long terme à capacité de stockage illimitée (Atkinson & Shiffrin, 1968). Pourtant, des liens étroits pourraient exister entre les deux systèmes mnésiques. La mémoire de travail

serait la part active de la mémoire à long terme selon Cowan (1995), modèle qui sera développé dans le point suivant.

Dans ce chapitre théorique, nous verrons, en exposant la construction de trois modèles différents, que les visions peuvent différer quant au fonctionnement de la mémoire de travail. Nous poursuivrons notre synthèse de la littérature sur la possibilité de quantifier le fonctionnement de la mémoire de travail grâce aux différentes formes d'évaluation de celle-ci. Puis, nous aborderons le développement de la mémoire de travail des premiers âges de la vie à l'âge adulte. Le rôle prépondérant que joue la mémoire de travail dans les apprentissages scolaires sera ensuite développé. Et enfin, nous terminerons ce chapitre sur l'intrication de la mémoire de travail avec l'activité motrice, notamment gestuelle. L'ensemble de ces points nous permettra de voir le caractère incontournable de cette mémoire au quotidien. Toutefois, davantage de recherches sont à mener durant la période préscolaire restant moins étudiée et pourtant charnière dans le développement cognitif (Piaget, 1937).

## 1.1 Modèles de la mémoire de travail

Sont présentés, dans cette section, trois modèles du fonctionnement de la mémoire de travail parmi la dizaine de modèles pouvant exister (voir Cowan, 2016). Notre choix s'est porté en premier sur le modèle de Baddeley et Hitch (1974) incontournable dans la littérature de la psychologie cognitive pour rendre compte de ce type de mémoire. Puis, nous présenterons le modèle à conception unitaire de Cowan (1995) liant les fonctionnements mnésiques à court terme et à long terme. Enfin, nous aborderons le modèle du partage temporel des ressources de Barrouillet, Bernardin, et Camos (2004) faisant de la disponibilité des ressources attentionnelles durant la tâche un élément clef du fonctionnement de la mémoire de travail. Il sera fréquemment question de ressources attentionnelles au cours de cette thèse. L'attention est un concept utilisé de diverses façons suivant les domaines de recherche. Il existe une attention soutenue, une attention sélective, une attention divisée, ou bien encore la vigilance (Cooley & Morris, 1990). L'attention peut être définie comme étant une ressource cognitive limitée devant être partagée entre les tâches (Kahneman, 1975; Wickens, 1991) permettant de sélectionner des informations, de contrôler des actions



et des pensées (Rueda, Posner, & Rothbart, 2005). Dans ce travail de thèse, c'est sous cette définition que le concept d'attention sera à considérer.

### 1.1.1 Le modèle à composantes multiples

Le premier modèle de mémoire de travail à avoir été développé est celui de Baddeley et Hitch (1974). Ce modèle tire ses origines de la théorie de la mémoire à court terme développé précédemment par Atkinson et Shiffrin (1968). La théorie de ces auteurs se veut unitaire, c'est-à-dire que dans la conception d'Atkinson et Shiffrin (1968) il n'existe qu'une seule entité responsable du stockage de l'information. Cependant, Baddeley et Hitch (1974) ont mis en évidence des inadéquations entre la conception unitaire du modèle et le fait que certains éléments comme la longueur des mots ou les caractéristiques phonologiques des mots influençaient différemment le rappel selon le type de tâche employée. Lors d'une tâche de rappel libre, le rappel des derniers mots d'une liste n'était pas influencé par ces facteurs tandis que ceux-ci influençaient le rappel des mots lors d'une tâche de rappel sériel. En partant de ce constat, Baddeley et Hitch (1974) ont développé une vision du fonctionnement mnésique à court terme en plusieurs composantes fonctionnant de concert et gérées par un administrateur central. Les auteurs de ce nouveau système l'ont baptisé mémoire de travail (« working memory ») mettant ainsi l'accent sur l'utilisation des informations pendant leur maintien et non juste sur un maintien passif de ces dernières. Quelques années plus tard, Baddeley (1986), puis Baddeley et Logie (1999), ont précisé le fonctionnement des éléments constitutifs du modèle. Un administrateur central est en charge de deux sous-systèmes : la boucle phonologique et le calepin visio-spatial. L'administrateur central serait un gestionnaire des ressources attentionnelles et piloterait les deux systèmes esclaves passifs, gérant ainsi le stockage des informations dans chacun de ces deux sous-systèmes. La boucle phonologique a pour fonction le maintien des informations verbales, quand le calepin visio-spatial s'occupe du maintien des informations visuelles et spatiales. L'administrateur central permet donc l'exécution d'une répétition des informations, par exemple. Sans son contrôle, les informations verbales maintenues passivement déclinaient progressivement jusqu'à disparaître de la mémoire de travail. L'administrateur central représente ainsi l'essence même de la mémoire de travail (Pennington, 1994) et était

d’ailleurs considéré à la création du modèle en 1974 comme étant en charge du contrôle mais aussi du stockage des informations. Le modèle fut complété en 2000 lorsque Baddeley y ajouta un buffer épisodique (*Figure 1*). Ce nouveau module fait le lien entre les informations stockées en mémoire à long terme et celles présentes en mémoire de travail. Il stocke temporairement une quantité limitée d’information avant de l’attribuer au système esclave adéquat suivant la modalité de l’information. Enfin, en 2012, Baddeley précise les différents types d’information entrant dans chacun des sous-systèmes du modèle à composantes multiples.

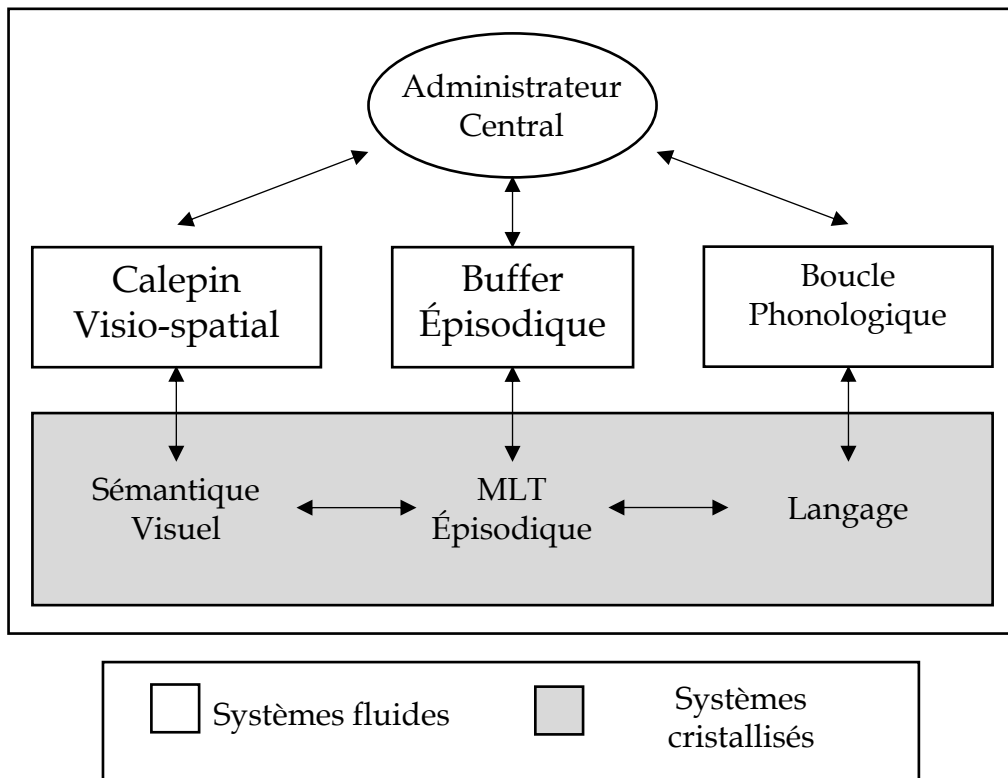


Figure 1. Le modèle à composantes multiples de Baddeley (2000)

Ces sous-systèmes sont tous deux influencés par différents facteurs externes, ce qui signe l’existence et l’utilisation de tels systèmes. Quatre facteurs ont un impact sur le fonctionnement de la boucle phonologique. Plus précisément, deux facteurs impactent la part du stock phonologique (part passive) du système de la boucle phonologique et deux autres facteurs impactent la part de la répétition (part active) de la boucle phonologique. Les deux facteurs influençant le stockage phonologique sont les suivants. L’effet de similarité phonologique est observé lorsque les éléments à

retenir partagent des caractéristiques phonologiques proches ; ce qui aboutit à une baisse des performances dans le rappel des mots à retenir. De nombreuses études ont démontré cet effet de similarité phonologique (par ex. Gathercole & Baddeley, 1993; Salamé & Baddeley, 1982). Une telle interférence phonologique indiquerait que le stockage en mémoire de travail se ferait sous forme de phonèmes (Baddeley, 1986). L'effet d'écoute inattentive perturbe lui aussi le stockage phonologique. Un matériel verbal non pertinent et devant être ignoré qui est présenté durant l'encodage verbal des items vient dégrader les performances mnésiques même lorsqu'il s'agit d'une information présentée dans une langue étrangère (voir Neath, 2000, pour une revue).

L'effet de suppression articulatoire est quant à lui observé lorsque le sujet doit répéter un élément de modalité verbale lors de la mémorisation d'un matériel de même nature mais de contenu différent. Ceci signe l'utilisation du mécanisme de répétition de la boucle phonologique (Baddeley, Lewis, & Vallar, 1984). Enfin, le dernier facteur ayant un impact sur le fonctionnement de la boucle phonologique est l'effet de la longueur des mots. Plus les mots à mémoriser sont longs, plus le nombre d'éléments pouvant être maintenus en mémoire de travail sera réduit. Le mécanisme de répétition nécessitant du temps pour répéter les items, lorsque la longueur des mots à répéter augmente, une réduction du nombre de mots pouvant être répétés est constatée (Baddeley, Thomson, & Buchanan, 1975). Ces effets seront abordés plus en détails dans le point théorique dédié au développement de la mémoire de travail chez les enfants, car ils permettent la mise en évidence du changement qualitatif s'opérant à la fin de l'âge préscolaire concernant l'apparition du mécanisme de répétition articulatoire.

### 1.1.2 Le modèle des processus emboîtés : un modèle à conception unitaire

Ce modèle diverge du modèle à composantes multiples dans le sens où il propose une conception unitaire du fonctionnement de la mémoire de travail. De plus, la mémoire de travail y est définie de façon fonctionnelle et pas structurelle comme dans le modèle de Baddeley (1986). Cowan (1995) développe une conception en processus emboîtés. Pour lui, la mémoire de travail est la part active du stockage à long terme, alors qu'elle en est totalement dissociée dans le modèle à composantes

multiples de Baddeley (1986). Également, si dans le modèle à composantes multiples l'attention est déjà citée comme étant un processus nécessaire au maintien des informations et est gérée par l'administrateur central, son rôle n'y est pas clairement défini. Dans le modèle des processus emboîtés, le rôle de l'attention prend la forme d'un focus attentionnel piloté par l'administrateur central. Ce focus permet l'activation de traces mémorielles précédemment situées en mémoire à long terme ; ces traces se retrouvent ainsi activées en mémoire de travail. La taille du focus attentionnel est limitée et permet de conserver actifs seulement quatre éléments (Cowan, 2001) (*Figure 2*). Les autres éléments voient leur activation décroître temporellement lorsqu'ils ne se trouvent plus dans ce focus attentionnel. Ainsi, le degré d'activation d'un élément détermine si celui-ci est présent en mémoire de travail ou en mémoire à long terme. A forte activation, ces éléments figurent en mémoire de travail. A plus faible ou à une absence d'activation, ceux-ci ne sont plus consciemment accessibles en mémoire de travail mais peuvent rester stockés en mémoire à long terme. Le focus attentionnel est donc orienté volontairement par l'administrateur central suivant les informations pertinentes à maintenir en mémoire de travail. Mais des éléments non pertinents peuvent également faire irruption dans la mémoire de travail en accaparant une partie de l'attention. C'est ce qui est démontré lors d'études en écoute dichotique. Lors de telles études, les sujets reçoivent un message qui diffère dans chaque oreille et doivent ignorer celui provenant d'une oreille en particulier. Pourtant, malgré la consigne d'ignorer le message, certains éléments peuvent être repérés par les sujets, comme notamment la prononciation de leur prénom (Moray, 1959). Ceci est d'autant plus le cas pour des sujets dont les capacités en mémoire de travail seraient plus faibles et dont une part de l'attention errerait durant ce moment de l'expérience pour être captée par leur prénom (Conway, Cowan, & Bunting, 2001). L'administrateur central a donc pour rôle soit d'orienter l'attention sur les éléments pertinents afin d'atteindre des buts, soit d'orienter l'attention pour inhiber les éléments distracteurs.

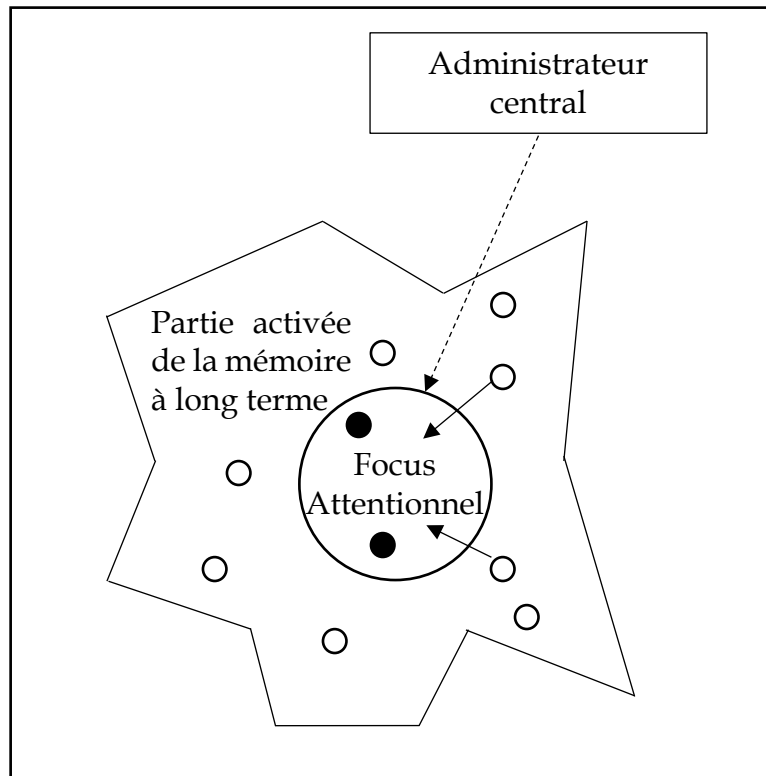


Figure 2. Le modèle des processus emboîtés de Cowan (1995, 2001). Les ronds noirs représentent les items maintenus activement sous le focus attentionnel. Les flèches pleines indiquent l'activation à venir, en entrant dans le focus attentionnel, des éléments se trouvant en mémoire à long terme. La flèche en tiret représente la gestion du focus attentionnel par l'administrateur central.

### 1.1.3 Le modèle TBRS : Time-Based Resource-Sharing model

Tout comme le modèle unitaire de Cowan (1995), la disponibilité des ressources attentionnelles occupe une place primordiale dans le modèle du partage temporel des ressources (TBRS, Barrouillet, Bernardin, & Camos, 2004). Ce modèle possède également des points communs avec le modèle en composantes multiples de Baddeley (1986). En effet, le modèle TBRS intègre différents modules comme notamment une boucle phonologique et un calepin visio-spatial, mais seule la boucle phonologique possède son système de maintien actif des éléments en mémoire. De nombreux autres modules seraient présents où chacun d'entre eux permettrait de traiter un type particulier d'information (Barrouillet & Camos, 2015) (Figure 3). Toutefois, c'est principalement l'attention qui est au cœur du système car elle est responsable du maintien actif des informations mais aussi de leurs traitements. Cette ressource attentionnelle étant limitée, elle doit être partagée temporellement entre le maintien et

le traitement de l'information. Un seul des deux processus pourra être effectué à la fois. De plus, le temps nécessaire au traitement de l'information va influencer son maintien. En effet, comme les traces mnésiques déclinent au cours du temps lorsque l'attention n'est plus portée sur leur maintien (Portrat, Barrouillet, & Camos, 2008), un traitement de l'information qui prend du temps mobilisera les ressources attentionnelles et ne permettra pas un rafraîchissement des traces mnésiques déclinantes. Une fois les ressources attentionnelles disponibles pour le maintien des informations, celles-ci sont employées par le mécanisme de rafraîchissement attentionnel permettant ce maintien. Une refocalisation de l'attention sera faite sur les éléments à conserver en mémoire de travail (Cowan, 1992). Néanmoins, un seul élément peut se retrouver dans le focus attentionnel à un instant donné. Ainsi, outre le partage temporel de l'attention entre le traitement et le maintien de l'information, ce partage doit également être fait entre les informations à maintenir. Par exemple, dans le cas d'une mémorisation de listes de mots, un seul mot à la fois pourra être dans le focus attentionnel et voir l'activation de sa trace mnésique renforcée pendant que celle des autres mots décline. Toutefois, cette refocalisation attentionnelle, outre le fait qu'elle peut se poursuivre durant un laps de temps important, elle peut aussi se faire sur une durée extrêmement courte de 50 ms (Vergauwe, Camos, & Barrouillet, 2014), permettant d'alterner plus fréquemment entre les divers éléments à mémoriser et le traitement exigé par la tâche. Le rafraîchissement attentionnel est également multimodal. Il permet de réactiver les traces en mémoire par un même processus attentionnel et cela peu importe la modalité des items.

Enfin, la charge cognitive influence la capacité de rappel et dépend, d'une part, de la quantité d'information à traiter et, d'autre part, du temps disponible pour traiter cette information. Ainsi, réduire le temps disponible pour traiter une même quantité d'information, ou accroître la quantité d'information à traiter durant un même délai, occasionnera l'augmentation de la charge cognitive. De ce fait, la mémorisation des items en pâtira à cause d'un raccourcissement du temps dévolu au rafraîchissement de ceux-ci (Camos & Barrouillet, 2011). L'exemple suivant inspiré des études de Barrouillet et collaborateurs (2009) et de Camos et Barrouillet (2011) permet d'illustrer l'augmentation de la charge cognitive due à l'accroissement du traitement exigé par une tâche concurrente lors d'un délai ne variant pas. Deux mots (A et B) sont à

mémoriser pour un rappel ultérieur. Après chaque mot présenté, les sujets doivent nommer la couleur d'un (1) ou deux (1, 2) smileys apparaissant à l'écran. Ainsi, une condition propose le pattern A 1 B 1 et l'autre condition affiche le pattern A 1 2 B 1 2, avant le rappel des mots. Le temps qui s'écoule lors de la présentation d'un ou deux smileys est identique dans les deux conditions. De ce fait, si le délai de la tâche concurrente (nommer les couleurs) est de 2 secondes et que chaque dénomination de couleur demande 500 ms, dans la condition présentant 1 smiley les sujets auront à leur disposition 1,5 secondes ( $2\text{ s} - 500\text{ ms}$ ) pour rafraîchir les traces mémorielles durant ce délai. Dans la condition proposant la dénomination de 2 couleurs de smileys, les sujets n'auront à leur disposition plus que 1 seconde ( $2\text{ s} - 500\text{ ms} * 2$ ) pour rafraîchir les traces mémorielles. La charge cognitive de cette seconde condition sera plus élevée que celle de la première et mobilisera plus longtemps les ressources attentionnelles sur le traitement de la tâche concurrente, au détriment des traces mnésiques des mots A et B.

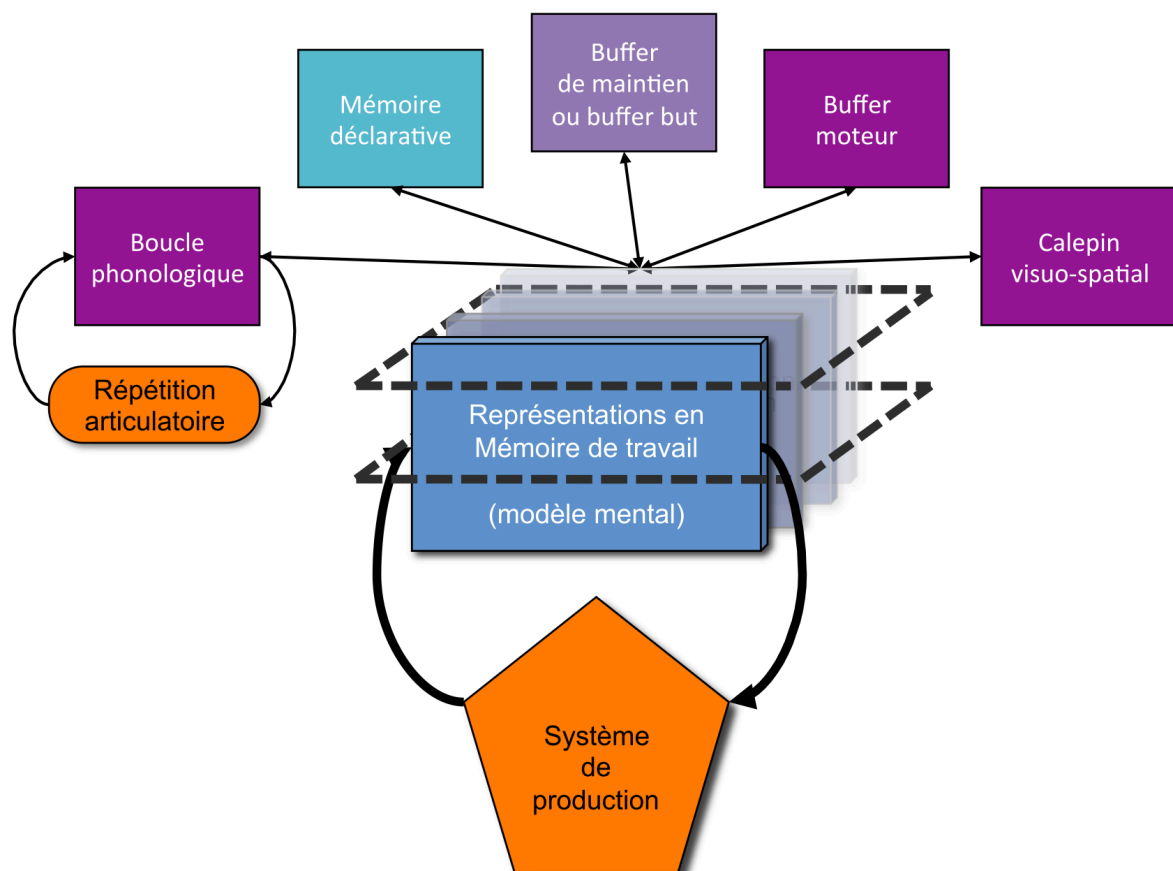
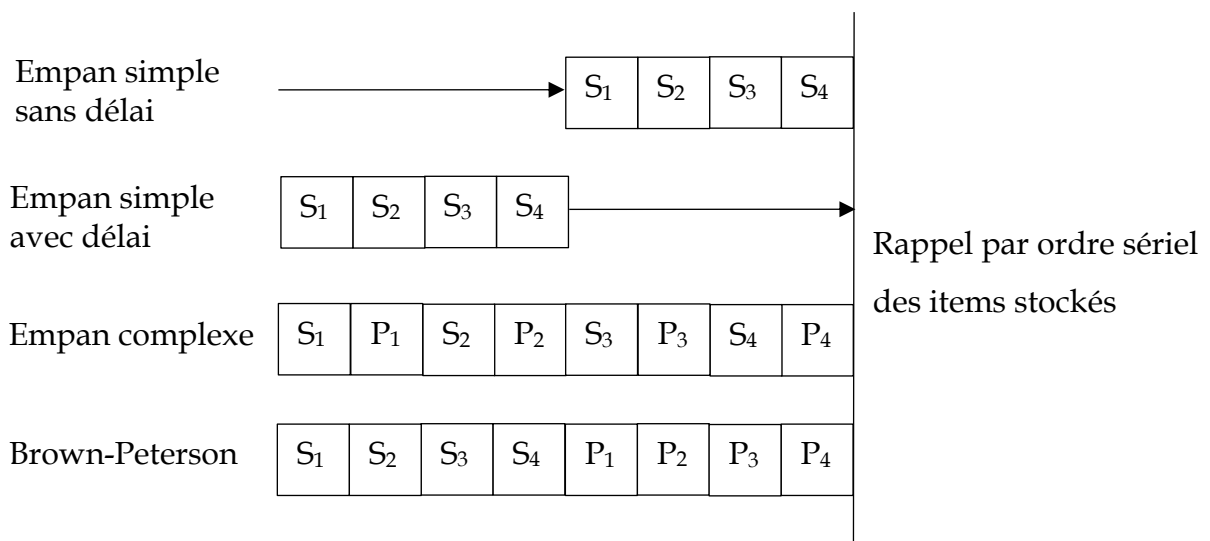


Figure 3. Le modèle du partage temporel des ressources de Barrouillet et Camos (2015)

## 1.2 Évaluation de la mémoire de travail

Après avoir développé diverses conceptions de la mémoire de travail et la façon dont celle-ci fonctionne, nous abordons à présent son évaluation. L'évaluation de la mémoire de travail n'est pas effectuée de la même façon suivant le modèle auquel on se réfère. Dans le modèle à composantes multiples (Baddeley, 1986), les deux systèmes esclaves ont des caractéristiques identiques au modèle de la mémoire à court terme d'Atkinson et Shiffrin (1968). Ainsi, si l'évaluation porte uniquement sur le stockage à court terme dans la boucle phonologique ou dans le calepin visio-spatial, cette évaluation se fait via la présentation de tâches à empan simple (« simple span tasks ») qui ne demande qu'un simple maintien de l'information verbale ou spatiale (*Figure 4*). De façon différente, dans les modèles de mémoire de travail à conception unitaire, là où un seul processus est responsable du maintien et du traitement de l'information, l'évaluation de la mémoire de travail se fait au travers de tâches à empan complexe (« complex span tasks ») (*Figure 4*). Mais c'est également par une tâche à empan complexe que se ferait l'évaluation des capacités de l'administrateur central dans le modèle de Baddeley (Gathercole, Pickering, Ambridge, & Wearing, 2004).



*Figure 4.* Représentation des paradigmes d'empan simple (sans et avec délai après l'encodage), d'empan complexe, et de type Brown-Peterson. « S » correspond aux stimuli à mémoriser et « P » aux items à traiter lors la tâche concurrente. La flèche représente le décours temporel. Figure inspirée de Tam et collaborateur (2010).



La particularité d'une tâche à empan complexe est de mettre le sujet dans une situation de double tâche impliquant le maintien et le traitement de l'information. La façon d'évaluer un empan, qu'il soit simple ou complexe, se fait à travers la présentation de stimuli comme une liste de chiffres, de lettres, de mots, de positions spatiales, etc. Cette liste augmente en taille au fur et à mesure que le sujet réussit le rappel des éléments. L'empan correspond ainsi au nombre le plus élevé d'éléments constituant une liste qu'un individu est capable de rappeler. Le rappel se faisant de façon immédiate dans les tâches d'empan simple, ce type d'empan n'est pas considéré comme une mesure de la capacité de la mémoire de travail par une majorité d'auteurs (Barrouillet & Camos, 2007, p. 15). Utiliser des tâches à empan complexe permet de bloquer toute possibilité de recourir à l'utilisation des mécanismes de maintien de l'information comme la répétition articulatoire ou le rafraîchissement attentionnel. Daneman et Carpenter (1980) sont à l'origine de la création de la première tâche d'empan complexe, un empan de lecture (« reading span »). La tâche demandée au sujet est de mémoriser le dernier mot de chacune des phrases qui lui sont proposées. La double tâche réside dans le fait que le sujet doit lire et comprendre chaque phrase tout en mémorisant le dernier mot de chacune de ces phrases (*Figure 4*). Un nombre croissant de phrases est proposé au participant et l'empan du sujet correspond au nombre maximum de mots correctement rappelés. L'empan d'écoute (« listening span », Daneman & Carpenter, 1980) est une tâche relativement similaire à l'empan de lecture. La seule différence est que dans l'empan d'écoute le sujet ne lit plus les phrases mais les écoute. Le traitement à effectuer y est identique, c'est-à-dire qu'il est attendu de la part du participant d'évaluer si les phrases sont justes ou fausses et dans un même temps de mémoriser chaque dernier mot des phrases. Les tâches d'empan de lecture et d'empan d'écoute apparaissent être d'excellents prédicteurs des capacités de compréhension lors d'une activité de lecture. Les capacités à prédire les performances cognitives, chez les enfants, par des tâches de mémoire de travail, seront développées dans le point 1.4 : « Le rôle de la mémoire de travail dans le milieu scolaire ». D'autres tâches furent créées après celles de Daneman et Carpenter. L'on peut citer l'empan de comptage (« counting span ») développé par Case, Kurland et Goldberg (1982), l'empan de calcul (« operation span ») de Turner et Engle (1989) et de nombreuses nouvelles tâches d'empan complexe, mêlant mémorisation et traitement, furent créées

par la suite notamment afin de contrôler la temporalité de présentation des éléments exigée par le modèle TBRS (Bayliss, Jarrold, Baddeley, Gunn, & Leigh, 2005; Lépine, Barrouillet, & Camos, 2005).

Enfin, citons le paradigme de type Brown-Peterson (Brown, 1958; Peterson & Peterson, 1959) d'abord élaboré dans l'évaluation de la mémoire à court terme, celui-ci fut transposé à l'évaluation des capacités en mémoire de travail car il implique, à l'instar des tâches à empan complexe, la présence d'une double tâche. Dans la version originale (Peterson & Peterson, 1959), après avoir mémorisé des suites de lettres, les sujets devaient compter à rebours en ôtant trois à chaque résultat obtenu, ceci lors d'un délai variant de 9, 18 ou 36 secondes. Le principe de cette tâche est donc qu'après une phase de mémorisation de l'information le participant procède à une tâche concurrente. Elle est concurrente car le traitement de l'information (non pertinente pour la tâche de mémoire) se fait lorsque le sujet procède au maintien de l'information en mémoire de travail (*Figure 4*). Tout comme pour les paradigmes d'empan complexe, ceux de type Brown-Peterson sont donc aussi basés sur la réalisation d'une double tâche. Le principe du paradigme de type Brown-Peterson fut effectivement repris et adapté dans de nombreuses études (par ex. Bertrand & Camos, 2015; Floden, Stuss, & Craik, 2000; Tam, Jarrold, Baddeley, & Sabatos-DeVito, 2010; Vaz, Cordeiro, Macedo, & Lukasova, 2010; Vergauwe et al., 2014). C'est d'ailleurs majoritairement celui-ci que nous avons employé au travers des expériences figurant dans ce travail de thèse. Sur un total de neuf expériences, sept furent développées selon un paradigme de type Brown-Peterson, plus approprié à l'activité concurrente demandée mais aussi à de jeunes enfants (Barrouillet & Camos, 2007, p. 17), et une seule expérience fut construite selon une tâche de type empan complexe.

### 1.3 Le développement de la mémoire de travail

Les capacités en mémoire de travail progressent durant le développement de l'enfant (Dempster et al., 1981). Cette évolution se fait dans un premier temps de façon quantitative, c'est-à-dire que les enfants sont en mesure de mémoriser une quantité d'information plus importante avec l'avancée en âge. Puis, dans un second temps, un changement qualitatif s'opère entre la période préscolaire et la période scolaire avec la

mise en place de mécanismes permettant un maintien actif de l'information. Cette progression quantitative et qualitative est détaillée dans les deux points suivants.

### 1.3.1 Évolutions quantitatives : progression des capacités en mémoire de travail

Sur le plan quantitatif, les mesures effectuées le plus tôt dans le développement de l'enfant furent réalisées dès l'âge de 5 mois (Diamond, 1985). A partir de là, une évolution des capacités en mémoire de travail va se poursuivre jusqu'à l'âge adulte. L'évaluation de la mémoire de travail des très jeunes enfants ne pouvant recourir à la modalité verbale, les recherches portent essentiellement sur l'évaluation de la mémoire de travail visuelle. Une des deux méthodes employées chez les très jeunes enfants pour évaluer leur mémoire de travail consiste à présenter visuellement des objets disparaissant un court moment, puis d'analyser la réaction des enfants au moment où les objets réapparaissent. De façon plus détaillée, Kibbe et Leslie (2011) ont démontré que des enfants de 6 mois remarquaient la disparition d'un objet. Deux objets étaient présentés aux enfants, puis étaient occultés séparément. Lorsqu'une occultation était levée mais que l'objet manquait, les enfants de 6 mois montraient une réaction de surprise. Toutefois, lorsque le second objet était remplacé par un autre et que l'occultation était levée, les enfants n'affichaient aucune émotion. Ainsi, les enfants de 6 mois pourraient retenir un seul élément en mémoire de travail mais sans en mémoriser les détails. A partir de 9 mois, les mêmes auteurs (Kibbe & Leslie, 2013) ont démontré que les enfants sont capables de se souvenir cette fois des détails de deux objets après leur disparition, puis de 3 objets à 12 mois. Une seconde méthodologie utilisée pour évaluer les capacités en mémoire de travail des très jeunes enfants consiste en la détection de changement mais sans impliquer d'occlusion des objets. Typiquement, il s'agit de présenter des cibles de couleurs différentes (carrés de couleurs) aux enfants et d'appliquer un changement au niveau de la couleur d'une des cibles, ou bien d'appliquer un changement dans la localisation parmi celles-ci. De façon congruente avec Kibbe et Leslie (2011), des enfants de 6,5 mois ne sont capables de détecter un changement de couleur que lorsqu'une seule cible leur est présentée (Ross-sheehy, Oakes, & Luck, 2003). C'est également au même âge que les enfants sont en mesure de repérer le changement de position uniquement lorsqu'une seule cible est

présente (Oakes, Hurley, Ross-Sheehy, & Luck, 2011). Enfin, à 12 mois, les enfants peuvent détecter des changements sur des présentations allant jusqu'à quatre cibles (Kwon, Luck, & Oakes, 2014; Oakes, Baumgartner, Barrett, Messenger, & Luck, 2013). Ces études confirment premièrement qu'un seul item visuel peut être maintenu en mémoire de travail par les enfants de 6 mois et deuxièmement elles mettent en évidence la forte progression des performances au cours des mois de vie qui suivent. A partir de l'âge de 2 ans, des tâches verbales commencent à être utilisées. Dans leur revue de littérature de 1981, Dempster et ses collaborateurs rapportent une évolution quantitative des performances en mémoire à court terme via l'utilisation de tâches d'empan simple présentant un matériel verbal constitué de chiffres ou de mots (Figure 5).

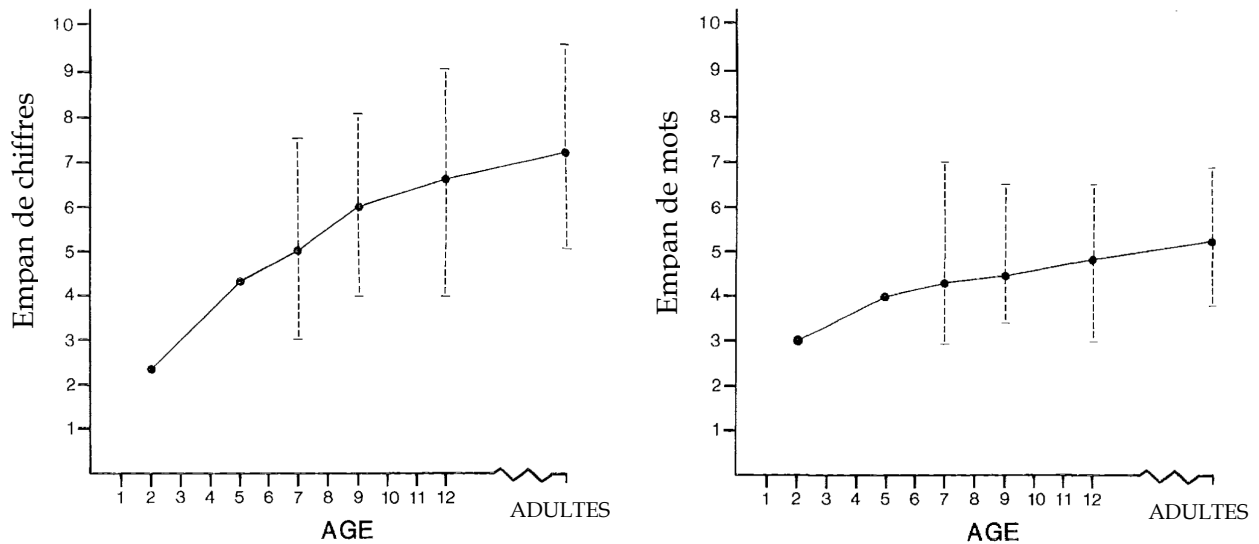


Figure 5. Illustrations de l'évolution quantitative des performances en mémoire à court terme à travers les âges, de 2 ans à l'âge adulte. A gauche sont rapportées par Dempster et collaborateurs (1981) les performances obtenues à travers 17 études proposant une mémorisation de chiffres ; à droite figurent les performances en mémorisation de mots issues de 10 études. Les lignes en trait plein représentent les différences développementales, celles en pointillés indiquent les différences individuelles.

L'augmentation des capacités en mémoire de travail avec l'avancée en âge est en partie liée à un déclin temporel des traces mnésiques plus lent et cela sans intervention consciente de la part de l'individu grâce à une persistance accrue de la

trace mnésique en mémoire sensorielle (Cowan, Nugent, Elliott, & Sauls, 2000). Aussi, de nouvelles stratégies sont mises en place lors de l'encodage des informations. Cowan et ses collaborateurs (1999) ont rapporté qu'avec l'avancée en âge, soit de 7 à 11 ans dans leur étude, les enfants étaient en mesure de former des chunks (regroupements d'informations) pouvant être simultanément maintenus sous le focus attentionnel. Outre l'apparition de stratégies d'encodage avec l'avancée en âge, c'est vers 6-7 ans que les enfants commencent à adopter un maintien actif des informations en mémoire de travail, afin de contrecarrer la dégradation des traces mémorielles due au temps qui passe.

### 1.3.2 Changements qualitatifs : les mécanismes de maintien de l'information

Les deux principaux mécanismes de maintien de l'information sont la répétition vocale ou subvocale et le rafraîchissement attentionnel par refocalisation de l'attention sur les éléments à maintenir actif en mémoire de travail. En 1966, Flavell, Beach, et Chinsky mettent en évidence lors d'une tâche de mémoire à court terme que les enfants à partir de 7 ans commencent à utiliser un mécanisme de répétition verbale. De nombreux travaux suivirent et apportèrent de nouvelles preuves empiriques quant à un changement qualitatif dans l'utilisation de la boucle phonologique. Allik et Siegel démontrent en 1976 que des enfants de 8 ans sont sensibles à l'effet de la longueur des mots, alors que des enfants de 6 ans ne le sont pas. Dans une revue de littérature, Hitch et Halliday (1983) précisent ces résultats en rapportant qu'un effet de longueur des mots est observé à partir de 6 ans si les items sont présentés auditivement et à partir de 8 ans si ceux-ci sont présentés visuellement dans une tâche d'empan simple. Cette revue met également en évidence l'apparition d'un recodage phonologique des éléments présentés visuellement pour qu'un maintien actif des informations soit fait en mémoire de travail à partir de 8 ans. Dans notre recherche, une présentation systématiquement bimodale, visuelle et auditivo-verbale, avait pour objectif de permettre aux enfants les plus jeunes de mettre en place un maintien actif des items sans avoir à effectuer un transcodage coûteux en ressources cognitives dans le cas où les items n'auraient été présentés que visuellement. La mise en évidence de l'utilisation d'un mécanisme de répétition chez les enfants à partir de 7 ans fut également faite en

manipulant la similarité phonologique des items (Halliday, Hitch, Lennon, & Pettipher, 1990; Henry et al., 2012; Hitch, Halliday, Schaafstal, & Heffernan, 1991). La majorité des études s'accorderait ainsi sur une apparition du mécanisme de répétition vers l'âge de 7 ans.

Toutefois, de récentes études viennent remettre en cause l'apparition du mécanisme de répétition qu'à partir de l'âge de 7 ans. Dans l'étude de Tam et collaborateurs (2010), la première utilisation du mécanisme de répétition fut rapportée à l'âge de 6 ans. Les enfants, dès 6 ans, furent sensibles à l'effet de similarité phonologique. De plus, cette étude indique que le changement qualitatif dans l'utilisation des mécanismes de maintien de l'information ne se ferait pas « brusquement » mais de façon progressive. Aussi, les résultats obtenus par Tam et collaborateurs (2010) indiquèrent que l'effet de similarité phonologique, bien que présent dès 6 ans, était moins important chez les enfants de 6 ans que chez les enfants de 8 ans également testés. Le développement du mécanisme de rafraîchissement attentionnel se ferait aussi de façon progressive en gagnant en efficacité avec l'avancée en âge (Barrouillet et al., 2009). Les adolescents de 14 ans et moins étaient plus sensibles à l'effet de la charge attentionnelle que les enfants plus jeunes, à partir de 8 ans. De plus, les auteurs ont mis en évidence qu'un tel mécanisme de rafraîchissement était utilisé par des enfants de 7 ans mais pas par des enfants de 5 ans. L'étude de Camos et Barrouillet (2011) vient appuyer ces résultats en démontrant que des enfants de 7 ans furent sensibles à la charge attentionnelle et non pas à la variation du délai présent entre l'encodage des items et leur rappel comme cela fut uniquement le cas à 5 ans. Cependant, l'étude de Tam et collaborateurs (2010), en plus de rapporter l'utilisation d'un mécanisme de répétition avant l'âge de 7 ans, mit en évidence l'utilisation du rafraîchissement attentionnel dès l'âge de 6 ans. Plus récemment, Oftinger et Camos (2016) démontrèrent l'apparition conjointe, à l'âge de 6 ans, des mécanismes de répétition et de rafraîchissement attentionnel en présentant une tâche d'empan complexe. De plus, cette étude a démontré l'indépendance des deux mécanismes dans leurs fonctionnements et cela dès leurs premières utilisations sur le plan développemental. Indépendance qui fut également démontrée via des études en neuro-imagerie. La fonction de rafraîchissement attentionnel se situerait principalement en niveau du cortex préfrontal dorso-latéral gauche, alors que la

fonction de répétition activerait principalement le cortex préfrontal ventro-latéral gauche (Raye, Johnson, Mitchell, Greene, & Johnson, 2007). Il est à noter que le cortex préfrontal dorso-latéral gauche est une région principalement activée lors du contrôle exécutif (par ex. Savage et al., 2001). Raye et ses collaborateurs (2007) définissent d'ailleurs le mécanisme de rafraîchissement attentionnel comme faisant partie du contrôle exécutif. Quant au cortex préfrontal ventro-latéral gauche, siège de la répétition, il correspond en partie à l'aire de Broca impliquée dans la production du langage.

De multiples facteurs sont donc responsables du développement quantitatif et qualitatif de la mémoire de travail. De nombreux domaines furent explorés, tels que : l'augmentation des ressources attentionnelles (Gavens & Barrouillet, 2004), l'accroissement du maintien passif avec un déclin temporel moins prononcé (Cowan, Nugent, Elliott, & Sauls, 2000), l'apparition de mécanismes du maintien de l'information (par ex. Oftung & Camos, 2016), la vitesse plus élevée de réactivation des items grâce au focus attentionnel (Bayliss et al., 2005; Cowan et al., 1998; Hulme, Thomson, Muir, & Lawrence, 1984), et enfin la maturation cérébrale (voir Tsujimoto, 2008, pour une revue). Néanmoins, un élément semble ne pas avoir été pris en compte dans le développement de la mémoire de travail des enfants. Il s'agit de l'impact que pourrait avoir la capacité à maintenir le but d'une tâche de mémoire de travail sur les compétences mnésiques à court terme des enfants. L'objectif de ce travail de thèse fut d'explorer en détails la relation qu'il pourrait y avoir entre le maintien du but et le développement de la mémoire de travail. Avoir une meilleure compréhension du fonctionnement de la mémoire de travail chez les jeunes enfants est primordiale tant celle-ci joue un rôle prépondérant dans les apprentissages scolaires, sujet du prochain point théorique.

## 1.4 Le rôle de la mémoire de travail dans le milieu scolaire

La mémoire de travail est cruciale au quotidien et cela se manifeste dès les premiers âges de la vie avec les apprentissages (Alloway, Gathercole, Kirkwood, & Elliott, 2009; Gathercole et al., 2016), notamment scolaires. Elle intervient dans l'apprentissage de la lecture, puis dans la compréhension de texte (Carretti, Cornoldi, De Beni, & Romanò, 2005), dans les activités numériques où elle prédit la réussite

ultérieure dans ce domaine (De Smedt et al., 2009), dans le raisonnement et toutes autres activités cognitives de haut niveau. En plus d'intervenir dans la réalisation de telles activités scolaires, le niveau des capacités en mémoire de travail est un excellent prédicteur de la réussite académique (Gathercole & Alloway, 2004). L'évaluation de la mémoire de travail permet également d'obtenir une meilleure prédiction que ne le fait l'évaluation du QI se basant, pour partie, sur l'évaluation des connaissances générales, des facultés de lecture et de mathématiques (Alloway, 2009; Alloway & Alloway, 2010). De plus, les capacités en mémoire de travail ne sont pas sensibles au niveau socio-économique (Barrouillet, Camos, Morlaix, & Suchaut, 2008) et ne dépendent pas des savoirs acquis avant la période scolaire (Alloway, Gathercole, Willis, & Adams, 2004).

L'apprentissage du langage oral ne pourrait se faire sans mémoire de travail. Dès le plus jeune âge, les enfants sont exposés au langage oral et un flot de non-mots doit gagner du sens. C'est en maintenant temporairement la représentation de quelques éléments verbaux et également en lien avec la mémoire à long terme que les enfants acquièrent les régularités verbales nécessaires à la compréhension du langage (Baddeley, Gathercole, & Papagno, 1998; Papagno & Vallar, 1992). Ainsi, pour créer la représentation d'une phrase constituante d'une idée, il est nécessaire de maintenir actif en mémoire de travail suffisamment d'éléments verbaux. La mémoire de travail est alors incontournable pour une bonne compréhension orale et écrite du langage (King & Just, 1991; MacDonald, Just, & Carpenter, 1992). Elle prédit d'ailleurs les compétences de compréhension en lecture (Cain, 2006; Cain, Oakhill, & Bryant, 2004). Dans l'étude de Cain et collaborateurs (2004), la mémoire de travail des enfants leur permet de comprendre un mot inconnu en s'appuyant sur le contexte fournit par les éléments périphériques du texte. Le maintien actif de ces éléments en mémoire de travail est donc incontournable pour déduire le sens d'un nouveau mot. Il l'est tout autant pour parvenir à une bonne compréhension des consignes. Ainsi, des enfants ayant une mémoire de travail déficitaire souffriraient d'une moins bonne réussite scolaire due à ces difficultés de compréhension (Gathercole & Alloway, 2008; Gathercole & Alloway, 2004; Gathercole, Lamont, & Alloway, 2006).

Importante dans le domaine langagier, la mémoire de travail l'est tout autant dans le domaine arithmétique. Elle est fortement liée au développement des



compétences mathématiques (par ex. Adams & Hitch, 1997; Bull & Scerif, 2001; Hecht, Torgesen, Wagner, & Rashotte, 2001; Holmes & Adams, 2006; Swanson & Kim, 2007), comme elle est également en lien avec les difficultés rencontrées en mathématiques où les enfants à plus faible mémoire de travail sont moins performants dans les activités arithmétiques (par ex. Bull, Johnston, & Roy, 1999; Bull & Scerif, 2001; Mclean & Hitch, 1999; Swanson & Sachse-Lee, 2001). Des capacités réduites de mémoire de travail entraînent notamment une difficulté dans l'écriture de nombres sous dictée chez des enfants de 8 ans (Camos, 2008). Aussi, les enfants présentant un déficit de mémoire de travail sont plus lents que les autres enfants pour récupérer le résultat d'additions, lorsqu'ils y parviennent (Barrouillet & Lépine, 2005). Cela les conduit à utiliser des stratégies, comme le comptage sur les doigts, de façon plus fréquente que les autres enfants ne présentant pas de réduction de leur mémoire de travail (Geary, Hoard, Byrd-Craven, & DeSoto, 2004). Une des façons d'améliorer les compétences mathématiques des enfants est de les impliquer dans une réalisation de gestuelle durant le déroulement de la tâche de résolution de problème. L'impact de la motricité et de la gestuelle sur la cognition fait l'objet du point suivant. Nous verrons que, outre l'effet de la gestuelle sur les performances arithmétiques, l'accomplissement d'une gestuelle permet d'aider à la réalisation d'autres tâches cognitives, telles que des tâches de mémoire à long terme ou de mémoire de travail. Dans cette optique, un tel type d'activité motrice sera proposé dans deux expériences de cette thèse.

## 1.5 Influence de la motricité et de la gestuelle sur les performances cognitives

Récemment, des recherches en psychologie cognitive ont porté sur le lien qu'il y aurait entre le développement de la mémoire de travail et l'activité motrice. Une des branches ayant étudié ce lien porte sur la gestuelle. Lorsque nous parlons, nous enrichissons notre discours par des gestes. Selon Cook, Yip, et Goldin-Meadow (2012), produire une gestuelle porteuse de sens permettrait d'alléger le coût cognitif lorsque de jeunes adultes expliquent la résolution d'un problème mathématique. L'aide apportée par la gestuelle lors de la résolution d'un problème mathématique fut également observée chez des enfants de 9 et 10 ans. Lorsque ceux-ci étaient exposés aux instructions du problème accompagnées de gestes de la part de l'expérimentateur,

les enfants utilisèrent davantage la gestuelle pour expliquer leur résolution du problème. Ceci résulta en l'obtention de meilleures performances dans la résolution du problème comparé à des enfants qui n'avaient ni vu ni fait de gestuelle (Cook & Goldin-Meadow, 2006). Dans une étude de 2001, Goldin-Meadow, Nusbaum, Kelly, et Wagner testèrent des enfants de 10 ans et des jeunes adultes. La tâche consistait en premier lieu à résoudre une équation mathématique. Puis, les sujets devaient mémoriser une liste de lettres ou de mots. Il était ensuite demandé aux participants d'expliquer comment ils avaient résolu l'équation, soit avec une gestuelle autorisée, soit la gestuelle leur était interdite. Enfin, les participants devaient rapporter les mots précédemment mémorisés. Les auteurs mirent en évidence que, lorsque les enfants et les adultes étaient en mesure d'utiliser des gestes pour expliquer un problème mathématique, ils obtenaient de meilleures performances de rappel de la liste de mots ou de lettres précédemment mémorisée. Les auteurs avancèrent l'idée qu'effectuer une gestuelle lors de la tâche concurrente, celle de résolution de problème, permettrait de libérer des ressources cognitives en faveur de la tâche principale de mémoire de travail (voir aussi Goldin-Meadow, 2011).

La libération de ressources cognitives par la réalisation d'une gestuelle améliorerait ainsi les performances cognitives dans une tâche nécessitant de l'attention. Pourtant, les tâches motrices sont exigeantes en attention. Les enfants sont d'ailleurs moins performants dans une situation de double tâche que les adultes qui possèdent davantage de ressources attentionnelles (voir Guttentag, 1989, pour une revue) ; et réaliser une activité motrice en même temps qu'une activité cognitive est une situation de double tâche. Néanmoins, lorsque l'activité physique est de faible intensité cela améliore les performances cognitives comparé à effectuer une activité physique de plus forte intensité qui tend à réduire les performances cognitives (voir Tomporowski, 2003, pour une revue). Ainsi, la gestuelle, en étant une activité motrice de faible intensité, permettrait d'améliorer les capacités cognitives. Dans l'étude de Cook et collaborateurs (2012) portant sur une population d'adultes et à paradigme similaire à Goldin-Meadow et collaborateurs (2001), les sujets ont rappelé plus efficacement une liste de 6 consonnes lorsqu'ils pouvaient effectuer une gestuelle libre plutôt que lorsque celle-ci était contrainte à un mouvement de cercle sur le rythme de la parole, ou bien à une absence de geste. En revanche, dans une étude de So, Sim

Chen-Hui, et Low Wei-Shan (2012) lorsque les adultes observaient l'expérimentateur donner une liste de mots à mémoriser en faisant, soit une gestuelle ayant du sens par rapport au matériel verbal, soit un mouvement rythmé, ou alors aucun mouvement, les adultes ont amélioré leur rappel d'items lorsque la gestuelle avait du sens ou bien lorsqu'elle était rythmée. Dans cette même étude de So et collaborateurs (2012), des enfants de 4 et 5 ans n'ont amélioré leurs performances mnésiques qu'en condition où l'expérimentateur accompagnait la présentation des mots avec une gestuelle sensée.

Toutefois, lorsque la rythmicité gestuelle a pour fonction de souligner un élément du discours, cela peut être bénéfique à des enfants d'âge préscolaire. Une étude récente a mis en évidence que la seule observation d'une rythmicité gestuelle sensée permettait de mieux mémoriser des mots chez de jeunes enfants de 3 à 5 ans (Igalada, Esteve-Gibert, & Prieto, 2017). Dans cette étude, un expérimentateur mettait en évidence un mot de la phrase en effectuant en même temps une certaine gestuelle afin de mettre l'accent sur cette partie de la phrase. Les enfants du groupe avec gestuelle rappelaient davantage le mot mis en évidence par la gestuelle que les enfants du groupe auquel aucune gestuelle ne fut présentée. L'effet bénéfique de l'observation de gestes faits par l'expérimentateur lors de la phase d'encodage fut également obtenu dans une récente expérience où des enfants de 6 à 10 ans étaient impliqués dans une tâche de reproduction de séquences motrices (Waterman et al., 2017, Exp. 2a). De plus, les auteurs constatèrent un effet positif de la gestuelle faite par l'enfant lors de l'encodage si l'exigence de la tâche était réduite avec une séquence de gestes à effectuer moins importante (Waterman et al., 2017, Exp. 2b). Dans une expérience testant cette fois-ci la mémoire à long terme, des enfants de 6 et 7 ans rappelèrent plus d'éléments en lien avec un événement vécu deux semaines plus tôt lorsqu'il leur était permis d'accompagner leur discours par des gestes (Stevanoni & Salmon, 2005). Enfin, pour revenir au lien entre mémoire de travail et bénéfice de la gestuelle, des différences interindividuelles semblent exister. Dans une étude portant sur des jeunes adultes, les individus à plus faible mémoire de travail furent défavorisés de ne pas avoir pu utiliser de gestes lors de l'explication d'un problème mathématique alors que cela n'a pas impacté les individus à meilleures capacités en mémoire de travail (Marstaller & Burianová, 2013).

La gestuelle a donc ceci de particulier : elle est porteuse de sens et permet ainsi de réduire le coût cognitif demandé par la tâche lui étant associée. Lorsque l'activité motrice n'est alors plus porteuse de sens, cela entraîne cette fois-ci une hausse du coût cognitif, et donc conduit à une réduction des performances mnésiques comme démontré chez des jeunes adultes. Ainsi, lorsque de jeunes adultes devaient déplacer leurs mains vers le clavier pour donner une réponse, cela était délétère à leurs performances en mémoire de travail comparé à la condition où les mains des sujets étaient déjà positionnées sur les touches du clavier (Portrat, Camos, & Barrouillet, 2010). Cependant, un autre type d'activité motrice est en mesure d'apporter une aide à la mémorisation, il s'agit de la marche. Dans une étude appliquant des enfants de 9 ans et des jeunes adultes, les participants devaient effectuer une tâche de mémoire de travail de type n-back test tout en restant assis ou en marchant sur un tapis roulant (Schaefer, Lövdén, Wieckhorst, & Lindenberger, 2010). Il y avait deux possibilités concernant la marche sur le tapis roulant. L'une était réalisée à l'allure souhaitée par le participant et l'autre à une allure plus faible que la vitesse de marche habituelle, soit une vitesse de 2,5 km/h. Les auteurs ont relevé de meilleures performances en mémoire de travail de la part des deux populations lorsque les sujets pouvaient librement choisir leur vitesse de marche comparé à effectuer la tâche à 2,5 km/h ou en restant assis.

L'ensemble de ces recherches convergent en la démonstration de l'existence d'un lien entre action et mémorisation. La gestuelle, en apportant un gain de sens dans la tâche, permettrait d'économiser des ressources cognitives utiles à la mémorisation que ce soit chez des adultes, des enfants d'âge scolaire et même chez ceux d'âge préscolaire qui n'utilisent pourtant pas encore de mécanismes de maintien de l'information et ne devraient pas être sensibles à cette libération de ressources cognitives. Toutefois, seules deux études, celle de So et collaborateurs (2012) et celle d'Igualada et collaborateurs (2017) ont porté sur des enfants d'âge préscolaire et seule la condition où la gestuelle était réalisée par l'expérimentateur (uniquement cette condition chez Igualada et collaborateurs, 2017) lors de l'encodage a mené à une amélioration mnésique chez les enfants d'âge préscolaire. L'hypothèse d'une économie des ressources cognitives n'est d'ailleurs pas avancée par Igualada et collaborateurs (2017) ; les auteurs rapportant plutôt l'apport d'un encodage

multimodal et l'augmentation attentionnelle du sujet pour l'élément mis en évidence par les gestes. Enfin, outre la libération de ressources attentionnelles, l'encodage multimodal et la focalisation attentionnelle, l'activité motrice présente lors d'une tâche de mémoire de travail permettrait également d'augmenter l'éveil ; ce que Schaefer et ses collaborateurs (2010) caractérisent par une activation plus importante des ressources cognitives.

## RÉSUMÉ

En maintenant temporairement les informations utiles au traitement de la tâche en cours, le système de mémoire de travail joue un rôle indispensable dans le fonctionnement cognitif. Ainsi, son utilisation est incontournable dès les premiers âges de vie. Nombre de nouvelles expériences faites par les nourrissons, puis durant l'enfance, feront que les informations transiteront d'abord dans la mémoire de travail avant d'établir une trace durable en mémoire à long terme (par ex. pour l'apprentissage du langage). La centralité d'un tel système rend son évaluation nécessaire lorsqu'il s'agit de déterminer l'origine des difficultés cognitives que pourraient rencontrer les enfants. Les batteries de Wechsler, enfants (WISC-V ; Wechsler, 2014) et adultes (WAIS-IV ; Wechsler, 2008), mesurant l'intelligence, incluent d'ailleurs la mesure des capacités en mémoire de travail. Ainsi, ces capacités participent à l'obtention du score total du quotient intellectuel. Plus que ça, les capacités en mémoire de travail seraient un meilleur prédicteur de la réussite future, de vie ou académique, que ne pourrait l'être le quotient intellectuel.

En dépit de ce caractère essentiel dans le fonctionnement cognitif, la mémoire de travail fut moins étudiée durant les années préscolaires que durant les années qui suivent. Pourtant, cette période du développement possède la particularité de voir l'émergence de certains mécanismes de maintien de l'information. Les informations deviennent maintenues activement et consciemment par les enfants, afin de lutter contre la dégradation des traces mnésiques dans le temps. Toutefois le débat existe quant à l'âge où ces mécanismes émergent. De plus, nous pouvons nous questionner sur les raisons faisant naître l'utilisation des mécanismes de maintien de l'information à une telle période développementale et non pas plus tôt alors qu'une évolution quantitative a lieu depuis plusieurs années. Dans ce travail de thèse, nous nous sommes attachés à répondre à ce questionnement en proposant que la capacité des enfants à maintenir actif le but de la tâche de mémoire de travail influencerait leur utilisation des mécanismes de maintien de l'information.

# Chapitre 2

## Les fonctions exécutives

---

La raison pour laquelle nous développons maintenant un chapitre théorique sur les fonctions exécutives provient du fait que les liens entre fonctionnement cognitif et gestion des buts furent étudiés au sein du contrôle exécutif. Fonctions exécutives, contrôle exécutif, contrôle cognitif sont autant de termes définissant les mêmes processus cognitifs, mais avec une notion de mise en œuvre des processus exécutifs pour les termes de contrôle exécutif et de contrôle cognitif (Gioia, Isquith, & Guy, 2001). Les fonctions exécutives permettent de réaliser toute action non routinière, nécessitant un contrôle volontaire et étant dirigée vers un but. A cette diversité de termes, il faut ajouter un foisonnement de définitions. Historiquement, le fonctionnement exécutif référait aux fonctions mises en place par le cortex préfrontal (Pribram, 1973, 1976). Cependant, il fut mis en évidence que cette région cérébrale n'est pas la seule impliquée dans le fonctionnement exécutif, de par l'implication des fonctions exécutives dans le fonctionnement cognitif général (Cole & Schneider, 2007). Un élément clef, retrouvé dans plusieurs définitions des fonctions exécutives, est qu'il s'agit de processus utilisées dans la régulation de pensées, d'émotions ou d'actions orientées vers un but (Barkley, 2012; Burgess & Simons, 2005; Case, 1985; Diamond, 2014; Fuster, 1997; Hughes, 2011; Lucenet & Blaye, 2014; Luria, 1973; Miller & Cohen, 2001; Miyake et al., 2000; Zelazo, 2015). C'est là une vision fonctionnelle du fonctionnement exécutif. Ainsi, les processus mentaux qui contrôlent toute action nouvelle et non automatique nécessitant de l'attention pour atteindre un but sont considérés comme des fonctions exécutives (Damasio, 1995; Duncan, 1986; Shallice, 1982). Allez récupérer le pain dans une nouvelle boulangerie va activer une cascade de ces fonctions jusqu'à en atteindre le but. Il faudra planifier un itinéraire, conserver une attention soutenue pour inhiber les automatismes nous poussant à prendre nos chemins habituels lorsqu'on est en route, faire preuve de flexibilité cognitive si le type de pain voulu n'est plus disponible, et tout cela en mettant à jour le but en mémoire de travail.

Les fonctions exécutives sont ainsi, tout comme l'est la mémoire de travail, centrales dans la vie quotidienne. De nombreux domaines sont impactés au cours de la vie par la qualité du contrôle cognitif. A l'école, les capacités du contrôle exécutif prédisent mieux les compétences dans les domaines des mathématiques et de la lecture que ne pourrait le prédire la mesure du QI (Borella, Carretti, & Pelegrina, 2010; Duncan et al., 2007; Gathercole, Pickering, Knight, & Stegmann, 2004) ou que ne pourrait le prédire le niveau de base en compétences mathématiques et de lecture (Blair & Razza, 2007; Morrison, Ponitz, & McClelland, 2010). Un contrôle cognitif altéré impacte également la réussite professionnelle avec une baisse de la productivité (Bailey, 2007), la santé physique en étant associée à l'obésité et à l'abus de drogues (Crescioni et al., 2011; Miller, Barnes, & Beaver, 2011; Riggs, Spruijt-Metz, Sakuma, Chou, & Pentz, 2010), l'harmonie marital où un partenaire ayant de plus faibles ressources cognitives sera plus impulsif (Eakin et al., 2004), le comportement social lié à des problèmes de violence et de criminalité (Broidy et al., 2003; Denson, Pedersen, Friese, Hahm, & Roberts, 2011), et enfin la qualité de vie en général (Brown & Landgraf, 2010; Davis, Marra, Najafzadeh, & Liu-Ambrose, 2010). Les fonctions exécutives sont aussi altérées dans certaines pathologies mentales comme dans les addictions (Baler & Volkow, 2006), la dépression (Taylor Tavares et al., 2007), la schizophrénie (Barch, 2005), et les troubles de l'attention avec ou sans hyperactivité (Diamond, 2005; Lui & Tannock, 2007). Nous allons à présent aborder, au travers de la présentation de deux visions distinctes, différentes théories quant à l'organisation du fonctionnement exécutif.

## 2.1 Visions unitaire et fractionnée du fonctionnement exécutif

Un lien étroit existe entre fonctions exécutives et mémoire de travail. La conception unitaire présente lors des débuts des recherches portant sur les fonctions exécutives faisait classer l'ensemble du fonctionnement exécutif dans un seul module. C'était le cas avec le modèle de Baddeley (1986) où les fonctions de l'administrateur central étaient considérées comme des fonctions exécutives. C'est aussi le cas dans le modèle de Cowan (1995) où le focus attentionnel a un rôle exécutif en gérant les ressources attentionnelles. L'attention avait aussi une place importante dans le modèle unitaire de Norman et Shallice (1986) où le système attentionnel superviseur (SAS)



gérait l'ensemble du fonctionnement exécutif. Puis vint une conception fractionnée des fonctions exécutives. Diamond (2001) faisait de la mémoire de travail et de l'inhibition deux fonctions exécutives distinctes à trajectoires développementales dissociées. Les évidences neurologiques obtenues chez des patients avec lésions du cortex préfrontal arguent également en faveur d'une dissociation des fonctions exécutives due à différentes zones atteintes pour différentes fonctions altérées (Anderson, Levin, & Jacobs, 2002; Chow & Cummings, 1999; Stuss et al., 2002).

Pour Braver, Gray, et Burgess (2007) (puis Braver, 2012) la capacité de maintien en mémoire de travail serait déterminante dans le type de contrôle engagé. Un modèle unitaire fut ainsi développé. Il intègre deux mécanismes de contrôle employés de façon distincte. L'un des deux modes de contrôle, le contrôle proactif, implique de mobiliser une part importante des ressources attentionnelles. Il a pour avantage de préparer le contrôle exécutif en vue de l'interférence à venir et est donc efficace dans la réduction des distractions internes et externes. Cependant, lorsque la charge cognitive en mémoire de travail est élevée, ce mode de fonctionnement exécutif n'est plus employable (Speer, Jacoby, & Braver, 2003). C'est alors qu'un traitement réactif est utilisé. Le contrôle réactif intervient lorsqu'il est nécessaire de résoudre l'interférence résultant d'un changement de but en cours de tâche. Selon les auteurs de ce modèle (Braver, 2012; Braver et al., 2007), la mise en application d'un contrôle proactif ou réactif dépendrait de la capacité des sujets à se représenter et maintenir en mémoire de travail les informations contextuelles reliées à la tâche. Mettre en place une stratégie proactive demande de maintenir actif le but de la tâche en mémoire de travail et cela préventivement au traitement exigé par la tâche. Dans le cas d'un contrôle réactif, le but de la tâche est rappelé aux sujets par des indices environnementaux au moment d'effectuer le contrôle exécutif. Pour reprendre l'exemple précédent, afin d'aller récupérer du pain dans une nouvelle boulangerie, le trajet sera planifié à l'avance si la personne adopte un comportement proactif. A l'inverse, si l'individu se retrouve dans un traitement réactif, la question du chemin à suivre se posera à chaque intersection.

## 2.2 Une vision intégrative

Suite aux visions fractionnées du fonctionnement exécutif, fut proposé un modèle intégratif des fonctions exécutives. Le travail le plus cité est certainement celui

de Miyake et collaborateurs (2000) proposant trois fonctions exécutives distinctes mais possédant néanmoins une part de variance commune dans leurs fonctionnements. D'après Miyake et ses collaborateurs (2000), la part de variance commune de ces trois fonctions serait la capacité à garder les buts, ainsi que d'autres informations pertinentes pour la tâche, actifs en mémoire de travail pendant le contrôle exécutif. Ce modèle intégratif du fonctionnement exécutif fait actuellement quasi l'unanimité dans la communauté scientifique (Hughes, 1998; Vaughan, 2010), avec également une évolution des modèles de Baddeley (2002) et de Shallice (2002) intégrant plusieurs composantes à l'administrateur central ainsi qu'au système attentionnel superviseur. Les fonctions exécutives que l'on retrouve dans le travail de Miyake et collaborateurs (2000) sont : la flexibilité mentale, la mise à jour de la mémoire de travail et l'inhibition des réponses prépotentes (Miyake et al., 2000, p. 50). L'inhibition des réponses prépotentes se définit comme la capacité à bloquer toute réponse automatique liée à des stimuli provenant de l'environnement et non pertinents pour l'objectif à atteindre (Simpson & Riggs, 2007). Le concept de mise à jour en mémoire de travail est décrit par Miyake et ses collaborateurs (2000) comme étant une action de monitoring du stockage des informations en mémoire de travail en enlevant les informations n'y étant plus pertinentes pour les remplacer par de nouveaux éléments plus appropriés à la situation présente. Enfin, faire preuve de flexibilité mentale ou cognitive correspond au fait de choisir la réponse la plus appropriée au but poursuivi parmi plusieurs choix disponibles et cela en fonction d'indices environnementaux (Jacques & Zelazo, 2005). La flexibilité mentale est parfois considérée comme une fonction faisant appel aux deux autres pour être mise en application. Pour faire preuve de flexibilité il faudrait en premier lieu inhiber les réponses prépotentes, puis mettre à jour les informations en mémoire de travail, pour enfin sélectionner une nouvelle réponse (Diamond, 2006; Kirkham, Cruess, & Diamond, 2003; Morton & Munakata, 2002; Munakata, 2001). Malgré une certaine dissociation des fonctions exécutives, celles-ci ne seraient différenciables qu'à partir de 5 ans (Carlson, 2005). Nous allons, dans le point suivant, passer en revue le développement de ces trois fonctions exécutives.

## 2.3 Développement des fonctions exécutives

Le développement des fonctions exécutives se fait jusqu'à l'âge adulte (Best, Miller, & Jones, 2009; Luna, Garver, Urban, Lazar, & Sweeney, 2004). Cette longue évolution vient de la lente maturation du cortex préfrontal qui aboutit après les deux premières décennies de vie (Diamond, 2002; Sowell, Thompson, Homes, Jernigan, & Toga, 1999). Dans le modèle des deux mécanismes de contrôle (Braver, 2012), le contrôle exécutif reposant sur le cortex préfrontal latéral et médian, le niveau de maturation de celui-ci engendre la possibilité d'utiliser préférentiellement l'un des deux mécanismes qu'à partir de 10 ans (Chevalier, Martis, Curran, & Munakata, 2015). Toutefois, dès 5 ans, lorsque le contrôle réactif est rendu impossible à mettre en place au cours d'une tâche, les enfants d'âge préscolaire engageraient un contrôle proactif (Chevalier et al., 2015). L'évaluation des fonctions exécutives chez les plus jeunes enfants abonde de tests. Monette et Bigras en listent une soixantaine dans leur revue de littérature de 2008. Cependant beaucoup de tests possèdent un caractère « impur » en mesurant souvent plusieurs fonctions pour un même test (Davidson, Amso, Anderson, & Diamond, 2006). Dans les trois points suivants, c'est via la présentation de différentes tâches exécutives que nous ferons état du développement des fonctions exécutives.

### 2.3.1 Inhibition des réponses prépotentes

La tâche A-non-B initialement développée par Piaget (1936) permet, chez les bébés, de mettre en évidence l'apparition du contrôle exécutif par l'inhibition. Dans cette tâche, un objet est caché dans un premier emplacement. A la suite de plusieurs réapparitions de l'objet à ce premier emplacement, l'objet est dissimulé à un second emplacement. La tâche n'est pas encore réussie à 6 mois (Espy, Kaufmann, McDiarmid, & Glisky, 1999). Seuls les enfants à partir de 12 mois parviennent à inhiber leur recherche au premier emplacement pour chercher et trouver correctement l'objet dans son nouvel emplacement (Diamond, 1985). Cependant, selon Munakata (1998), cette épreuve mesure la capacité de mise à jour en mémoire de travail chez les bébés. Cette différence d'interprétation reflète le fait que, durant l'âge préscolaire, les épreuves utilisées pour évaluer l'inhibition et la mémoire de travail ne parviennent pas à différencier ces deux facteurs. En administrant une batterie incluant trois tâches

de mémoire de travail et sept tâches d'inhibition, Wiebe et ses collaborateurs (2011) ont mis en évidence qu'un seul facteur commun était saturé à 3 ans. Et c'est à partir de 7 ans que la distinction de ces deux fonctions commencerait à se faire (Huizinga, Dolan, & van der Molen, 2006; Lehto, Juujärvi, Kooistra, & Pulkkinen, 2003; Miyake et al., 2000). L'évolution de la capacité d'inhibition se poursuit durant l'âge préscolaire. L'expérience populaire du Chamallow (Mischel, Ebbsen, & Zeiss, 1972) démontre cette capacité croissante à inhiber une réponse, mais elle permet aussi de prédire la réussite dans la vie future des enfants. Les enfants qui sont mieux disposés à attendre une meilleure récompense (plus de guimauves après un délai) démontrent une meilleure réussite académique à l'adolescence (Shoda & Mischel, 1990). Les épreuves d'évaluation de la capacité d'inhibition furent adaptées pour les jeunes enfants non lecteurs. Le test de Stroop (Stroop, 1935) nécessitant cette lecture fut à l'origine de la version pour les enfants non-lecteurs : le Stroop jour/nuit où les enfants doivent inhiber la réponse automatique de dire jour lorsqu'ils voient un Soleil et nuit lorsqu'ils voient une Lune. Les réponses correctes après inhibition correspondent ainsi à dire jour avec le dessin de la Lune et nuit avec le dessin du Soleil. Cette épreuve est mieux réussie à 5 ans qu'à 3 ans (Gerstadt, Hong, & Diamond, 1994).

### 2.3.2 Mise à jour de la mémoire de travail

La partie concernant uniquement la mise à jour des informations en mémoire de travail est une fonction exécutive moins étudiée que le stockage en lui-même. Davantage d'auteurs en psychologie du développement focalisent leurs recherches sur les capacités de stockage de la mémoire à court terme ; mémoire à court terme qui n'implique, ni temps de rétention après l'encodage, ni manipulation de l'information durant le stockage. Ce n'est donc pas l'intégralité de la mémoire de travail qui y est étudiée. La raison de cela viendrait d'une part de la complexité à la réalisation des tâches de mémoire de travail pour les enfants d'âge préscolaire et d'autre part proviendrait du fait que le stockage utiliserait les mêmes ressources cognitives que le traitement (Camos & Barrouillet, 2018). Ainsi, en étudiant le stockage à court terme, serait faite l'évaluation des ressources exécutives en mémoire de travail. Parmi les quelques tâches évaluant les capacités en mémoire à court terme, l'on peut citer les tâches d'empan simple (de mots, de chiffres, endroit et à rebours) et de préférence

visuelle pour les plus jeunes enfants, déjà vues auparavant dans le chapitre dédié à la mémoire de travail. A propos de l'évaluation de la mise à jour des informations en mémoire de travail, la tâche de pointer et mémoriser permet de mesurer cette capacité (Petrides & Milner, 1982). La tâche consiste à pointer du doigt une image parmi une liste d'images abstraites. L'image à montrer du doigt ne doit pas avoir été pointée précédemment par l'enfant. À chaque nouvel essai, la liste d'images est mélangée obligeant l'enfant à mettre à jour la représentation mnésique qu'il a de la liste. Cette tâche permet de démontrer une évolution de cette fonction exécutive de 3 ans à l'âge adulte (Cragg & Nation, 2007; Hongwanishkul, Happaney, Lee, & Zelazo, 2005; Ward, Shum, McKinlay, Baker-Tweney, & Wallace, 2005).

### 2.3.3 Flexibilité mentale

Comme pour la fonction d'inhibition, les mesures de flexibilité mentale ne sont pas aisées à mener durant la période préscolaire dû à la complexité des tâches évaluant ce type de contrôle cognitif. Ceci est en lien avec l'idée précédemment exposée que la flexibilité implique la participation de l'inhibition et de la mise à jour en mémoire de travail. Ainsi, le développement de la flexibilité aurait comme prérequis le développement antérieur des deux autres fonctions exécutives (Best et al., 2009; Garon, Bryson, & Smith, 2008). Cependant, Davidson et ses collaborateurs (2006) ont démontré que les capacités d'inhibition progressent plus rapidement de 4 à 13 ans que ne le fait la flexibilité mentale, suggérant ainsi une dissociation entre ces deux fonctions exécutives. Les capacités de flexibilité mentale sont souvent évaluées grâce aux deux tâches présentées ci-après. Celles-ci partagent la même logique demandant de changer de type de traitement durant la réalisation de la tâche. Dans le DCCS (Dimensional Change Card Sort, Zelazo, 2006), les enfants doivent appairer des cartes selon un des deux critères (forme : lapin, bateau ; couleur : bleu, rouge) figurant sur les dessins illustrant ces cartes (*Figure 6*). Après plusieurs essais avec une règle de tri fixe, par exemple trier les cartes avec la couleur, l'expérimentateur donne explicitement une nouvelle règle avec laquelle les enfants devront trier les cartes, par exemple la forme. Ce type d'épreuve est réussi à partir de l'âge de 4-5 ans (Zelazo, Müller, Frye, & Marcovitch, 2003). Avant cet âge, les enfants de 3 ans ne peuvent trier les cartes que par un seul critère et ils ne sont pas capables de suivre le changement de

règle (Zelazo et al., 2003). L'autre type d'épreuve est le Wisconsin Card Sort Test (WCST ; Grant & Berg, 1948), dont le DCCS en est une adaptation pour les enfants d'âge préscolaire. Dans cette épreuve, davantage de critères de tri sont disponibles (4 contre 2 dans la tâche du DCCS). Mais surtout, le changement de règle ne se fait plus par une consigne explicite donnée par l'expérimentateur, mais par un feedback de réussite du tri. Après un certain nombre d'essais à tris identiques, l'expérimentateur jugera comme mauvaise les réponses faites sur la base de l'ancienne règle de tri. Le sujet doit alors changer de règle de tri pour poursuivre la tâche et obtenir de nouveau un feedback positif de la part de l'expérimentateur. Ce type d'épreuve est réussi chez des enfants plus âgés et permet ainsi d'observer que la fonction de flexibilité mentale continue de progresser après 4 ans (Jacques & Zelazo, 2005) et ceci jusqu'à l'adolescence (Cianchetti, Corona, Foscoliano, Contu, & Sannio-Fancello, 2007; Crone, Richard Ridderinkhof, Worm, Somsen, & Van Der Molen, 2004; Huizinga & van der Molen, 2007; Somsen, 2007). L'amélioration des performances de flexibilité avec l'âge serait également liée à la capacité croissante d'identification du but à poursuivre (voir Chevalier, 2010, 2015; Chevalier, Blaye, & Maintenant, 2014, pour des revues de littérature). Ceci fera l'objet du chapitre suivant.

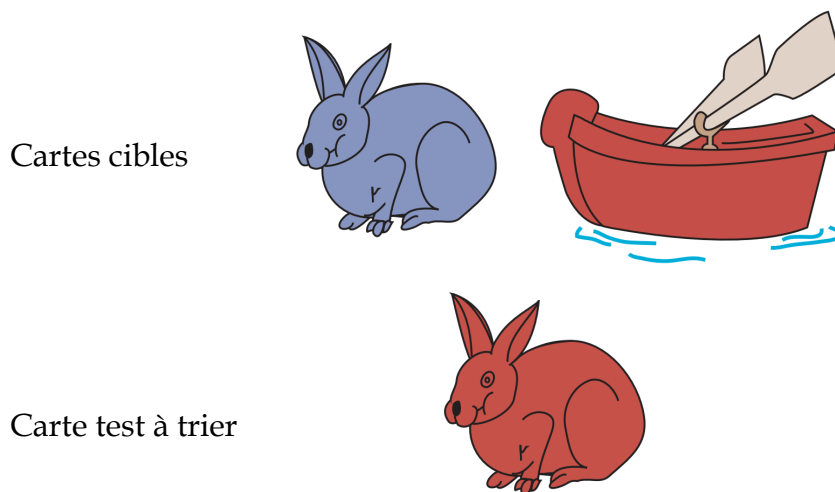


Figure 6. Illustration du DCCS tel qu'il est présenté par Zelazo (2006).

## RÉSUMÉ

Tout comme pour la mémoire de travail, des visions divergentes coexistent quant à l'organisation du système exécutif. Le système exécutif peut être perçu comme un ensemble de fonctions dissociées dans leurs utilisations, ce qui fut notamment supporté par des études en neuro-imagerie localisant des sièges neurologiques différents pour chaque fonction. Aussi, une vision unitaire du contrôle exécutif fut développée. Cette théorie ajoute une dimension temporelle au fonctionnement exécutif dans le sens où le traitement exécutif peut se faire de façon préparée (proactive) ou en réaction aux stimuli (réactive) lorsque la charge cognitive devient trop importante. Enfin, un modèle intégratif fut conçu en combinant le fonctionnement de trois composantes exécutives avec le partage d'une ressource commune, celle de la capacité à gérer les informations de but en mémoire de travail (Miyake et al., 2000, p. 78).

Le fonctionnement du contrôle exécutif et celui de la mémoire de travail se retrouvent fortement liés. Pour certains, la mémoire de travail ferait partie intégrante des fonctions exécutives. Pour d'autres, ce serait la fonction de mise à jour des informations en mémoire de travail qui serait la part exécutive de la mémoire de travail. Cette perspective est également retrouvée dans les modèles de mémoire de travail. En effet, cette dernière intègre une part exécutive dans son fonctionnement. C'est notamment le cas dans la gestion des systèmes esclaves par l'administrateur central du modèle de Baddeley et dans le fonctionnement du focus attentionnel du modèle de Cowan. Cette proximité entre fonctionnement exécutif et mémoire de travail fait que, tout comme pour la mémoire de travail, les capacités du fonctionnement exécutif prédisent les facultés d'apprentissage et d'adaptation dans la vie future. Ainsi, la corrélation entre les capacités de ces deux systèmes est très élevée (McCabe, Roediger, McDaniel, Balota, & Hambrick, 2010). Selon McCabe et ses collaborateurs (2010), le contrôle attentionnel serait l'élément responsable de la variation commune du contrôle exécutif et de la mémoire de travail ; l'attention étant effectivement centrale dans les modèles du fonctionnement de la mémoire de travail et du fonctionnement exécutif. Comme nous le verrons dans le chapitre suivant, l'attention a aussi une place importante dans la gestion des buts. Enfin, la proximité qu'entretiennent le fonctionnement exécutif et celui de la mémoire de travail nous permet de considérer l'impact qu'a la gestion des buts dans le développement du contrôle exécutif.

# Chapitre 3

## La gestion des buts dans le contrôle exécutif

Le but est une représentation mentale de l'intention d'accomplir une tâche, de réaliser certains états spécifiques du monde, ou de prendre part à certaines actions physiques ou mentales (Altmann & Trafton, 2002, p.39). La poursuite d'un but est omniprésente dans la vie quotidienne. De fait, de nombreux modèles du fonctionnement cognitif intègrent un module de but. C'est le cas notamment avec le modèle Adaptive Character of Thought - Rational (ACT-R) (Anderson, 1996; Anderson, 1993; Anderson, 1983; Anderson & Lebiere, 2014) dont celui-ci est basé sur le fait que la cognition est dirigée par des buts. Dans le modèle ACT-R, les buts sont activés automatiquement et un but principal active, par associations, les autres sous-buts pertinents pour la tâche à réaliser. En 2004, le modèle ACT-R est modifié pour intégrer un module de but à part entière. L'idée de l'existence d'une structure spécialement dédiée au traitement du but est plus ancienne. Elle intègre la possibilité de segmenter le but principal en divers sous-buts rendant le traitement plus aisé (Ernst & Newell, 1969; Newell & Simon, 1972). L'Interactive Action Model (IAM ; Cooper & Shallice, 2006) est également un modèle proposant la gestion d'une hiérarchie de buts dans les actions à réaliser. Ce dernier modèle est d'ailleurs basé sur le SAS de Norman et Shallice (1986) qui permet d'activer davantage le schéma d'actions à utiliser pour poursuivre un but. Aussi, dans l'Iterative Reprocessing (IR) modèle (Cunningham, Zelazo, Packer, & Van Bavel, 2007), l'attention et les comportements sont modulés par les buts à atteindre. Enfin, la notion de but à poursuivre est importante dans une conception plus ancienne de la mémoire de travail impliquant de planifier les activités de la vie courante en suivant un but principal qui sera divisé en sous-buts (Miller et al., 1960). Cette conception se rapproche aujourd'hui de celle de la mémoire prospective (Einstein & McDaniel, 2005) où il est nécessaire de se souvenir de faire quelque chose en temps voulu, concept également dirigé par les buts. Plus récemment, Fuster et Bressler (2012) définissaient la mémoire de travail comme le fait de retenir temporairement de l'information pour la réalisation prospective d'un but. Les buts sont ainsi omniprésents dans la cognition. Nous allons voir, dans ce chapitre, les étapes



nécessaires au bon déroulement du contrôle cognitif dirigé par les buts. Les buts doivent d'abord être identifiés, puis maintenus actifs afin d'être poursuivis. Nous aborderons également le rôle que joue la gestion des buts dans l'inhibition et la flexibilité mentale en mettant un accent particulier sur le développement préscolaire. Nous traiterons également de la possibilité d'aider les enfants d'âge préscolaire à cette gestion des buts par un indiçage. Enfin, nous développerons le lien que la gestion des buts entretient avec les capacités en mémoire de travail, l'attention, et les structures cérébrales.

### 3.1 Identification et maintien des buts

La gestion des buts implique deux processus distincts et successifs : l'identification des buts, puis leur maintien. La construction de la représentation du but à atteindre se fait ainsi, en premier lieu, par son identification. L'environnement est un fournisseur d'indices signalant le but à poursuivre. Dans l'étude princeps de Duncan et collaborateurs (1996), les sujets avaient à lire des lettres apparaissant à droite et à gauche de l'écran tout en ignorant les chiffres. Des indices (symboles + et -) indiquaient quelle partie de l'écran regarder et donc quelles lettres étaient à dénommer. Les sujets poursuivaient ainsi le but en fonction des indices environnementaux présents. D'après Altmann et Trafton (2002) c'est par un apprentissage associatif, lors de la phase d'instructions, que les sujets associent les connaissances déclaratives de la présentation d'un indice avec la poursuite d'un but. Le but identifiable dans l'environnement par des indices exogènes peut aussi l'être par des indices endogènes, comme par exemple en se basant sur la rythmicité de la tâche (Dauvier, Chevalier, & Blaye, 2012). Le Wisconsin Card Sorting Test (Grant & Berg, 1948) propose notamment cette configuration où les individus doivent changer de but en triant différemment les cartes au bout d'un certain nombre d'essais. Dans ce test, si la personne n'a pas appliqué la règle implicite du changement de but après un nombre fixe d'essais en tenant compte de la rythmicité de la tâche (indiçage endogène), elle peut se baser sur un autre type d'indiçage (exogène) permettant d'identifier le but. Ces indices exogènes sont des feedbacks donnés par l'expérimentateur sur la réussite ou non du tri de cartes. Les feedbacks peuvent être utilisés pour identifier les buts dès

l'âge préscolaire comme démontré avec des enfants de 4 à 6 ans dans une étude de Chevalier, Dauvier, et Blaye (2009).

Dans l'étude de Duncan et collaborateurs (1996), des erreurs de dénomination des lettres ou des chiffres étaient commises par les sujets qui n'appliquaient pas la règle d'orienter leur regard vers une autre partie de l'écran lorsque l'indication exogène (symboles + et -) le stipulait. Le nombre d'erreurs diminuait lorsque les expérimentateurs donnaient un feedback aux sujets sur la qualité de leur réponse. Chose importante, malgré ces erreurs, lorsque les expérimentateurs questionnaient les sujets à propos de la règle à suivre, ces derniers répondaient correctement. Cet effet, nommé la négligence du but (« goal neglect »), fut défini comme étant la négligence des exigences d'une tâche même si celles-ci furent comprises et rappelées (Duncan et al., 1996). Le terme de négligence, ici, a toute son importance. Il ne s'agit pas d'un oubli. En effet, le but resterait stocké en mémoire à long terme mais ne serait plus présent en mémoire de travail durant la réalisation de la tâche, d'où cette négligence durant la tâche mais un rappel correct du but s'il doit être énoncé. Dans cette étude princeps (Duncan et al., 1996), les auteurs rapportèrent que les individus adultes à faible empan mnésique (faibles capacités en mémoire de travail) étaient ceux affichant plus de négligence du but, démontrant ainsi l'absence d'accessibilité du but en mémoire de travail durant la tâche. Après son identification, il semblerait donc que le but doive être maintenu actif en mémoire de travail pour pouvoir être poursuivi. En 2003, Kane et Engle rapportaient également un lien entre les capacités en mémoire de travail des adultes et la propension à négliger le but. Dans une tâche de Stroop classique où les sujets devaient dénommer la couleur de l'encre utilisée pour écrire le nom de la même couleur (essais congruents, par ex. bleu écrit en bleu) ou d'une autre couleur (essais incongruents, par ex. bleu écrit en rouge), les sujets faisaient davantage d'erreurs de dénomination sur les essais incongruents lorsque la proportion d'essais congruents/incongruents augmentait en faveur des essais congruents. Le but ainsi moins fréquemment réactivé, dû à une part plus importante d'essais congruents, a conduit les sujets à davantage le négliger. En effet, il n'était pas nécessaire de maintenir activement le but pour répondre correctement aux essais congruents. Nommer la couleur de l'encre ou lire le nom de la couleur aboutissait au même résultat dans ce type d'essais. La négligence du but était d'autant plus prononcée chez les individus à

faible empan de mémoire de travail. Un lien entre capacités en mémoire de travail et maintien du but émergeait de ces travaux.

Par la suite, Marcovitch, Boseovski, et Knapp (2007) définissaient la négligence du but comme pouvant être le fruit d'un échec de la mémoire de travail, sans toutefois écarter la possibilité d'un manque d'inhibition de la part des enfants quant au fait de poursuivre un même comportement, car ce dernier était récompensé par les réussites précédentes. Dans une tâche de type DCCS proposant deux types de conditions, une avec une majorité de cartes redondantes où le fait de trier les cartes par la forme ou la couleur aboutissait au même résultat et une autre avec une majorité de cartes conflictuelles où un seul critère de tri pouvait être appliqué pour arriver au bon résultat, les auteurs mirent en évidence que des enfants d'âge préscolaire faisaient plus d'erreurs de tri de cartes dans la condition majoritairement redondante, celle qui réactivait moins fréquemment le but en mémoire de travail, mettant ainsi en évidence le lien entre maintien du but et mémoire de travail (Marcovitch et al., 2007). Cependant, lorsque le but était rappelé avant chaque essai où un tri de cartes était à effectuer, les enfants de 4 ans faisaient moins d'erreurs de tri. Aucun effet ne fut mis en évidence chez les enfants de 5 ans dans cette situation du rappel de la règle. Trois ans plus tard, Marcovitch et ses collaborateurs (2010) ajoutèrent une mesure des capacités en mémoire de travail des sujets de 4, 5, et 6 ans. Les résultats obtenus indiquèrent un lien corrélationnel entre les performances en mémoire de travail et les erreurs commises au DCCS par les enfants de 4 et 5 ans uniquement. Ainsi, les enfants de 4 et 5 ans à fort empan mnésique (fortes capacités en mémoire de travail) faisaient moins d'erreurs de tri dans la condition majoritairement redondante que ne pouvaient le faire les enfants de 4 et 5 ans à faible empan. Les auteurs conclurent que les enfants à fortes capacités en mémoire de travail ont eu plus de succès dans le maintien du but et ajoutèrent que « la négligence du but est un sous-produit de l'inhabilité à maintenir une représentation à travers le temps et les distractions, une compétence qui se mesure directement par les tâches d'empan de mémoire de travail » (Marcovitch et al., 2010, p. 1689). Plus récemment, Yanaoka et Saito (2017) démontrèrent que des enfants de 5 ans sont capables d'effectuer une tâche d'exécution de scripts non routiniers (habiller une poupée avec des vêtements présentés dans un ordre aléatoire) qui exige ainsi le maintien d'une hiérarchie de buts, alors que cette tâche ne fut pas réussie à 4 ans sans

que l'un des sous-buts ne soit rappelé oralement par l'expérimentateur. La capacité à maintenir efficacement le but semble ainsi évoluer significativement durant la période préscolaire et cela dès l'âge de 3 ans où les enfants faisaient plus d'erreurs de distraction dans une tâche de flexibilité que des enfants de 4 ans (Chevalier & Blaye, 2008) ; les erreurs de distraction des plus jeunes étant liées au phénomène de négligence du but.

L'hypothèse de Marcovitch et de ses collaborateurs (2010), selon laquelle la négligence du but résulte d'une difficulté à maintenir le but contre les distractions et dépend des capacités en mémoire de travail, est cohérente avec le modèle de mémoire de travail de Cowan (1995, 2001). Une fois une partie du focus attentionnel capturée par des éléments interférents, le but peut alors sortir du focus, être ainsi négligé, mais rester en mémoire à long terme jusqu'à être réactivé. Pour Unsworth (2016), le but est également maintenu dans une composante de la mémoire de travail dédiée à la protection des informations contre les interférences : la mémoire primaire (« primary memory »). Selon Unsworth (2016), lorsque l'information à propos du but à poursuivre ne se trouve plus dans cette composante de mémoire primaire, elle peut être récupérée de la mémoire secondaire (« secondary memory »), en d'autres termes, de la mémoire à long terme. Cela nous mène à la vision d'Altmann et Trafton (2002) sur le rôle de l'interférence dans l'activation consciente du but. Reprenant l'idée d'Anderson d'un but qui resterait continuellement activé, Altmann et Trafton (2002) y ajoutent le rôle joué par l'interférence provoquée par d'autres buts présents dans l'environnement mais non pertinents pour la tâche en cours. L'activation du but à poursuivre doit dépasser un seuil produit par l'interférence pour être maintenu actif (*Figure 7*). Sans maintien volontaire, un déclin temporel de l'activation du but va se produire jusqu'à passer sous le seuil de l'interférence et ainsi ne plus être accessible, donc négligé. Les auteurs proposèrent l'hypothèse d'un déclin fonctionnel qui permettrait d'éviter des conduites de persévération. Enfin, Anderson et ses collaborateurs (2004) vont jusqu'à lier mémoire de travail et maintien du but en associant les deux entités en un seul concept de « mémoire du but » (« goal memory »).

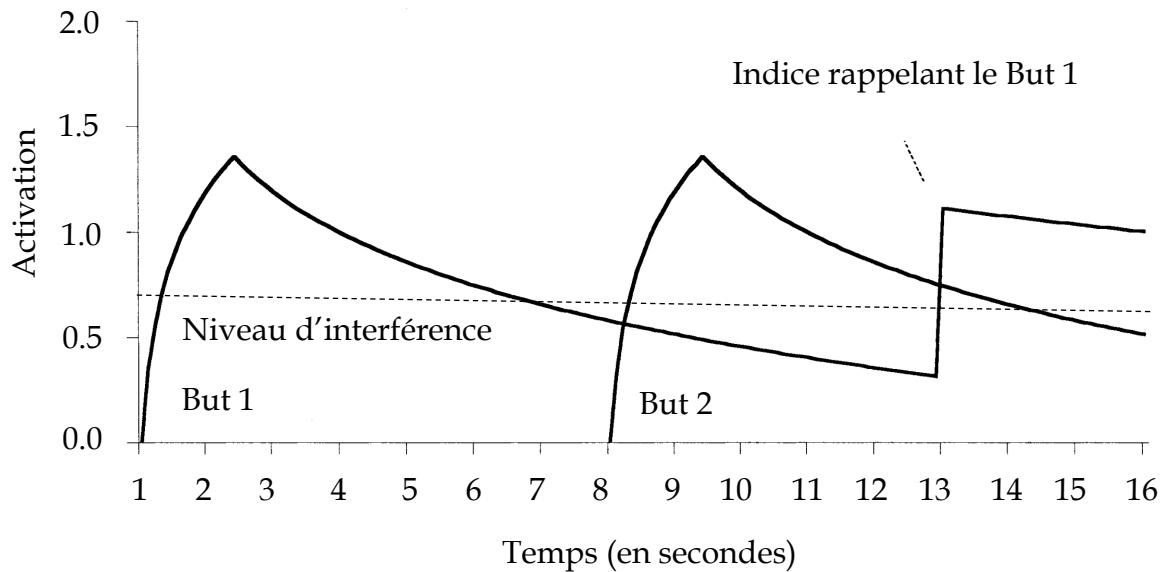


Figure 7. Représentation de l'activation temporelle des buts. Après l'activation rapide d'un but, celle-ci décline graduellement lorsque le système s'oriente vers d'autres traitements. Le But 1 est réactivé via la rencontre d'un indice lui étant associé. Les lignes pleines représentent le niveau d'activation des buts. La ligne en tirets correspond au niveau d'interférence dû aux anciens buts. Illustration inspirée d'Altmann et Trafton (2002, p. 46 et 48).

### 3.2 Aide à la gestion des buts

Outre leur rôle dans l'identification des buts, les indices environnementaux peuvent servir à étayer le maintien du but pendant la résolution d'une tâche. Pour Altmann et Trafton (2002), un indice de but permet de réactiver un but passé sous le seuil de l'interférence, le rendant ainsi plus saillant qu'un autre but devenu potentiellement non pertinent pour la tâche à réaliser (Figure 7). Toutefois, l'aide apportée par un indiçage du but varie suivant la transparence cognitive de celui-ci. L'indiçage peut présenter un lien arbitraire entre la signification qu'il véhicule et le but à poursuivre. Il peut aussi être transparent et posséder un lien beaucoup plus direct entre sa signification et le but auquel il renvoie. Ainsi, la présentation d'indices de but cognitivement plus transparents permet un meilleur maintien du but. Towse, Lewis, et Knowles (2007) démontrèrent cela en faisant varier la transparence d'indices visuels présentés à des enfants de 4 ans. La tâche consistait à orienter un personnage nommé Bobo vers une des deux maisons présentes, l'une bleue et l'autre rouge, afin de récupérer la nourriture s'y trouvant et différant suivant la maison. L'enfant nommait

ensuite la nourriture que Bobo devait récupérer. Le choix à faire était orienté grâce à un indice variant par sa transparence. Il s'agissait soit d'une flèche pointant à droite ou à gauche vers l'une des deux maisons, soit d'un carré de couleur bleu ou rouge qui indiquait la maison dans laquelle la nourriture était à récupérer en associant la couleur de l'indice avec celle de la maison. Davantage d'erreurs de dénomination de la nourriture à récupérer furent commises par les enfants de 4 ans lorsqu'un carré de couleur indiquait le choix à faire. D'après les auteurs, ce type d'indication demandait une traduction vers un but explicite (le carré rouge est une indication pour nommer la nourriture présente dans la maison rouge), alors que la flèche ne demanderait pas ce type de traduction et serait directement utilisable comme mis en évidence dans une précédente étude sur les symboles naturels et conventionnels (Hala & Russell, 2001).

L'effet de la transparence de l'indication sur l'identification du but à poursuivre fut également mis en évidence dans une étude de Chevalier et Blaye (2009) utilisant une tâche de type DCCS chez des enfants à partir de 5 ans. Les enfants d'âge préscolaire trièrent les cartes par paires plus rapidement et plus précisément lorsqu'un indice transparent était présenté (ruban de plusieurs couleurs entourant la carte à trier par la couleur), plutôt que lorsqu'un indice arbitraire était affiché (carré gris autour de la carte à trier par la couleur). Cette facilitation au tri de cartes en présence d'un indicateur transparent serait due à un travail de traduction réduit grâce à l'association sémantique présente entre l'indication par le ruban de plusieurs couleurs et la couleur des dessins sur les cartes (Chevalier et al., 2014). Dans cette étude, les auteurs varièrent également le format de l'indice en le présentant de façon auditivo-verbale transparente où le mot entendu par les enfants correspondait au nom du critère de tri à suivre : « couleur » ou « forme ». Dans cette condition, les performances des sujets se sont avérées meilleures qu'avec un indicateur visuel transparent mettant en évidence l'absence de traduction, mais aussi que le code utilisé pour stocker le but en mémoire de travail est un code verbal (Gruber & Goschke, 2004). Cet effet de transparence et de format sur la capacité à identifier correctement le but, et donc de faire preuve d'un contrôle exécutif efficace, fut obtenu lorsque les enfants devaient changer de but durant un nouvel essai et lorsque le but restait le même à un nouvel essai du moment que la liste d'essais impliquait des variations de buts. Cependant, aucun effet de la transparence ne fut obtenu lorsque la liste d'essais ne présentait aucun changement de

but à travers les essais. Il n'y avait ainsi aucune incertitude à travers les différents essais quant au but à poursuivre. Cette situation rendait le traitement de l'indice inutile (Chevalier et al., 2014, p. 10). L'effet de transparence diminue ensuite avec l'avancée en âge, jusqu'à 9 ans (Chevalier & Blaye, 2009), pour disparaître à l'âge adulte sauf dans le cas où les adultes seraient mis en situation de suppression articulatoire par une charge de la boucle phonologique (Miyake, Emerson, Padilla, & Ahn, 2004). Cet effet de suppression articulatoire permet de mettre en évidence l'importance du langage dans le maintien du but. Ce maintien se ferait sous une forme phonologique au travers d'un langage interne. L'utilisation de la répétition subvocale ne se faisant qu'à partir de 6-7 ans, l'apparition de ce mécanisme de répétition pourrait être en lien avec l'évolution, entre les âges préscolaire et scolaire, de la capacité des enfants à se représenter le but. Lucenet, Blaye, Chevalier, et Kray (2014) ont testé cette hypothèse en imposant une verbalisation du but à poursuivre à des enfants de 5 et 6 ans. Les enfants avaient soit à traduire à haute voix l'indice visuel abstrait qui leur était présenté avant d'effectuer le traitement exigé par la tâche, soit à effectuer la tâche d'alternance silencieusement dans un paradigme d'alternance de tâches indicées (voir Meiran, 1996). Les enfants verbalisant le but furent plus performants lors d'alternances de tâches que les enfants ne verbalisant pas le but. Le langage aurait donc un rôle crucial dans la gestion des buts.

La transparence des indices de buts n'influence pas que les performances en flexibilité. Celle-ci a également un impact sur les capacités d'inhibition des enfants d'âge préscolaire. Dans une épreuve de type Go/No-Go, des enfants de 4 et 5 ans avaient à dénommer des couleurs d'images présentées à l'écran suivant les instructions données par un indice visuel. Cet indice variait par sa transparence. Dans la condition où la transparence cognitive était la plus élevée, un dessin de microphone indiquait les essais Go, donc qu'il fallait nommer la couleur, et un dessin de main ouverte indiquait les essais No-Go, donc que l'enfant devait rester silencieux. Une seconde condition présentait des indices de but arbitraires, donc non transparents, avec par exemple un dessin de clef pour les essais Go et un dessin d'arbre pour les essais No-Go. En lien avec les résultats obtenus dans les études de flexibilité, les enfants de 4 ans obtinrent de meilleurs résultats lors des essais Go, où ils faisaient moins d'erreurs de dénomination dans la condition présentant des indices

transparentes, plutôt que dans la condition No-Go affichant des indices arbitraires (Blaye & Chevalier, 2011). Plus récemment, également dans une tâche de type Go/No-Go, Barker et Munakata (2015) ont mis en évidence qu'aider au maintien du but, en rappelant les instructions de la tâche pendant le délai de 2,5 secondes précédent l'exécution de la tâche, a permis d'améliorer les performances d'enfants de 3 ans lors des essais No-Go.

### 3.3 Gestion des buts, attention et structures cérébrales

Le contrôle attentionnel joue un rôle important dans la gestion des buts. Engle et ses collaborateurs (1999) proposèrent un modèle de mémoire de travail basé sur l'utilisation de l'attention comme responsable du maintien du but en mémoire de travail. Cette attention contrôlée permet également d'inhiber les distractions et les interférences risquant de perturber le maintien du but. L'importance du contrôle attentionnel dans la gestion des buts fut démontrée empiriquement dans des études employant une tâche d'anti-saccades qui exigeait de sujets adultes d'ignorer des flashes lumineux apparaissant à l'écran (Kane, Bleckley, Conway, & Engle, 2001; Unsworth, Redick, Spillers, & Brewer, 2012; Unsworth, Schrock, & Engle, 2004). Il était demandé aux participants de regarder à l'opposé de l'écran où le flash était présenté. Les auteurs rapportèrent davantage d'erreurs anti-saccade (échec de regarder ailleurs qu'à l'endroit du flash) chez des individus à faible empan de mémoire de travail. Cela met en évidence, d'une part, le lien entre capacités en mémoire de travail et capacités à maintenir le but, d'autre part, cela souligne le lien entre capacités de contrôle attentionnel et capacités mnésiques faisant ainsi le parallèle entre les capacités attentionnelles et celles de maintien du but. L'attention peut aussi être capturée par des distractions endogènes telles que le vagabondage de l'esprit (« mind-wandering »), dit aussi rêverie. Il s'agit de pensées qui ne sont pas liées à l'exigence de la tâche en cours. Ce phénomène correspond au vécu d'une expérience subjective accompagnée d'un échec à maintenir correctement le but de la tâche (Kane et al., 2007; McVay & Kane, 2009; McVay & Kane, 2012). Dans une récente étude, Elisa, Balaguer-Ballester, et Parris (2016) mirent en évidence que les individus ayant de moins bonnes capacités attentionnelles réussissaient moins bien une tâche identique à celle employée par Duncan et collaborateurs (1996). Les auteurs arguèrent que l'inattention est un bon



prédicteur de la négligence du but. Enfin, d'après Unsworth (2016), un aspect clef de l'attention contrôlée est l'habilité à maintenir actif le but et à prévenir la capture attentionnelle par des éléments distrayeurs et interférents.

Avec l'avancée en âge et l'accroissement des connexions neuronales au sein du cortex préfrontal, Morton et Munakata (2002) proposèrent que cette évolution neurologique aurait pour conséquences d'améliorer le maintien du but en mémoire de travail tout en augmentant la résistance à l'interférence. Ce modèle permet notamment d'expliquer les conduites persévératives où les enfants continuent à appliquer l'ancien but. Le modèle ACT (Anderson, 1993; Anderson, 1983) stipule également une activation perpétuelle du but tant que celui-ci n'est pas volontairement éliminé de la mémoire de travail par un mécanisme nommé « goal popping ». Le modèle de Morton et Munakata (2002) fut révisé en 2012 par Chatham, Yerys, et Munakata (2012) en y intégrant un mécanisme de mise à jour du but via les ganglions de la base ; le rôle de la dopamine sur l'activité du cortex préfrontal y fut également mis en évidence. Ainsi, le but serait stocké au sein du cortex préfrontal (Anderson et al., 2004; Miller & Cohen, 2001) et guiderait l'activité cognitive en gérant l'activation des régions cérébrales postérieures (Miller & Cohen, 2001). De fait, avec un cortex préfrontal immature et en développement chez les enfants d'âge préscolaire, le maintien du but s'avèrerait difficile pour cette population. Le rapprochement peut être fait avec une population vieillissante où l'activation du cortex préfrontal et le fonctionnement du système dopaminergique sont réduits entraînant un contrôle cognitif réactif, c'est-à-dire ne nécessitant pas le maintien du but (Braver et al., 2007). Également, Duncan et ses collaborateurs (1996) rapportèrent que ce genre de phénomène était originellement observé chez des patients cérébrolésés au niveau du cortex préfrontal. Ceci provoquait des conduites persévératives chez les patients. Un tel comportement fut rapporté dans une étude de Milner (1963) où lors de la passation du Wisconsin Card-Sorting Test les patients ne changeaient pas de règles de tri malgré le fait qu'ils rapportaient avoir fait une erreur et qu'ils savaient qu'ils devaient abandonner cette règle. De façon similaire, ce comportement fut rapporté par Luria, Karpov, et Yarbuss (1966) chez des patients frontaux qui ne parvenaient pas à suivre la règle de lever leur main à la suite d'un signal lumineux alors que ceux-ci montraient une bonne connaissance de la règle.

L'ensemble des évidences empiriques développées dans ce chapitre montrent l'importance de l'identification et du maintien du but dans le contrôle exécutif chez les plus jeunes enfants, tout en soulignant l'intérêt de disposer dans l'environnement d'indices de but explicites. La population préscolaire est plus encline à négliger le but à poursuivre que les enfants plus âgés. Les faibles performances en flexibilité et en inhibition des enfants d'âge préscolaire seraient en partie liées à la difficulté à identifier et à maintenir le but. Pour faire le lien avec les faibles performances des enfants d'âge préscolaire à des tâches de mémoire de travail, soulignons une certaine proximité entre des tâches de mémoire de travail et des tâches étudiant le contrôle exécutif. En effet, les tâches de mémoire de travail, telles que les tâches d'empan complexe ou les paradigmes de type Brown-Peterson, impliquent de gérer plusieurs buts durant la réalisation de la tâche. Le fait de devoir alterner entre le but de mémoriser et le but de traiter les informations d'une tâche concurrente entraîne d'une part de l'incertitude quant au but à poursuivre et d'autre part provoque de l'interférence dans les actions menées. Ces types de tâches légitiment, par leurs changements de buts au cours de la tâche, l'utilisation d'indices de but afin d'aider les jeunes enfants dans leur gestion des buts tout comme l'indiciage aide les enfants dans des tâches exécutives. Ainsi, nous verrons dans le chapitre suivant par quelles façons il est possible d'apporter une aide au maintien du but à des jeunes enfants impliqués dans des tâches de mémoire de travail.

## RÉSUMÉ

Centrale dans notre fonctionnement cognitif, la poursuite d'un but dirige l'ensemble de nos activités quotidiennes. Toutefois, le but peut être négligé, ce qui mène à la dégradation des performances attendues dans une tâche par l'absence de mise en place des comportements nécessaires à l'atteinte du but. Une bonne gestion des buts implique l'identification, puis le maintien actif de ceux-ci. Les jeunes enfants étant plus sensibles à la négligence du but que les plus âgés et les adultes, il est néanmoins possible de les aider à maintenir le but. Le but étant identifié via des indices environnementaux (ou via des indices endogènes au sujet), la gestion des buts chez les enfants peut être améliorée en augmentant la disponibilité et la signification des indices, ce qui se répercute sur leurs performances de contrôle exécutif. Le format de ces indices peut varier. Suivant l'âge des enfants, certains types d'indices seront plus facilement utilisables, comme c'est le cas avec un indigage visuel transparent ayant une signification accrue dans la tâche, ou bien avec un indigage auditivo-verbal ne nécessitant aucun transcodage pour être utilisé, le but étant maintenu actif sous forme phonologique.

Pour résumer et apporter une définition la plus complète possible du maintien du but regroupant les divers aspects vus dans ce chapitre, Smith (2008) propose la définition suivante : le maintien du but correspond aux « processus impliqués dans l'activation des buts ou des règles liés aux tâches cela sur la base d'indices endogènes ou exogènes, représentés activement sous une forme hautement accessible, et maintenant l'information pendant un intervalle durant lequel cette information est nécessaire pour biaiser et restreindre l'attention tout comme la sélection de réponse. » (in the Third CNTRICS I Meeting: Selecting Measures of Cognitive Constructs, définition également présente dans Barch et al., 2009, p. 111). Se retrouve dans cette définition le lien entre le but et l'attention, la nécessité d'un maintien actif du but, et l'aide apportée par les indices endogènes et exogènes. Du fait que les enfants d'âge préscolaire soient particulièrement enclins à négliger le but, influençant ainsi leur contrôle exécutif, ce travail de thèse questionne l'idée selon laquelle les faibles performances en mémoire de travail rencontrées chez les jeunes enfants seraient, elles aussi, dues à un déficit du maintien du but.

# Chapitre 4

## Maintien du but et développement de la mémoire de travail

Si le chapitre précédent traite de la gestion des buts uniquement dans le domaine du contrôle cognitif, c'est que la gestion des buts ne fut guère étudiée en dehors de ce domaine. Dans ce dernier chapitre théorique, nous allons nous focaliser sur l'influence du maintien du but sur le développement de la mémoire de travail. Pour ce faire, nous exposerons dans un premier temps deux études ayant pu favoriser le maintien du but, puis dans un second temps nous lierons l'ensemble des apports théoriques précédemment évoqués à la recherche que nous avons menée sur l'influence du maintien du but dans le développement de la mémoire de travail des enfants de 3 à 9 ans.

### 4.1 Études antérieures à nos travaux

Les études d'Istomina (1948) et de Bertrand et Camos (2015), présentées ci-après, nous éclairent sur la possibilité d'aider au maintien du but chez des enfants d'âge préscolaire durant une tâche de mémoire de travail. Chacune proposa un paradigme de type « jeu » où les enfants avaient à faire les courses en mémorisant une liste d'articles à récupérer au magasin. Nous verrons que des éléments du design expérimental ont pu indiquer le but à poursuivre pendant la réalisation de la tâche.

#### 4.1.1 L'étude princeps d'Istomina (1948)

Dans une étude originellement publiée en russe (1948, puis traduite en anglais en 1975), Istomina a cherché à déterminer les conditions sous lesquelles les enfants étaient capables de différencier des buts tels que mémoriser et rappeler. Pour ce faire, Istomina a mis en place une méthode permettant de dissocier les différentes étapes d'une tâche de mémoire tout en ayant une activité porteuse de sens, faire les courses. L'auteur précise que c'est grâce au contexte d'une telle activité signifiante que les actions de mémoriser et de rappeler peuvent avoir du sens (p. 8 et 9). L'enfant sait qu'il

doit mémoriser une liste d'items pour ensuite les rappeler et récupérer les articles correspondant une fois arrivé au magasin. Dans cette situation, il peut y avoir une extraction d'indices de but exogènes à partir de l'environnement, par exemple la vue du magasin comme indice du but à poursuivre. Un environnement qui serait ainsi davantage porteur de sens posséderait un contexte plus riche en indices de but. Cela aiderait les sujets à lier l'action à réaliser au but à poursuivre. Enfin, le choix d'une telle activité s'est fait en veillant à ce que celle-ci puisse être familière à l'enfant. Nous pouvons imaginer dans ce cadre que le but serait alors plus facilement identifiable, laissant à l'enfant davantage de ressources cognitives disponibles pouvant être allouées au maintien du but et à la réalisation de la tâche. Voilà pourquoi la tâche choisie pour respecter ces critères fut le jeu de rôle de « faire les courses ». En plus des critères préalablement cités, Istomina avance que ce jeu permet de créer une motivation à la mémorisation et au rappel chez les jeunes enfants. L'aspect motivationnel est important pour l'auteur qui fait de celui-ci l'élément permettant de créer les conditions nécessaires à l'identification et au maintien du but (p. 9).

Afin de créer un contexte signifiant, plusieurs enfants de 3 à 7 ans ont pris part en même temps au jeu. Pour augmenter la signification d'aller récupérer des articles au magasin, ce jeu de « faire les courses » était imbriqué dans un autre jeu, celui de l'école. Malgré la participation simultanée de plusieurs enfants, un seul des enfants à la fois était le sujet de l'expérience et les interactions primordiales pour l'étude furent réalisées avec les expérimentateurs adultes. La phase d'encodage était proposée par l'expérimentateur jouant le rôle du directeur de l'école et donnant à l'enfant sujet la mission d'aller acheter des choses pour l'école. Les items étaient oralement dictés à l'enfant qui prenait ensuite la direction du magasin afin de récupérer ces fournitures. Arrivé au magasin, toute une procédure était mise en place où l'enfant présentait sa permission d'acheter la nourriture (une liste contenant les items dont l'enfant n'était pas en mesure de lire le contenu compte tenu de son âge), ainsi que son argent. Il rappelait ensuite oralement et de façon sérielle les items au gérant du magasin pour revenir à l'école avec ses achats.

Dans l'objectif d'étudier l'impact motivationnel sur la mémorisation des enfants, cette condition de jeu fut comparée à une condition dite de la « leçon » se rapprochant le plus possible d'une situation de laboratoire. Le principe de la condition

de leçon fut de présenter oralement aux enfants des mots qu'ils devaient mémoriser pour les rappeler oralement à l'expérimentateur après une pause de 60 à 90 secondes. Précisons qu'il n'est pas écrit dans l'article comment est occupée cette pause. Par ailleurs, la durée de la pause semble approximative. Cela pourrait conduire à mesurer les capacités en mémoire à long terme plutôt que celles en mémoire de travail. En effet, si les informations ne sont pas maintenues actives en mémoire par un mécanisme tel que la répétition articulatoire, toute trace mnésique est perdue du stockage à court terme après 30 secondes (Atkinson & Shiffrin, 1968, p. 90 et 92). Également, le temps entre l'encodage et le rappel, dans la condition de jeu, n'est pas rapporté. Présignons que le temps présent lors de la condition leçon fut analogue à celui de la condition jeu. Enfin, cette étude fut à l'origine de nombreuses tentatives de répliques sans succès, dues à un manque de précisions méthodologiques dans l'étude originale (voir Reese, Bebko, Paris, Rogoff, & Schneider, 1999, pour une revue).

Les résultats de l'expérience indiquèrent de meilleures performances de mémorisation obtenues lors de la condition de jeu plutôt que lors de la condition de leçon. Toutefois, aucune analyse statistique ne fut rapportée et la conclusion d'une amélioration mnésique semble basée sur l'analyse des moyennes du nombre de mots rappelés suivant la condition et de leurs différences. Pour discuter ces résultats, Istomina propose, en premier lieu, l'explication du niveau de familiarité des conditions. Les moins bonnes performances obtenues dans la condition leçon seraient dues à une moindre familiarité de cette situation comparée à la condition de jeu de « faire les courses ». L'auteur explique aussi ces résultats par une composante interne aux enfants. La condition de jeu impliquerait davantage les enfants dans la tâche et permettrait ainsi d'améliorer les performances en mémoire de ceux-ci, malgré les interférences présentes dans la condition de jeu dues aux nombreuses interactions avec les autres enfants et les expérimentateurs. Quant à la condition de leçon, celle-ci ne permettait pas aux enfants d'identifier clairement le but dans le contexte présent autrement que par la demande de l'adulte à mémoriser les informations.

Ainsi, la situation de jeu augmente la motivation des enfants notamment car elle facilite l'identification et le maintien du but. L'auteur expose, dans cet article, les deux composantes d'une gestion efficace des buts grâce à des critères endogènes et exogènes. Le fait de jouer un rôle, celui d'être la personne qui va faire les courses,

permet un maintien efficace du but car « la relation entre le but et l'acte devient une relation intrinsèque » (p. 60). Ensuite, la richesse du contexte de jeu comparée à celle du contexte de leçon a certainement participé à fournir des indices exogènes de but aidant à sa gestion. Tous ces critères ont pu être déterminant dans la gestion des buts pour les plus jeunes sujets de l'étude. Istomina rapporte enfin que les enfants de 3 à 4 ans étaient sensibles à cela alors que les enfants de 6 à 7 ans semblaient avoir moins de difficultés à identifier le but (p. 49 et 59).

Cette étude princeps nous permet de faire le lien avec la gestion du but dans le domaine du contrôle exécutif. En effet, nous y retrouvons l'influence que peut avoir le contexte quant à la qualité des indices de but qu'il fournit et l'apport d'indices endogènes sur la gestion du but. Cette étude met aussi en évidence la progression développementale dans la gestion des buts. L'auteur conclut d'ailleurs son article sur le changement qualitatif qui intervient habituellement aux alentours de 6-7 ans dans l'utilisation de mécanismes de maintien de l'information, faisant ainsi de l'émergence de la « mémoire volontaire » un changement qui pourrait se produire plus précocement, c'est-à-dire au milieu de la période préscolaire, probablement grâce à une gestion efficace des buts.

Ce concept de « mémoire volontaire » mérite d'être développé. Concept émergeant de la littérature de la psychologie soviétique, la mémoire volontaire peut se définir comme étant le but d'un individu à mémoriser (Meacham, 1977, p. 282). Toutes les actions qui y sont alors liées lui sont subordonnées dans l'objectif d'atteindre ce but de mémorisation. D'après Istomina (1948/1975, p. 8), pour qu'une telle mémoire émerge lors du développement de l'enfant, il doit y avoir des éléments capables de rendre signifiant ce but de mémorisation. Cela requière que les buts aient une réalité concrète, c'est-à-dire que les opérations de mémorisation et de rappel soient conscientes et intentionnelles. Enfin, cela demande que les enfants aient à leur disposition des moyens pour effectuer les actes de rétention et de rappel de façon volontaire. Ainsi, nous pouvons faire le rapprochement avec l'émergence des mécanismes de maintien de l'information en mémoire de travail. Ce que nous rapporte Istomina à la fin de son article pourrait indiquer qu'en aidant à la gestion du but chez les enfants prenant part au jeu des courses, l'auteur aurait mis en évidence l'émergence précoce de la mémoire volontaire. En d'autres termes, aider à la gestion des buts a pu

favoriser l'utilisation de mécanismes de maintien de l'information avant l'âge de 6-7 ans. Cette hypothèse demande confirmation, notamment dans le domaine de la mémoire de travail. Avant de développer notre recherche au sein de ce domaine, intéressons-nous à une seconde étude bien plus récente ayant portée sur le rôle de l'attention dans le fonctionnement de la mémoire de travail des enfants d'âge préscolaire (Bertrand & Camos, 2015).

### 4.1.2 L'étude de Bertrand et Camos (2015)

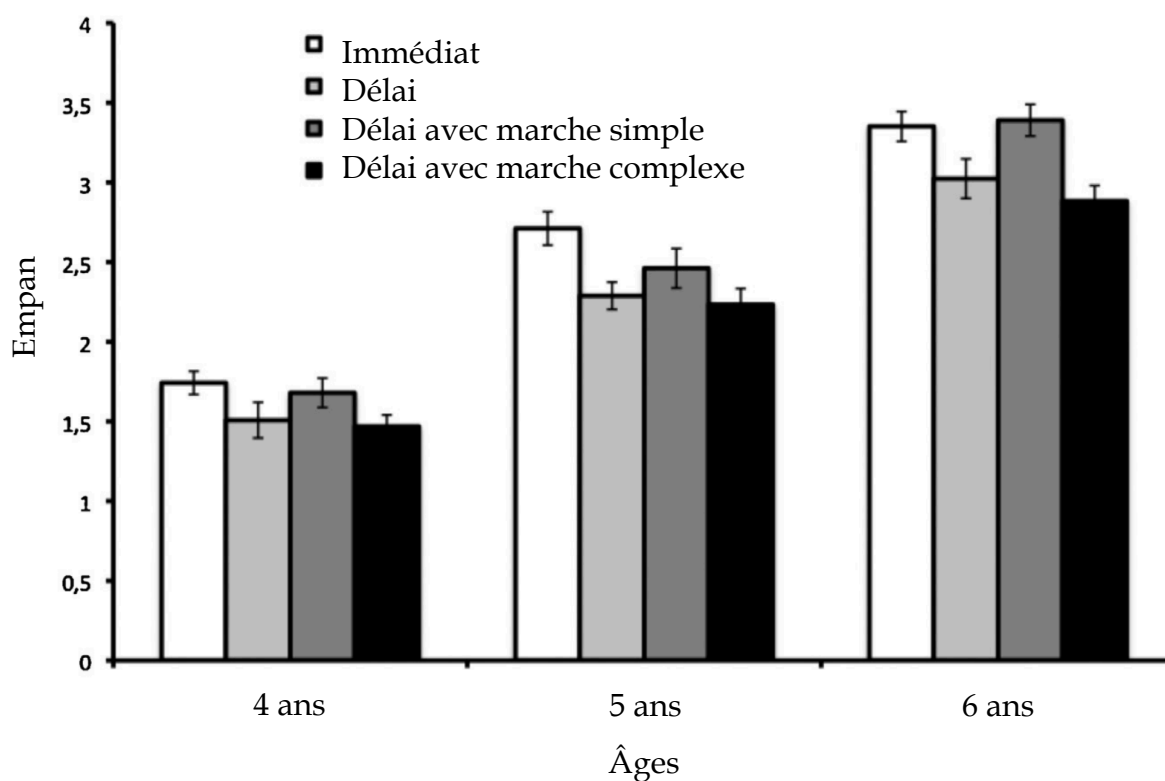
Bien que l'objectif premier de Bertrand et Camos (2015) fut d'étudier l'émergence de mécanismes de maintien de l'information en mémoire de travail, tout en faisant varier la charge attentionnelle, les auteurs obtinrent des résultats inattendus les menant à se questionner sur le rôle potentiel qu'aurait pu jouer le contexte de la tâche dans l'aide au maintien du but. Bertrand et Camos (2015) utilisèrent une tâche proche de celle employée par Istomina (1948/1975), celle du jeu des courses. En utilisant cette tâche, les auteurs avaient notamment pour objectif de faire varier la demande attentionnelle sans avoir recours à une tâche demandant le maintien d'informations additionnelles, ce qui aurait pu avoir pour conséquence de dégrader les performances en mémoire de travail sans pour autant que cela soit dû à une augmentation de la charge attentionnelle (p. 16). Ainsi, pour faire varier la demande attentionnelle, le jeu des courses fut décliné en plusieurs conditions. Une condition proposait aux enfants de rester assis face au magasin pendant un délai de quelques secondes avant de procéder à la phase de rappel. Une autre condition augmentait la charge attentionnelle en faisant marcher les enfants en direction du magasin. Enfin, la condition proposant la plus forte charge attentionnelle demandait aux enfants de marcher vers le magasin en sautant sur des pads disposés au sol.

Cette variation de la demande attentionnelle avait pour objectif de déterminer à partir de quel âge les enfants commençaient à utiliser un mécanisme de rafraîchissement attentionnel. En l'absence de différence en termes de performances en mémoire de travail dans les trois conditions faisant varier la demande attentionnelle, cela permettrait de conclure en l'absence d'utilisation d'un mécanisme de rafraîchissement avant l'âge de 7 ans. Outre les trois précédentes conditions présentées, une quatrième condition ne proposait ni charge attentionnelle (enfants



assis) ni délai entre les phases d'encodage et de rappel. L'observation d'une augmentation des performances en mémoire de travail était attendue dans cette condition sans délai, ceci en lien avec la théorie du déclin temporel des traces mnésiques. Par contre, si les enfants d'âge préscolaire sont en mesure de mettre en place un mécanisme de rafraîchissement attentionnel, leurs performances mnésiques ne seraient plus influençables par la modulation du délai post-encodage mais deviendraient sensibles à la variation du coût cognitif.

Contrairement aux prédictions des auteurs, les enfants de 4 à 6 ans ont obtenu de meilleures performances en mémoire de travail dans la condition de marche directe vers le magasin, comparé aux conditions d'attente devant le magasin et de marche complexe vers celui-ci. De plus, aucune différence significative ne fut rapportée entre les performances de marche directe vers le magasin et la condition sans délai (*Figure 8*).



*Figure 8.* Empan moyen suivant l'âge et la condition de rappel dans l'Expérience 2 de Bertrand et Camos (2015). Les barres verticales représentent l'erreur type.

Une des hypothèses interprétatives avancées par les auteurs, qui nous intéresse plus particulièrement ici, est la possibilité que la présence du magasin ait pu aider au maintien du but chez les enfants d'âge préscolaire. En effet, cette hypothèse est concordante avec les travaux d'Istomina (1948/1975) et la littérature du domaine de la gestion des buts dans le développement du contrôle exécutif. Pour tester cette hypothèse, les auteurs ont par la suite occulté par un écran la vue sur le magasin pendant que les enfants se rendaient vers celui-ci. Cette occultation n'a eu aucun effet sur les performances en mémoire de travail. Les enfants ne furent pas meilleurs dans la condition qui permettait de voir le magasin lorsqu'ils s'y rendaient. On pourrait en conclure que la vision du magasin n'était pas utilisée par les enfants comme un indiciage exogène du but. Toutefois, l'écran a pu devenir à son tour un indice de but, mais moins transparent, car les enfants savaient qu'ils allaient trouver le magasin derrière celui-ci. De ce fait, l'indiciage du but était présent dans les deux conditions et seule la transparence variait. Pourtant, s'il ne s'agissait que d'une variation de la transparence, la vue sur le magasin étant un indice transparent et la vue sur l'écran un indice arbitraire, celle-ci ne semble pas avoir impacté les performances en mémoire de travail des enfants. Ces résultats seraient contradictoires à ceux précédemment obtenus dans l'étude du fonctionnement exécutif (Blaye & Chevalier, 2011; Chevalier & Blaye, 2009; Towse et al., 2007). Toutefois, un autre type d'indiciage a pu avoir un impact sur le fonctionnement de la mémoire de travail des jeunes enfants : celui de jouer un rôle en se rendant vers le magasin, comme cela fut avancé par Istomina (1948/1975).

### 4.1.3 Similarités entre les deux études

Bien que ces deux études varient fortement suivant certains critères méthodologiques, dans l'étude de Bertrand et Camos (2015) les expérimentateurs ou les autres enfants n'influençaient pas les mesures de mémoire de travail comme ça pouvait être le cas dans l'étude d'Istomina (1948/1975), la conclusion est similaire : la procédure employée a pu aider à la gestion des buts. Ces deux études ont également les points communs suivants. Les enfants marchaient vers le magasin, avec un sac de course en main, tout en voyant le magasin. Un expérimentateur jouait le rôle de l'employé du magasin et un autre celui proposant la liste de courses à récupérer. Les

enfants devaient récupérer les items à la fin de la procédure soit directement dans l'étude de Bertrand et Camos en les prenant dans une boîte, soit en les demandant à l'employé du magasin dans l'étude d'Istomina. Enfin, le rappel se faisait de façon sérielle dans les deux études. L'ensemble de ces points communs démontrent l'utilisation d'un environnement riche en informations contextuelles, ce qui a pu aider les enfants à identifier et maintenir efficacement le but de mémoriser. Ainsi, dans ces deux études, l'amélioration des performances en mémoire chez les enfants d'âge préscolaire pourrait provenir d'un enrichissement du contexte de la tâche en indices de but. Ces procédures ont également permis de mettre en acte le jeu grâce au rôle joué par les enfants en leur fournissant des indices endogènes quant au but à suivre. Il semblerait donc qu'au moins une de ces caractéristiques a aidé les enfants à gérer leurs buts. Ces deux études sont à considérer comme le point de départ des recherches sur l'influence de la gestion des buts dans le développement de la mémoire de travail des jeunes enfants et comme étant à l'origine de nos travaux.

## 4.2 Notre recherche : présentation

Nous proposons, dans ce travail de thèse, de dissocier l'ensemble des éléments pouvant impacter la gestion des buts. Dans le Chapitre 5 ouvrant la partie empirique de cette thèse, nous nous sommes intéressés uniquement au rôle que pourraient jouer les indices de but exogènes en faisant notamment varier leurs formats. Dans le Chapitre 6, nous avons analysé quel pouvait être l'apport d'une gestuelle porteuse de sens par rapport au but, c'est-à-dire d'un indiçage endogène associé à un indiçage exogène. Enfin, dans le Chapitre 7, nous sommes revenus à la situation de jeu d'Istomina et de Bertrand et Camos mais en dissociant l'influence endogène de celle exogène et en faisant varier le type de rappel. Ces trois chapitres sont présentés plus en détails dans le point suivant.

### 4.2.1 L'indiçage exogène

Notre recherche prend comme point de départ la transposition de la méthode utilisée pour l'étude de la gestion du but dans le développement du contrôle exécutif au domaine du développement de la mémoire de travail. *Notre premier objectif fut de déterminer si le maintien du but est tout aussi crucial lors du développement de la mémoire de travail qu'il l'est dans le développement du contrôle exécutif.* Au cours de l'ensemble des

expériences rapportées dans le Chapitre 5, mais aussi dans les suivants, il sera davantage question d'une aide au maintien du but plutôt que d'une aide à son identification. En effet, les paradigmes d'évaluation de la mémoire de travail, même s'ils présentent deux tâches distinctes (mémoriser et réaliser la tâche concurrente), ont pour but principal de conserver les informations en mémoire. Ils diffèrent ainsi des tâches évaluant les fonctions exécutives qui proposent des buts ayant un même niveau hiérarchique ; par exemple, dans une tâche de tri de cartes (DCCS), lors d'un même essai les cartes peuvent être appariées soit en triant les cartes par la couleur, soit par la forme. Ainsi, en étudiant principalement l'aide au maintien et non pas l'aide à l'identification, nous avons en grande majorité employé des tâches construites sur la base d'un paradigme de type Brown-Peterson (dans sept expériences sur un total de neuf) où l'alternance entre les deux buts restait faible. En effet, cette alternance entre le but de mémoriser et celui de traiter la tâche concurrente n'intervient que deux fois, une fois après l'encodage et une fois avant le rappel. De ce fait, il s'agissait d'aider les enfants à maintenir actif le but en mémoire de travail pendant qu'ils réalisaient la tâche concurrente du paradigme de type Brown-Peterson, les aidant ainsi à lutter contre l'interférence. Cette interférence produite par la tâche concurrente pouvant effectivement dégrader le maintien du but principal. En apportant un support, cette interférence pourrait être réduite.

Pour étudier le rôle du maintien du but dans le développement de la mémoire de travail, dans le Chapitre 5, un indice de but exogène a été présenté durant la réalisation de tâches de mémoire de travail où les enfants avaient à mémoriser des listes de noms d'animaux et d'objets, ou des couleurs. Cet indice était de format visuel ou auditivo-verbal et son temps de présentation fut manipulé. Nos prédictions, quant à l'aide au maintien du but pouvant être apportée par ces types d'indices, découlent des études faites dans le domaine du développement du contrôle exécutif (Blaye & Chevalier, 2011; Chevalier & Blaye, 2009; Duncan et al., 1996; Towse et al., 2007). Dans le Chapitre 5, les Expériences 1, 2a et 2b sont présentées sous la forme d'un article qui a été soumis (Fitamen, Blaye, & Camos, 2018) et constituent l'Étude 1. L'Expérience 1 a permis d'étudier l'impact de la présentation d'un indice visuel transparent de but, lors de la tâche concurrente (nommer la couleur de smileys) dans un paradigme de type Brown-Peterson, sur les performances en mémoire de travail d'enfants de 6 et

9 ans. Dans l'Expérience 2a, le temps de présentation de cet indice visuel fut allongé et une mesure directe de l'utilisation du mécanisme de répétition chez des enfants de 6 ans a été ajoutée. *Le second objectif de ce travail de thèse fut de mettre en évidence si l'activation et l'utilisation de mécanismes de maintien de l'information en mémoire de travail pourraient être liées à la capacité de maintien du but des enfants d'âge préscolaire, et si en aidant au maintien du but, de tels mécanismes pourraient être employés avant l'âge de 6-7 ans.* Une telle hypothèse est notamment soutenue par le fait que le but, une fois maintenu actif, engendre divers comportements tels que le fait : « de diriger l'attention ou l'action, de mobiliser la dépense énergétique ou l'effort, de prolonger l'effort dans le temps (persistance), et [surtout] de motiver l'individu à développer des stratégies pertinentes pour atteindre ses objectifs » (Locke, Shaw, Saari, & Latham, 1981, p. 145). Ainsi, même si l'augmentation des performances en mémoire de travail est un indicateur d'une utilisation de mécanismes de maintien de l'information, dans certains cas (lorsque des stratégies sont nouvellement employées, voir Siegler, 1996) l'utilisation de ces mécanismes ne se traduit pas par une amélioration quantitative des performances en mémoire. Enfin, l'Expérience 2b proposait un changement de format de l'indice passant d'un format visuel transparent à un format auditivo-verbal, chez des enfants de 6 ans.

En complément de cette première étude, deux expériences additionnelles sont rapportées dans le Chapitre 5. L'Expérience 3 proposait à des enfants de 4 et 5 ans une procédure similaire à l'Expérience 1 à la différence près qu'aucune tâche concurrente ne devait être effectuée lors du délai post-encodage. L'Expérience 4 boucle le Chapitre 5 en testant l'hypothèse d'un possible biais méthodologique qui pourrait expliquer les résultats des précédentes expériences. Dans L'Expérience 4 impliquant des enfants de 5 et 6 ans, l'indiçage visuel utilisé dans les Expériences 1, 2a et 3 fut remplacé par une représentation visuelle et concrète des positions sérielles des items. Cette représentation des positions sérielles des items était un élément du matériel employé dans les expériences précédentes. Il avait pour fonction d'aider les enfants à effectuer leur rappel sériel. Ce matériel prenait la forme d'une bandelette de papier affichant un nombre de case égal au nombre d'items devant être mémorisés, puis rappelé. Nous avons émis l'hypothèse que cette bandelette, par sa présence constante durant la réalisation des tâches des Expériences 1, 2a et 2b, a pu prendre pour rôle

l'aide au maintien du but. C'est ce qui fut testé dans l'Expérience 4 en manipulant la présence de cette bandelette dans une tâche d'empan complexe.

#### 4.2.2 L'indiciage exogène associé à un indiciage endogène

Deux expériences sont rapportées dans le Chapitre 6. Dans ces deux expériences, la méthodologie utilisée intégrait à la fois la présentation d'un indiciage exogène de but et la réalisation d'une gestuelle porteuse de sens. L'intérêt d'associer ces deux méthodologies fut notamment d'augmenter la signification de l'indiciage exogène par une composante endogène, celle de la gestuelle faite par le sujet. La littérature portant sur l'effet de la gestuelle en mémoire de travail a mis en évidence l'importance de mettre en place une gestuelle ayant du sens par rapport à la tâche réalisée (Cook et al., 2012; Igualada et al., 2017; So et al., 2012). C'est grâce à cette signification accrue que les enfants d'âge préscolaire eurent de meilleurs résultats de mémoire (Igualada et al., 2017; So et al., 2012). Produire une gestuelle aurait pour effet de libérer des ressources cognitives pouvant être recrutées par les exigences de la tâche (Goldin-Meadow et al., 2001). Enfin, comme rapporté par Igualada et ses collaborateurs (2017), la gestuelle permettrait une focalisation attentionnelle sur l'élément mis en évidence par les gestes, et nous savons que le maintien du but nécessite de l'attention (Elisa et al., 2016). De ce fait, il s'agissait, dans les deux expériences rapportées dans le Chapitre 6, d'orienter l'attention du sujet sur l'indiciage exogène du but, mais aussi sur l'atteinte de ce but par une gestuelle orientée vers celui-ci. Le fait d'orienter l'attention des sujets sur le but à atteindre avait aussi pour intérêt d'explorer les possibilités de réponse au questionnement méthodologique apparu dans le Chapitre 5. Les enfants de moins de 7 ans traitent principalement un indice environnemental de façon réactive, c'est-à-dire en réponse immédiate au stimulus, alors que les enfants plus âgés (de plus de 7 ans) utilisent un contrôle majoritairement proactif (Chatham, Frank, & Munakata, 2009; Lucenet & Blaye, 2014; Munakata, Snyder, & Chatham, 2012). Ainsi, l'indiciage tel qu'il fut présenté dans les expériences du Chapitre 5 a pu ne pas être utilisé par des enfants employant un contrôle majoritairement réactif. Cependant, même si les enfants d'âge préscolaire utilisent un contrôle majoritairement réactif, ils peuvent utiliser un mode de contrôle proactif s'ils sont encouragés à le faire, notamment dès 5 ans (Chevalier, Martis, Curran, &

Munakata, 2015). C'est ce que nous avons encouragé en orientant l'attention des enfants d'âge préscolaire vers le but à atteindre, par association d'un indiçage exogène à un indiçage endogène.

Pour ce faire, dans l'Expérience 5, nous avons lors du délai d'un paradigme de type Brown-Peterson demandé à des enfants de 4 et 5 ans de suivre du doigt, sur un écran d'ordinateur, le déplacement d'un indice exogène de but ayant du sens dans l'expérience proposée. Cet indice avait un mouvement orienté vers le but qui, lorsqu'il était atteint, signalait le début de la phase de rappel. Tout ceci augmentait la richesse contextuelle en fournissant davantage d'indices de buts, exogènes et endogènes, par la gestuelle orientée vers le but. Nous avons pour hypothèse qu'en aidant les enfants avec une représentation multimodale du but, cela serait bénéfique à leur maintien du but, améliorant ainsi leurs performances en mémoire de travail. Dans l'Expérience 6, nous avons légèrement modifié notre méthodologie en rendant le déplacement de l'indice effectif par l'action gestuelle de l'enfant, c'est-à-dire que les enfants de 4 et 5 ans ne se contentaient plus de suivre du doigt le déplacement automatique de l'indice mais devaient agir, via un écran tactile, pour mener cet indice vers le but à atteindre et procéder au rappel des items. L'intérêt de ce changement méthodologique résida, d'une part, dans une augmentation de la signification de la gestuelle. D'autre part, il s'agissait de réduire les coûts cognitifs imputés au contrôle moteur dans le suivi de l'indice qui auraient pu expliquer les résultats divergents obtenus dans les deux groupes d'âges de l'Expérience 5.

### 4.2.3 Indiçage et jeu de rôle

Le Chapitre 7 présente deux expériences inspirées des études d'Istomina (1948/1975) et de Bertrand et Camos (2015). Les résultats rapportés des sept précédentes expériences nous ont mené à nous questionner sur l'effet de l'aide au maintien du but dans le développement de la mémoire de travail des enfants d'âge préscolaire. Compte tenu des éléments empiriques précédemment obtenus et des éléments de la littérature exposés dans le Chapitre 4, l'aide au maintien du but dans le domaine du développement de la mémoire de travail pourrait provenir d'un ensemble de facteurs exogènes, endogènes et incarnés (via le jeu de rôle). Nous avons, dans le Chapitre 7, rassemblé l'ensemble de ces facteurs pour en étudier le maintien du but.

Toutefois, nous avons pris soin de dissocier ces différents facteurs. Dans l'Expérience 7, nous avons repris la méthodologie de Bertrand et Camos (2015) mais en ajoutant des conditions qui dissociaient la marche (indiçage endogène) de la présence du magasin (indiçage exogène). Ainsi, des enfants de 5, 6 et 7 ans ont pris part à quatre conditions expérimentales différentes. Dans deux conditions, nous proposons une méthodologie similaire à celle de Bertrand et Camos (2015) en faisant soit attendre les enfants devant le magasin (indiçage exogène), soit en les faisant marcher vers celui-ci (indiçage exogène et endogène). De plus, nous avons créé deux nouvelles conditions dissociant ainsi l'indiçage endogène de l'indiçage exogène en demandant aux enfants de marcher droit devant eux alors qu'aucun magasin n'était présent. Dans ce cas subsistait un indiçage endogène dû au fait que les enfants pourraient être capables d'associer une rythmicité de marche au moment où le rappel aura lieu. Ils pourraient aussi être capables d'associer un endroit de la salle qu'ils atteindraient fréquemment à l'issue du délai de marche (Dauvier et al., 2012) et juste avant de procéder au rappel. Enfin, une dernière condition ne devait proposer aucun des deux types d'indiçage en n'autorisant ni déplacement des enfants ni présence du magasin.

Enfin, l'Expérience 8, où des enfants de 5 ans furent testés, avait pour objectif de répondre à un questionnaire apparu suite à l'Expérience 7 et aux divergences de résultats avec les études d'Istomina et de Bertrand et Camos. Nous relevions, dans le Chapitre 4, que l'étude d'Istomina semblait davantage mesurer les capacités en mémoire à long terme plutôt que celles de mémoire de travail car le délai entre l'encodage et le rappel des informations était relativement long. Dans l'étude de Bertrand et Camos, la phase de rappel proposait aux enfants de reconstruire la trace mnésique dans une tâche de reconstruction. Ce type de tâche s'apparenterait davantage à une tâche de rappel de mémoire à long terme car elle n'encouragerait pas les sujets à maintenir activement les items. Notre hypothèse était que, dans ces deux études, le but a pu être négligé. La raison de cette négligence proviendrait du fait que, premièrement, dans l'étude d'Istomina le délai post-encodage fut conséquent et les interférences nombreuses, deuxièmement, dans l'étude de Bertrand et Camos les enfants ont pu ne pas mettre en place de mécanismes de maintien de l'information car ils savaient que les items leurs seraient représentés lors de la phase de rappel. Ainsi,



nous supposons que dans la condition où les enfants devaient se rendre au magasin, l'addition de tous les facteurs aidant au maintien du but a permis aux enfants de récupérer le but négligé et améliorer ainsi leurs performances mnésiques. L'absence d'effet d'aide au maintien du but dans l'Expérience 7 viendrait donc du type de rappel proposé. Un rappel oral sériel aurait encouragé les enfants à mettre en place des mécanismes de maintien de l'information, conservant ainsi actif le but de la tâche et conduisant à une baisse des performances de rappel dans les conditions de double tâche. Pour résumer, le type de rappel utilisé influencerait la propension à négliger le but, négligence qui pourrait être plus importante dans des tâches permettant une récupération de l'information stockée en mémoire à long terme. Le Tableau 1 résume l'ensemble des neuf expériences présentes dans cette thèse.

## 4.2.4 Tableau récapitulatif des expériences

Tableau 1. Résumé des neuf expériences présentes dans cette thèse.

Chapitre	Étude	Exp.	Âges (ans)	Nombre d'enfants testés (inclus dans les analyses)	Type d'indiciage	Indice	Plan	Tâche
Chapitre 5	1	1	6 9	52 (45)	Exogène	Visuel transparent	VI Intra-sujets : Indice Sans / Avec	Brown-Peterson
		2a	6	26 (25)		Visuel transparent avec temps de présentation étendu		
		2b	6	34 (33)		Auditivo-verbal		
		3	4 5	54		Visuel transparent	VIs Inter-sujets : Indice Sans / Avec Charge cognitive Faible / Forte	Empan simple avec délai
		4	5 6	93 (92)		Visuel non transparent		Empan complexe
Chapitre 6		5	4 5	170 (157)	Exogène associé à Endogène	Visuel transparent + Gestuelle	VIs Inter-sujets : Indice visuel Sans / Avec Gestuelle Sans / Avec	
		6	4 5	66 (62)		Visuel transparent + Gestuelle avec action sur la forme		
Chapitre 7		7	5 6 7	252 (212)	Jeu de rôle	Jeu de rôle : Indice visuel + Marche	VI intra-sujets : Marche Sans / Avec VI inter-sujets : Indice visuel Sans / Avec	Brown-Peterson
		8	5	62 (59)		Jeu de rôle + Manipulation du type de rappel		

# PARTIE EXPÉRIMENTALE

---

# Chapitre 5

## L'indiciage exogène

Ce chapitre présente, dans un premier temps, trois expériences regroupées dans un article soumis (Fitamen et al., 2018). Dans un second temps, seront développées deux expériences permettant de répondre à des considérations méthodologiques soulevées en réaction aux évidences empiriques rapportées dans cet article.

### 5.1 Étude 1 : The roal of goal cueing in kindergarteners' working memory

#### 5.1.1 Résumé

Il a été démontré que la négligence du but contribuait au faible contrôle exécutif des enfants d'âge préscolaire. Toutefois, présenter des indices de but durant une tâche améliore les performances des enfants dans des tâches d'inhibition et de flexibilité. La présente étude avait pour objectif d'étendre ces résultats à la mémoire de travail (MDT) en examinant dans quelle mesure les faibles performances en MDT des enfants d'âge préscolaire peuvent résulter de la négligence du but de rappeler les items mémorisés à la fin de l'intervalle de rétention. Cette question a été traitée en introduisant des indices de but de format visuel (Exp. 1 et 2a) ou auditivo-verbal (Exp. 2b) durant l'intervalle de rétention d'un paradigme de type Brown-Peterson. Les résultats n'ont montré aucune évidence d'amélioration du rappel pour aucun indice. Cependant, les enfants d'âge préscolaire répétaient plus souvent en présence d'un indice de but visuel, alors que le rappel était altéré par la présentation d'un indice de but auditivo-verbal. Ces résultats suggèrent que l'introduction d'un indice de but dans l'intervalle de rétention d'une tâche de MDT déclenche l'utilisation de la répétition chez les enfants d'âge préscolaire, bien que n'en démontrant aucun avantage sur les performances en MDT. Ces évidences contrastent fortement avec les résultats d'autres tâches de contrôle exécutif. Nous discutons des raisons pour lesquelles les indices de

but n'ont pas réussi à améliorer les performances en MDT des enfants d'âge préscolaire.

**Mots Clefs :** Mémoire de Travail, Indice de But, Enfants d'Âge Préscolaire, Répétition, Négligence du But

### 5.1.2 Abstract

Goal neglect has been shown to contribute to kindergarteners' poor executive control. Hence, presenting goal cues during a task improve children's performance in inhibition and switching tasks. The current study aimed at extending these findings to working memory (WM) by examining the extent to which kindergarteners' poor WM performance can result from neglecting the goal to recall memoranda at the end of the retention interval. This question was addressed by introducing goal cues, either visual (Exp. 1 and 2a) or auditory-verbal (Exp. 2b), during the retention interval in a Brown-Peterson task. Results showed no evidence of recall improvement for any cue. However, kindergarteners rehearsed more often in the presence of a visual goal cue, while recall was impaired with the presentation of an auditory-verbal goal cue. This suggests that introducing a goal cue in the retention interval of a WM task triggers the use of rehearsal in kindergarteners, albeit without any benefit on WM performance. This contrasts sharply with findings on other executive control tasks. Reasons why goal cues failed improving kindergarteners' WM performance are discussed.

**Keywords:** Working Memory, Goal Cue, Kindergarteners, Rehearsal, Goal Neglect

### 5.1.3 Introduction

Working memory (WM) maintains and updates information while using it to achieve a task (Baddeley & Hitch, 1974). As such, it is often considered as the hub of the human cognitive system (Haberlandt, 1997), and is strongly related to fluid intelligence (Unsworth, Fukuda, Awh, & Vogel, 2014). It is also a good predictor of the academic achievement in children (see Gathercole, Lamont, & Alloway, 2006, for review), and the age-related increase in WM capacity throughout childhood is considered as a major source of cognitive development (see Camos & Barrouillet, 2018, for review; Swanson, 1996, 1999, 2017). However, despite the fact it has been largely

studied in adults, many aspects of WM functioning remain obscure, especially in early childhood. For example, kindergarteners have particularly low WM performance, and multiple sources have been mentioned in the literature to account for their poorer recall (Camos & Barrouillet, 2018; Cowan, 2014; Cowan, Saults, & Elliott, 2002). Inspired by the research in executive control, the present study aimed at exploring one particular process that was poorly examined in WM and that may be responsible for the low WM performance exhibited by kindergarteners.

The executive control literature has shown that kindergarteners have difficulty in maintaining the task goal sufficiently active (e.g., Chevalier & Blaye, 2008; Morton & Munakata, 2002) to guide task completion, a phenomenon identified as goal neglect (Duncan et al., 1996). Goal neglect impairs their achievement in cognitive tasks. Although the role of goal maintenance has been evidenced in different executive control tasks, this was not examined in WM. However, it should particularly impact WM tasks, because in the most used WM paradigms, complex span and Brown-Peterson tasks, the memorization of items is performed while doing a concurrent task. This provides a context especially prone to forgetting the primary goal of memorization, because it can compete with the goal of the secondary task. Thus, as it was observed in task-switching paradigms or inhibition tasks, providing goal cues should help kindergarteners maintaining the purpose of the WM task (i.e., memorizing items), leading to an improvement of their recall performance. Before describing in more details the present study, we briefly expose the development of WM mechanisms and the previous studies in executive control in which the effect of goal cues were evidenced.

### 5.1.3.1 Development of working memory maintenance

Many studies in early childhood were inspired by Baddeley's (1986) multi-component model and concluded that the age-related improvement in WM results from a qualitative change in maintenance strategies. Whereas the memorization in WM is thought to be essentially visual in early childhood (Baker-Ward, Ornstein, & Holden, 1984), a verbal mechanism, named articulatory rehearsal, appears at 6 or 7 years of age (Barrouillet, Gavens, Vergauwe, Gaillard, & Camos, 2009; Gathercole & Adams, 1993; Hitch & Halliday, 1983; Oftung & Camos, 2016). This qualitative

change is evidenced by the significant correlation observed between speech rate and memory span from 7 years onwards, and not before this age (Gathercole & Adams, 1993). Furthermore, children after 7 are sensitive to the length of the memory words and to the phonological similarity between memory items. The two effects index the use of the articulatory rehearsal strategy (Henry et al., 2012). Nevertheless, recent findings questioned this qualitative shift to rehearsal, and proposed that children younger than 7 are able to use rehearsal (Henry et al., 2012; Jarrold & Tam, 2011; Jarrold & Citroën, 2013; Tam, Jarrold, Baddeley, & Sabatos-DeVito, 2010). Despite the current debate about the age at which rehearsal may be available to young children, a similar qualitative change has been evoked for another WM maintenance mechanism.

Mostly based on research in adults, it has been shown that attention can be used to reactivate memory items in WM (Barrouillet, Bernardin, & Camos, 2004; Barrouillet, Bernardin, Portrat, Vergauwe, & Camos, 2007; Cowan, 1999; Johnson, 1992). This mechanism named attentional refreshing would be constrained by the availability of attention, and as a consequence, any increase in attentional demand induced by a concurrent task would reduce recall performance. This is what was observed in adults as well as in children older than 7 (e.g., Barrouillet & Camos, 2012). However, before 7, varying the attentional demand of the concurrent activity does not impact children's recall. This latter finding has been interpreted as reflecting the lack of refreshing use in kindergarteners (Barrouillet et al., 2009; Camos & Barrouillet, 2011), reintroducing that (at least) part of the poor WM capacity in kindergarteners compared to older children results from a lack of use of maintenance strategies. To summarize, an important source of WM development stands on the emergence of maintenance strategies. These strategies, like rehearsal and refreshing, would appear around 7 and this qualitative change would account for kindergarteners' poor recall performance. However, a recent study questions the fact that kindergarteners are not able to use refreshing, suggesting that other factors are into play to account for kindergarteners' WM performance.

Bertrand and Camos (2015) examined the impact of concurrent attentional demand on WM recall in kindergarteners. In a game-like WM task called the shopping span task, children had to memorize series of plastic fruits to recall it by reconstructing the series with their own fruits after a short (4 sec) retention interval. Depending on

the experimental conditions, attention was more or less distracted away from maintenance during the retention interval. Indeed, kindergarteners were either sit in the front of a toy grocery shop waiting until the end of the retention interval (i.e., an unfilled interval), or they had to walk straight toward the shop or following a complex walk. While the former condition preserved attention for maintenance, the walk in the two latter conditions required attention (Cherng, Liang, Chen, & Chen, 2009; Cherng, Liang, Hwang, & Chen, 2007; Whittall, 1991), the demand of which being even higher in the more complex walk. The authors hypothesized that only children able to use refreshing should be sensitive to such variations in concurrent attention demand. Thus, based on previous studies, the kindergarteners in Bertrand and Camos' (2015) study should not to be sensitive to these variations, due to their lack in refreshing use. In accordance with this prediction, kindergarteners' recall performance did not differ between the unfilled interval and the complex walk conditions, despite the fact that the two conditions were the two most contrasted conditions in terms of availability of attention for maintenance. However, the simple walk condition (i.e., walking straight to the shop), in which attention was less available for maintenance than in the unfilled interval condition, resulted in improved recall performance. In other words, introducing a moderately attention-demanding task such an easy walk improved kindergarteners' performance in a WM task. This finding replicated in two experiments and in three age groups was the most surprising. Inspired by the literature on goal maintenance, the authors proposed that the toy grocery shop provides a goal cue that helped kindergarteners to maintain their goal during the retention interval, which favoured the activation of maintenance strategies and improved WM recall performance. When children did a complex walk to reach the toy shop, this attention-demanding task distracts part of the attention away from maintenance, leading to poorer recall performance than in the simple walk. Hence, this could be considered as an indirect evidence that kindergarteners were using attentional refreshing to maintain information during the retention interval, contrary to the general idea that kindergarteners cannot initiate maintenance strategies.

To summarize, one of the main sources to account for the developmental difference in WM between kindergarteners and older children is the absence of use of some maintenance strategies in younger children. However, when the goal of the WM



task is cued during the retention delay, kindergarteners seem to be able to use maintenance strategies, which boost their recall performance. As observed in other executive control tasks, these young children may neglect the goal, which impairs the triggering of maintenance strategies. Hence, more than a qualitative change in strategies use, differences in goal maintenance may account for the age-related difference in WM. Previous studies examined this issue in other executive control tasks.

### 5.1.3.2 Goal maintenance in executive control tasks

Executive control is “defined as the ability to regulate, coordinate, and guide one’s thoughts and behaviours toward goals.” (Lucenet & Blaye, 2014; see also Hughes, 2011; Zelazo et al., 1997). Hence, to correctly accomplish a task requiring executive control, the management of the goals is essential and requires an identification of the goals and their active maintenance throughout the task. A lot of research focused on the development of executive control during childhood (see Diamond, 2013; Zelazo & Carlson, 2012, for review), but few have examined goal management (see Chevalier, 2015, for a review) and goal neglect in kindergarteners. A few studies suggest that kindergarteners are particularly prone to goal neglect (Marcovitch, Boseovski, & Knapp, 2007; Marcovitch, Boseovski, Knapp, & Kane, 2010; Towse, Lewis, & Knowles, 2007). This is not unexpected considering that goal information is maintained in the prefrontal cortex (Miller & Cohen, 2001), a region in which neural connexions specifically increase during childhood (Morton & Munakata, 2002; Munakata et al., 2011).

Besides predictable age differences in goal maintenance due to neurodevelopmental constraints, tasks themselves can differ in the extent to which its context effectively supports goal maintenance. For example, in the well-known Stroop task, the level of goal support can be manipulated by varying the proportion of congruent trials (e.g., the word BLUE written in blue ink). Whereas a high rate of incongruent trials (e.g., the word RED printed in blue) largely removed the burden of goal maintenance (name the ink colour) as these trials can serve as goal reminders, a high rate of congruent ones favours goal neglect as following the goal requirements or producing the prepotent response (i.e., reading the word) lead to correct performance

(Kane & Engle, 2003; see Ambrosi, Servant, Blaye, & Burle, in prep. for similar results with a Stroop task in children). In a task-switch setting, Marcovitch and colleagues (2007, 2010) obtained a similar pattern in kindergartners. They used a variant of the Dimensional Card Sorting task (Zelazo, 2006; Zelazo, Frye, & Rapus, 1996) requiring children to sort bidimensional pictures into two target boxes following successively either a shape- or a colour-matching rule. The proportion of redundant cards in the post-switch phase (cards that would be sorted in the same box whichever the rule) was manipulated. As expected, children's performance were better in a condition including a high proportion of conflict cards matching each target card on only one dimension. In sum, when some characteristics of the task provide recurrent opportunities to reactivate the goal kindergartners' performance in cognitive control tasks is enhanced. Hence, introducing task cues should improve goal maintenance and consequently performance in cognitive control tasks.

This was the hypothesis Bertrand and Camos (2015) proposed to account for the improvement of WM recall performance in the simple walk condition of their WM task, and what they tested in a final experiment of their study. Their rationale for this last experiment was that if the toy shop is a cue helping to maintain the goal of memorizing fruit series, then hiding the shop should lead to reduced recall performance compared to a condition where the shop is apparent. To test this prediction, kindergartners were exposed to two different conditions of the shopping span task. One was the simple walk condition previously described (i.e., walking straight to the shop), and the other was similar except that the shop was hidden by a screen, children having to go behind it to pick the fruits up for their recall. Contrary to the prediction that the toy shop was a goal cue, recall performance did not differ between conditions.

Nevertheless, one may say that the screen itself is a goal cue, especially as children had seen the shop behind the screen since their first trial. This could explain the observed absence of difference between conditions. Yet, the screen is probably a less meaningful cue than the toy shop because it is not so directly related to the goal of the task (i.e., memorizing the fruits series). Hence, the two contrasted conditions in the last Bertrand and Camos (2015) experiment may not differ on the presence vs. absence of a goal cue, but on the meaningfulness of the relation between the cue and

the goal, that is, on the degree of cue transparency. Cue transparency is known for having an impact on children's performance in a task-switching paradigm that precisely rely on the ability to switch between two goals and use these goals to activate the relevant task-set (Blaye & Chevalier, 2011; Chevalier, 2015; Chevalier & Blaye, 2008, 2009; Towse et al., 2007).

In addition to cue transparency, the efficiency of goal cues may depend on their format of presentation. Chevalier and Blaye (2009) have shown that auditory cues facilitated goal-setting in children compared to visual ones. The stronger benefit for auditory-verbal format could result from the lack of translation required in order to use the goal representation. Indeed, research in adults have suggested that task cues, critical in task-switching paradigms, are recoded verbally (Baddeley, Chincotta, & Adlam, 2001; Emerson & Miyake, 2003; Miyake, Emerson, Padilla, & Ahn, 2004). On the contrary, a visual arbitrary cue requires transcoding into a verbal meaningful code, which captures attention that is not anymore available for performing executive control (Miyake et al., 2004). Hence, presenting cues in verbal form would permit to skip a transcoding processing step, reducing the demand of the goal maintenance. Translating cues into a goal and maintaining sufficiently active this relevant goal have been evidenced as a major aspect of switching development across childhood (Cepeda, Kramer, & Gonzalez de Sather, 2001; Kray, Eber, & Lindenberger, 2004; Lucenet et al., 2014).

To summarize, kindergarteners may have some difficulties in verbally representing and actively maintaining goals, which could result in poorer performance in executive control tasks. Cues provided either by the task or introduced within the task help them improving their performance, the nature of the cues determining how effective the cues would be. So far, this was examined in different executive control tasks requiring inhibition or switching, but never in WM tasks. The aim of the present study was to explore whether goal cueing in WM tasks would provide the necessary support for maintaining sufficiently active the goal so as to improve kindergarteners' recall performance.

### 5.1.3.3 The present study

This study used a Brown-Peterson paradigm in which children had to memorize series of verbal items while performing a concurrent task during the retention interval before recall. This concurrent task was a colour naming of different smileys that were sequentially presented on screen. In each experiment, two conditions were contrasted. In one condition, a goal cue was introduced during the concurrent task, and this condition was compared to a similar one in which the goal cue was discarded. Through three experiments, the nature of the goal cue was varied. Following to Chevalier and Blaye (2009), all cues presented in this study were transparent to explicitly trigger the goal of the WM task, i.e., to memorize information or "to keep things in the head" in children words. As summarized above, transparent cues are the most effective and if the poor performance in kindergarteners' WM results, even in part, from goal neglect, transparent cues should be the most adequate way to boost their performance. Moreover, the perceptual modality of cues was varied across experiments: cues being visual in Experiments 1 and 2, and verbal-auditory in Experiment 3. Without precluding the results of our experiments, verbal cues should have a stronger effect than visual cues, because they are directly in the format in which goals are maintained and do not need any transcoding. Finally, kindergarteners were tested in each experiment, and an additional group of older children were enrolled in Experiment 1 to assess age-related differences. Indeed, if the age-related differences in WM regularly reported between kindergarteners and older children rely on a deficit in goal maintenance in the former, then cues should benefit the former, and should not or less help the older children.

### 5.1.4 Experiment 1

The first experiment involved 6- and 9-year-old children. We expected to find a beneficial effect of the visual goal cue presentation on WM recall in kindergarteners if their lack of maintenance strategies use results from goal neglect. On the contrary, in older children, we expected less or no effect of the goal cue because children of this age spontaneously use maintenance strategies to keep memory items active in WM.

### 5.1.4.1 Method

#### 5.1.4.1.1 *Participants*

Twenty-six 6-year-old (mean age = 6.4 years, SD = 0.5, range from 5.3 to 7.3, 16 girls) and twenty-six 9-year-old (mean age = 9.1 years, SD = 0.5, range from 8.3 to 9.9, 10 girls) children participated to this experiment. In all experiments of this study, all children were native French speakers and we checked that none was colour-blind. Most children were Caucasian, and from middle to high socioeconomic status backgrounds, although individual demographic information was not collected. Testing took place at the children's school in a quiet area. All experiments were approved by local ethics committees. Informed consents were systematically obtained from children's caretakers, and children also gave verbal assent to participate.

#### 5.1.4.1.2 *Material and Procedure*

Children performed a Brown-Peterson task in which they had to memorize the names of animals and objects presented as coloured drawings. These memory items were selected from Snodgrass and Vanderwart (1980) database and their coloured drawings from Rossion and Pourtois (2004) to exceed 80% of correct denomination at 4 years (Cannard et al., 2006). Each item was presented during 1500ms and followed by a 200ms blank screen. Because kindergarteners are slower than older children at naming pictures, a preregistered male voice named the animal or object to minimize age-related differences in the encoding phase (*Figure 9*). After the presentation of the memory items, children had to name the colour of two smileys successively presented for 1200ms each. The smileys' colours were randomly chosen among three: blue, green, or red. The drawings in the encoding phase and the smileys of the concurrent task were presented in an invisible 10 cm x 10 cm square in the centre of the screen. After the 5400ms retention interval, a serial oral recall was requested.

All children were engaged in two experimental conditions: one without goal cue (no-cue condition) and another with a meaningful visual goal cue (cue condition) presented during the retention interval. The presentation order of the conditions was counterbalanced across participants. Children performed 15 trials in each condition with 3 series per length that included 1 to 5 memory items. Memory items were

randomly distributed across trials with the constraints of a single occurrence per condition.

The meaningful visual goal cue represented an asexual character pointing a finger to her head in a thinking attitude (*Figure 9*). The link between this cue and the goal was explicitly created during the instructions phase, children being told that the meaning of the cue: "When you see this - experimenter points to the cue -, it means that you must carefully keep in mind the drawings you have seen". No instruction about the use of maintenance strategies was given. The cue was presented during 1200ms between two smileys, followed by a 1200ms blank screen. In the no-cue condition, a 2400ms blank screen between smileys replaced the cue presentation. At the end of the experiment, 3 questions<sup>1</sup> were asked to children, to determine if the goal of the task, the goal cue and the recall prime (a question mark) were understood. Both conditions were presented within the same 30-minute session during which each child was individually tested by one of the three different experimenters (2 women and 1 man). Two experimenters were blinds to the aim of the experiment. The experience presented on laptops was built on E-Prime 2.0.10 (Psychology Software Tools, 2012).

During the training phase, the requirement of ordered recall was explained to each child with a 2-item series. Moreover, to keep track of order during recall, a piece of paper with the same number of cells than list length was presented and children had to point each cell, from the left to the right, while they recalled the item corresponding to the position. Children were also trained to name the smileys by asking them to name in one minute the maximum number of coloured smileys presented on a sheet. Finally, children performed one series of 1 to 3 items as examples.

A span score was calculated for each child in each condition. Each correctly recalled series (i.e., in which all the words were correctly recalled in the order of presentation) counted as one-third, and the total number of thirds added (Barrouillet et al., 2009; Bertrand & Camos, 2015; Smyth & Scholey, 1992)

---

<sup>1</sup> Questions for the goal: "What was the game? What has to be done?", for the cue "What was you supposed to do when you saw the character?" and for the recall prime "What was you supposed to do when you saw the question mark?"

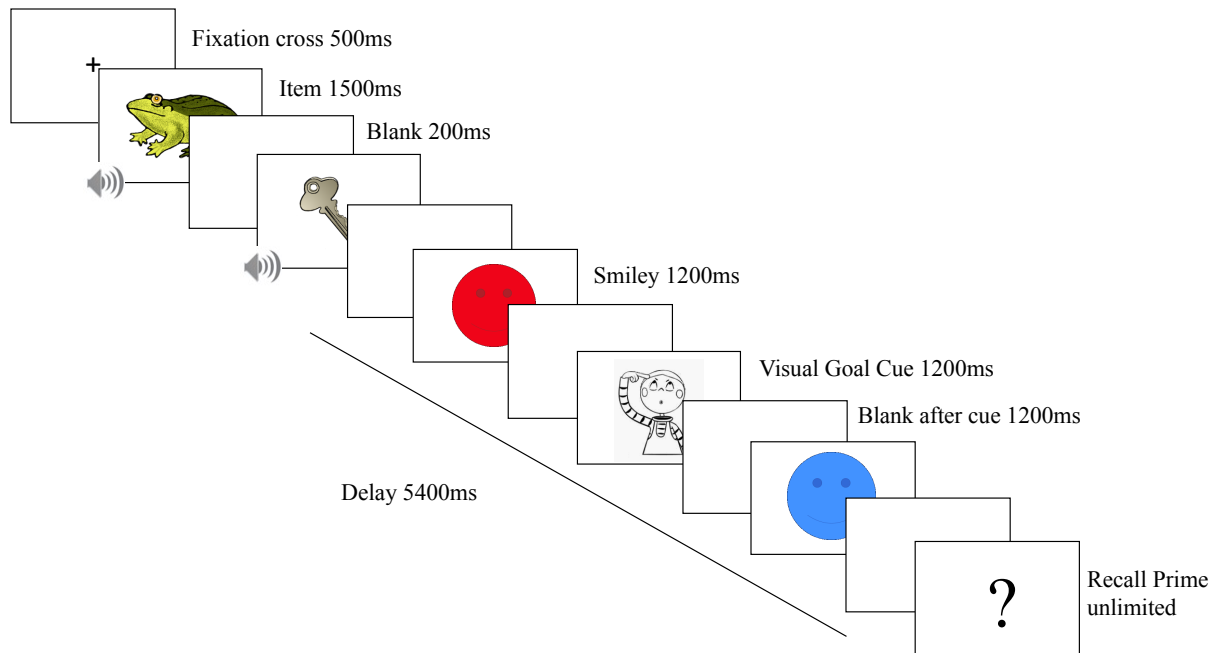


Figure 9. Schematic illustration of the cue condition in Experiment 1. The no-cue condition was similar, except that a blank screen replaced the visual goal cue.

#### 5.1.4.2 Results

Children paid enough attention to the concurrent task, for which they reached a very high level of accuracy: 96% (SD = 5) at 6 years and 99% (SD = 2) at 9 years. A Bayesian analysis of variance (ANOVA) run with JASP 0.8.6 (JASP, 2018) revealed that cueing (no-cue vs. cue conditions) had no impact on the colour naming performance and did not interact with age group,  $BF_{510} < 1$ . Based on their answers to the 3 post-hoc questions, five 6-year-olds and two 9-year-olds were excluded from analysis because they failed to correctly answer either the goal or the cue question, whereas all children correctly answered the prime question.

A Bayesian ANOVA was computed on span scores with age group, condition order, and experimenter as between-participants factors, and cueing as a within-participants factor. Results revealed that the favoured model includes the age group effect only (Figure 10),  $BF_{10} = 15943.80, \pm 0.43\%$ . It was 3.6 times more likely than the model including both main effects of age and cueing with their interaction, but only

1.3 times more likely than the model including the 2 main effects without their interaction<sup>2</sup>.

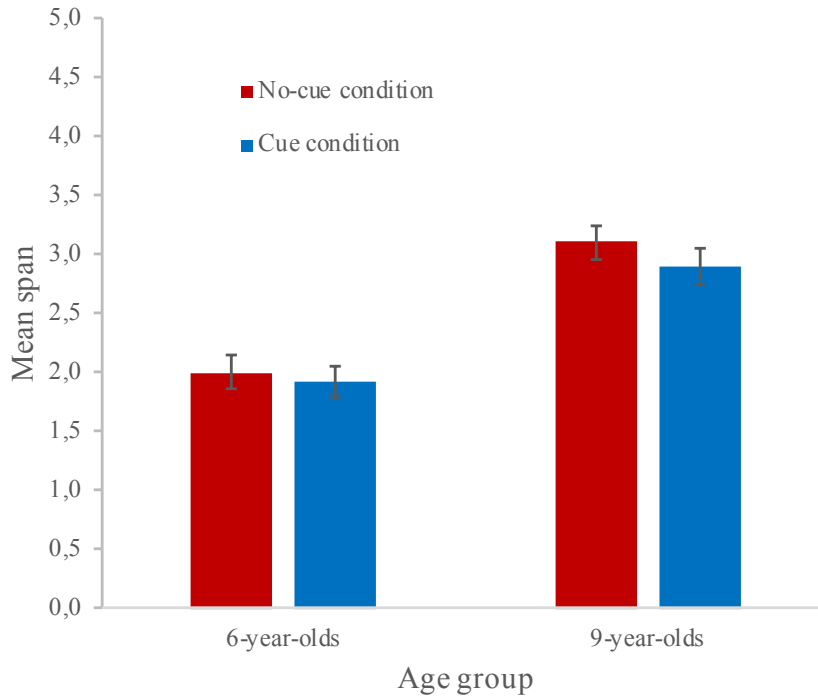


Figure 10. Mean span according to age group and cueing in Experiment 1. Verticals bars represent standard errors.

#### 5.1.4.3 Discussion

Contrary to our hypothesis, the presentation of a visual goal cue did not improve WM recall performance. Whereas such an absence was expected in older children, the lack of interaction between age and cueing revealed that a visual goal cue was not helpful for kindergarteners. Yet, this absence of cueing effect on WM in 6-year-olds does not necessarily mean that any goal cueing would have no effect on WM performance. Indeed, the duration and format of the cue used in Experiment 1 may have not sufficiently scaffold goal representation and maintenance to impact kindergarteners' WM performance. Hence, Experiments 2a and 2b examined the benefit induced by a longer display of the visual goal cue and by a verbal-auditory presentation of the goal cue, respectively.

<sup>2</sup> Same analysis on the entire sample lead to a similar pattern of results.



### 5.1.5 Experiment 2a

Longer display of the visual goal cue should enhance WM performance as it increased the delay to implement potential strategies to maintain memory items before the onset of the next distracting stimulus. Indicators of strategy use were also collected because it has been shown in other domains (see Siegler, 1996, for review) that the implementation of a new strategy may not be directly translated into improved performance. One group of kindergartners was tested to focus on the age group supposedly the most prone to goal neglect and for which we failed to observe the expected benefit of goal cue.

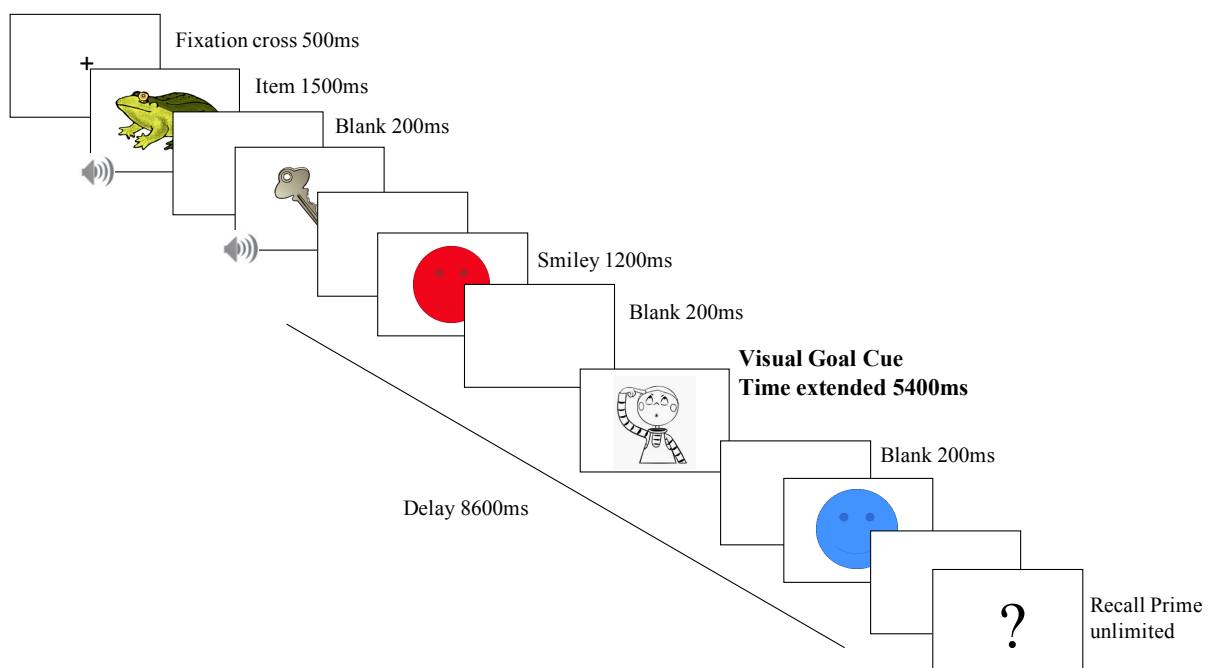
#### 5.1.5.1 Method

##### 5.1.5.1.1 Participants

Twenty-six 6-year-old children (Mean age = 6.8, SD = 0.6, Range: 6 - 7.9, 9 girls) participated to this experiment. None participated to Experiment 1.

##### 5.1.5.1.2 Material and Procedure

The design of this second experiment was similar to Experiment 1, with two exceptions. First, the duration of cue presentation was increased to 5400ms (*Figure 11*). Second, the experimenters collected evidence of overt and covert (i.e., lips movements) repetitions as indicator of verbal rehearsal during the cue display.



*Figure 11.* Schematic illustration of the cue condition in Experiment 2a. The no-cue condition was similar, except that a blank screen replaced the visual goal cue.

### 5.1.5.2 Results

One child was excluded from the following analyses because her performance on the concurrent task was below 70% of success (i.e., 58%), whereas the mean accuracy for the group was high (91%,  $SD = 10$ ). A Bayesian paired samples t-test showed that cueing had no impact on the accuracy in the colour naming task,  $BF_{10} < 1$ . Based on their failure to answer the post-hoc cue question, two children were excluded from further analysis, all children succeeding at the goal and prime questions.

A Bayesian ANOVA was performed on span scores with cueing as a within-participants factor, and condition order and experimenter as between-participants factors. Condition order and experimenter were excluded from the following analysis because they had no main effect and were not involved in any interaction,  $BF_{S10} < 1$ . A Bayesian paired samples t-test did not show any effect of cueing on span measures (mean = 2.40,  $SD = 0.63$ , for the no-cue condition; mean = 2.49,  $SD = 0.70$ , for the cue condition),  $BF_{10} < 1$ .

Although goal cueing did not impact WM recall, we examined its influence on indexes of rehearsal by analysing the percentage of trials in which signs of rehearsal were observed. Similarly to results in recall performance, we did not observe any main effect or interaction of condition order and experimenter on this measure,  $BF_{S10} < 1$ . A Bayesian paired samples t-test indicated a cueing effect on the percentage of rehearsal occurrences,  $BF_{10} = 2.14 \pm 0.001\%$ .<sup>3</sup> Children rehearsed more often in the cue condition (mean = 29.27%,  $SD = 27.69$ ) than in the no-cue condition (mean = 17.39%,  $SD = 27.02$ ).

### 5.1.5.3 Discussion

Extending the findings of Experiment 1, Experiment 2a showed that a longer visual goal cue does not translate into improved WM recall performance. However, it impacts the frequency of use of rehearsal. Following Siegler (1996), this suggests that this maintenance strategy is rather new in the kindergarteners' repertoire, who can not efficiently use it. This point will be further discussed in general discussion.

In Experiments 1 and 2a, the visual format of goal cue requires a verbal translation to be directly useful to actively maintain the task goal (Baddeley et al., 2001;

---

<sup>3</sup> Same analysis on all children with accuracy over threshold (70%) on the concurrent task lead to a similar pattern of results for both WM recall performance and rehearsal occurrences.

Emerson & Miyake, 2003; Miyake et al., 2004). Thus, Experiment 2b tested whether making this translation unnecessary by presenting a verbal goal cue would affect WM recall performance in kindergarteners.

## 5.1.6 Experiment 2b

Although auditory-verbal cues have been shown to be the most efficient cues to remind the goal in cognitive control tasks (e.g., Chevalier & Blaye, 2009), transposing this cueing technique from the task-switching paradigm to a WM task lead to two opposite predictions. First, if goal maintenance had a similar role in a WM task as in the task-switching paradigm, a verbal-auditory cue should be particularly efficient and may lead to improved WM recall performance, as no cue transcoding is required. However, if kindergarteners are using articulatory rehearsal to maintain memory items when prompted by a goal cue (as suggested by Exp. 2a), then their performance should suffer from verbal interferences induced by the auditory-verbal goal cue. Nevertheless, if 6-year-olds do not use articulatory rehearsal, as often reported in the WM literature, then they should not suffer from this detrimental effect.

### 5.1.6.1 Method

#### 5.1.6.1.1 *Participants*

Thirty-four 6-year-old children (Mean age = 6.3, SD = 0.9, Range: 5.0 - 7.4, 14 girls) participated to Experiment 2b. None of them participated to Experiments 1 and 2a.

#### 5.1.6.1.2 *Material and Procedure*

The procedure of Experiment 2b was similar to Experiment 1, except two changes in the design. The goal cue and the recall prime were both verbal and auditory played. The visual goal cue of Experiment 1 was replaced by a white screen during which an auditory cue was uttered by a pre-recorded male voice: "Remember the image(s)". For the recall prime, the question mark was replaced by the following auditory message: "What was/were the image(s)?" In the no-cue condition, the goal cue was not played but the auditory recall prime remained. All the timing parameters were the same as in Experiment 1.

### 5.1.6.2 Results

One child was excluded from the following analyses because her performance on the concurrent task was below 70% of success (i.e., 65%), whereas the mean accuracy for the group was high (90%,  $SD = 9$ ). A Bayesian paired samples t-test showed that cueing affected the accuracy in the colour naming task,  $BF_{10} = 13.56, \pm 4.5 \times 10^{-7}\%$ . Despite very good performance in both conditions, children had poorer accuracy in the cue condition (87%,  $SD = 12$ ) than in the no-cue condition (94%,  $SD = 10$ ). Based on their answers, three children were excluded from further analysis because they failed to answer the post-hoc goal question.

A Bayesian ANOVA was performed on span score with cueing as a within-participants factor, and condition order and experimenter as between-participants factors. As in Experiments 1 and 2a, conditions order and experimenter were excluded from the final analysis, because these factors did not have a main effect and were not involved in any interaction,  $BF_{S10} < 1$ . A Bayesian paired samples t-test revealed an effect of cueing,  $BF_{10} = 6.64 \pm 2.48 \times 10^{-6}\%$ , with lower recall span score in the cue condition (mean = 1.70,  $SD = .65$ ) than in the no-cue condition (mean = 2.02,  $SD = .71$ ).<sup>4</sup>

### 5.1.7 Discussion

The detrimental main effect of cueing was observed on memory span scores and on colour naming performance. Although we did not predict this reduction of performance in colour naming, it informed us on the possible nature of the cueing effect. Indeed, the addition of an auditory message harmed the naming task, which is an inherently verbal task. The fact that a similar detrimental effect is observed in recall performance is thus suggestive that both colour naming and WM maintenance have some commonalities, that would be their common reliance on some verbal processes. Hence, the fact that an auditory-verbal cue impaired recall performance would indicate the use of a verbal maintenance strategy (i.e., articulatory rehearsal).

---

<sup>4</sup> A similar pattern was obtained when considering all children with accuracy over threshold (70%) on the concurrent task.

### 5.1.8 General Discussion

The aim of this study was to test whether goal maintenance plays a role in the development of WM. Our methodology was inspired by the executive control literature, in which transparent goal cue has been used to prevent goal neglect. In a Brown-Peterson task, we have varied both the format of the goal cue and its presentation time. The results were divergent compared to what is reported in the domain of executive control. Neither visual or auditory-verbal transparent goal cues resulted in any recall improvement in kindergarteners, in clear contrast with the improvement observed in task-switching and inhibition performance (see Chevalier, 2015, for a review). This finding also contrasts with the improvement in WM performance reported by Bertrand and Camos (2015), which served as another source of inspiration for the current work.

In the shopping span task used by Bertrand and Camos (2015), the toy shop, whether it was visible or not, might serve as a goal cue reminding kindergarteners that series of fruits had to be maintained. One of the main differences between this study and the current work is that the toy shop was constantly present during the concurrent task as children were walking toward the shop. Moreover, the shop itself was present when children had to reconstruct the fruits series, and as such it might constitute a recall prime, whereas in the current study the goal cue and the recall prime were distinct. Another possibility to account for the differences in results is to assume a higher efficiency in maintenance strategies such as articulatory rehearsal for the children tested by Bertrand and Camos (2015). However, this is hard to believe. In fact, Bertrand and Camos' study involved different age groups, and some children were younger than the participants of the present study. These younger children could not have a better practice of articulatory rehearsal. Moreover, despite this age difference, the pattern of findings was similar across age groups. Thus, we are more inclined to attribute the stronger benefit reported by Bertrand and Camos (2015) to differences in the to-be-remembered items and the nature of the recall tests. In Bertrand and Camos' study, children recalled memory items through the reproduction of the presented series of plastic fruits. They simply picked fruits up among those placed in the toy shop. Such a recall test relies more on the recognition of previously encountered items. On the contrary, children in the present study had to verbally recall series of objects.

The fruit category is a well defined and early acquired category. Hence, fruits recognition in Bertrand and Camos may have benefit from the better established memory traces in LTM. Moreover, as noted earlier, memory performance was assessed through the reconstruction of fruit series, which could rely on different processes than the verbal recall implemented in the current study. Several dual-process models distinguish two independent processes, familiarity and recollection (e.g. Jacoby, 1991; Mandler, 1980; Tulving, 1985; Yonelinas, 1994). Recollection involves the retrieval of specific details of the memory items and sustains recall (Malmberg, 2008), while familiarity refers to a feeling of knowing that supports recognition (Oberauer, 2008). In a different perspective, the Fuzzy-Trace Theory (Brainerd & Reyna, 2002, 2005) proposes that representations stored in memory could be of two distinct natures, either verbatim traces that are representations of the surface forms of items, or gist traces, which are interpretations of concepts (e.g., meaning). Here too, it can be suggested that verbal recall relies mostly on retrieval of verbatim traces while reconstruction could be achieved on gist traces. The fact that WM performance was improved in the shopping span task and not in the current study may suggest that presentation of goal cue in WM tasks support the creation and maintenance of some representations in memory, but not to the point that children can recollect information or use verbatim traces. Further studies are needed to test the differential impact of goal cueing on recall performance depending on the type of recall procedure.

The present findings that a goal cue, even designed to scaffold the maintenance of the memory-task goal, namely recalling the pictures, does not benefit kindergarteners' WM, stands also in clear contrast with previous demonstrations of the positive impact of goal cues on executive control performance in young children and this, despite the similarities in terms of the paradigms used. Task-switching is the context most often used to reveal the critical role of goal maintenance in executive control and more specifically, the beneficial effect of transparent goal cues. Such a paradigm presents participants with bidimensional stimuli than can equally be processed based on one dimension or the other depending on the current task at hand. As the sequence of tasks is unpredictable, participants have to rely on goal cues to decide which task to perform. In the present study, we used a Brown-Peterson paradigm that distinguishes the encoding phase from the delay where a concurrent

task is to be performed and the recall phase. Effective maintenance of the memoranda during the delay has been shown to depend on maintenance strategies that involve rapid and self-initiated switches between the secondary task processing and attentional refreshing of the memoranda or its rehearsal (Barrouillet et al., 2004). Hence, goal cues should have been effective in this WM paradigm. Moreover, there were serious grounds to imagine that maintaining the memory goal might be specifically costly in this context and hence could benefit from the support of goal cues since no external information suggests that time for recall will soon arrive. This may lead participants to focus exclusively on the current goal, here naming the smileys' colour and potentially, neglect the memory goal.

However, a critical difference between the two paradigms is the necessity to recourse to cues to decide how to process stimuli in the task-switching paradigm, whereas in our Brown-Peterson paradigm, smileys always require colour-naming and the question mark always primes verbal recall at the end of the retention delay. Hence, the use of cues is not a condition to decide what to do. To benefit from a goal cue that reactivates the core memory goal in this WM task control has to be engaged proactively as the cue is displayed far in advance from the question mark presentation. Following Braver (2001, 2012) who offered the distinction between proactive and reactive control, several developmental studies suggest that kindergarteners tend to engage control reactively (e.g. Blackwell & Munakata, 2014; Chatham et al., 2009; Gonthier, Zira, Colé, & Blaye, 2019; Lucenet & Blaye, 2014). Whereas proactive control supposes keeping in mind contextual information among which, the goal provided by the instructions in order to guide future actions and potentially prevent conflicts, reactive control implies retrieving this contextual information "just in time" when presented with the stimulus to act on. Interestingly, in two recent studies, we obtained evidence of young children's difficulties at processing goal cues in advance of stimuli in the context of task-switching. Chevalier, Dauvier and Blaye (2018), measuring children's eye movements revealed a change in the information children prioritize when presented with simultaneous display of the target requiring a response and the cue telling what to respond to (e.g. shape- vs. color-sorting). Whereas older children and adults first consider the cue, younger children before 8 tend to look at the target before considering the cue. Further, Chevalier and Blaye (2016) proposed a self-paced

task switching to children who were presented first with the task cue specifying what to do on the upcoming target. Children were encouraged to “prepare” themselves at processing the upcoming stimulus and had to press the space bar to make it appear when they considered ready. When compared to 10-year-olds, 6-year-old children tend to press the space when not fully prepared as revealed by their eye saccade back to the cue after the target onset. Although the overall preparation times significantly predicted performance, confirming that both groups benefited from advance preparation, the younger ones were less able at monitoring their preparation. Note, this was the case even though, in clear contrast with WM tasks, they had no distracting concurrent goal and processing the cue was the condition to decide how to respond to the next target. The fact that the presence of a goal cue in our WM task did not allow kindergarteners to prepare themselves for the future recall is in line with the developmental studies concluding at kindergarteners' difficulty in engaging proactive control. However, a memory goal in WM task is prospective by nature.

Indeed, WM tasks have commonalities with prospective memory tasks, more specifically with event-based prospective memory tasks (Einstein & McDaniel, 1990). As in an event-based prospective memory task, children in WM task have a delayed goal, which is primed by a specific event, here the recall prime (the question mark), and during the delay they have to perform an on-going distracting task, here naming the smileys. By definition, prospective memory tasks require proactive control. As we did in the present study, Guajardo and Best (2000) tested the benefit of cues in prospective memory tasks. They have shown that neither incentive nor external cues improved performance in kindergarteners, contrary to the beneficial effect such cues have in adults. Hence, the present findings extend this absence of cue effect to WM tasks, thereby reinforcing the idea that WM and prospective memory tasks share common processes. Altogether, this supports that kindergarteners may use reactive control in WM tasks, searching in their memory some traces of the presented information at the recall phase only. Thus, reactive kindergarteners might not take advantage of the goal cue presentation during the concurrent task due to the absence of direct link with the present concurrent task. It may be helpful to present a goal cue that can be used by reactive children that would be more relevant to the task. The goal cue could be presented just after the concurrent task and before the recall prime to



reactivate the goal of the WM task and prepare the recall phase. This type of cueing in the form of cue-action reminders prove to be effective at helping kindergarteners in a prospective memory task (Kliegel & Jäger, 2007).

Finally, an impact of the goal cue was nevertheless observed when considering the strategy used to maintain memory items. Kindergarteners used an articulatory rehearsal strategy more often when a visual goal cue was presented during the concurrent task than when no goal cue was used (Experiment 2a). However, this increase in the use of rehearsal had no effect on recall performance. Further support of the use of this rehearsal strategy in the cue condition was obtained in Experiment 2b in which the introduction of an auditory-verbal goal cue impaired kindergarteners' recall performance. The detrimental effect of the presence of a goal cue on recall performance suggests that the auditory-verbal cue used in Experiment 2b induced some interference with the maintenance of the memory items through a verbal-specific mechanism, probably articulatory rehearsal. However, manifestation of articulatory rehearsal is rarely reported in children under 7 (Flavell et al., 1966; Gathercole & Adams, 1994; Gathercole, Adams, & Hitch, 1994; Jarrold, Hewes, & Baddeley, 2000; Oftinger & Camos, 2016, 2017, 2018). The observation of a detrimental effect of the auditory-verbal cue presentation in kindergarteners is in favour of an early utilisation of rehearsal strategy, and the potential benefit of the goal cue may have been counteracted by this detrimental effect. However, as suggested by the findings in Experiment 2a, children are not able to use it effectively to maintain the information in WM as recall performance did not improve in the cue condition. This absence of performance improvement could be a signature of a newly acquired strategy, as proposed by Siegler (1996). In different domains of cognitive development, he has shown that when advanced strategies emerge in their repertoire, children first exhibit longer response times with more errors. In other words, the first implementation of a new strategy has little chance to be directly translated into better performance. We proposed that goal cues triggered the use of rehearsal, but because this is a newly acquired strategy in kindergarteners, it cannot lead to improved performance.

### 5.1.9 Conclusion

To conclude, this study suggests that goal maintenance could play a role in setting up maintenance strategies in WM. Although the triggering of maintenance strategies did not translate into improved performance, our results suggest that modifying the environment to scaffold task goal is a promising alternative to the training of maintenance strategies that could be difficult to implement, and rather time consuming. Further studies that would extend this goal scaffolding approach while reducing the demand on proactive control should reveal benefit on WM performance in kindergarteners.

## 5.2 Expériences 3 et 4 : Matériel complémentaire à l'étude 1

Les résultats obtenus dans les expériences précédentes n'ont pas permis de mettre clairement en évidence un effet de l'aide au maintien du but sur le développement de la mémoire de travail. Aucune amélioration quantitative des performances en mémoire de travail ne fut relevée (Exp. 1, 2a, 2b). Seul un effet positif de l'indiciage était présent sur la fréquence d'utilisation d'un mécanisme de répétition où les enfants de 6 ans engagèrent davantage de répétition lors de la présentation d'un indiciage visuel, mais sans que cela n'impacte les scores d'empan (Exp. 2a). Enfin, la présentation d'un indiciage auditivo-verbal conduit à une dégradation des performances en mémoire de travail des enfants de 6 ans (Exp. 2b). Ainsi, suite aux expériences de l'Étude 1, nous avons mené deux nouvelles expérimentations dont les objectifs étaient, pour l'Expérience 3, de tester des enfants plus jeunes pour qui l'aide au maintien du but pourrait être d'autant plus crucial que chez des enfants de 6 ans et plus ; puis, dans l'Expérience 4, nous avons relevé l'hypothèse d'un biais méthodologique qui aurait pu être présent au sein des précédentes expériences de l'Étude 1 et rendrait compte d'une absence d'effet de l'indiciage sur les performances mnésiques, notamment sur leur versant quantitatif.

### 5.2.1 Expérience 3

Compte tenu de l'absence d'effet bénéfique de l'indiciage sur les performances en mémoire de travail des enfants ayant pris part aux expériences précédentes, nous avons émis l'hypothèse qu'une des raisons ayant pu conduire à l'observation de tels résultats serait l'absence de négligence du but chez des enfants trop âgés (à partir de 6,3 ans). Ainsi, des enfants de 4 et 5 ans, plus jeunes que ceux des expériences antérieures ont participé à cette expérience, car ces enfants devraient présenter une plus grande propension à négliger le but (Chevalier & Blaye, 2008; Marcovitch et al., 2007, 2010; Yanaoka & Saito, 2017), rendant d'autant plus pertinent l'aide au maintien du but par un indiciage exogène chez ces enfants. Aussi, en testant de plus jeunes enfants, nous nous éloignons de la période développementale où l'apparition de la répétition se ferait sans aide au maintien du but (entre 6 et 8 ans ; Tam et al., 2010). Cependant, en proposant un paradigme de type Brown-Peterson à des enfants aussi jeunes nous risquons d'obtenir un effet plancher. En effet, l'interférence proactive,

provoquée par la tâche concurrente d'un paradigme de type Brown-Peterson, diminue avec l'avancée en âge de 4 à 9 ans (voir Kail, 2002, Exp. 1, pour une méta-analyse). De plus, si nous conservions la tâche concurrente employée pour des enfants plus âgés, cela aurait pour conséquence chez les plus jeunes enfants d'augmenter le coût cognitif exigé pour traiter cette même tâche concurrente. Ainsi, nous réduirions la possibilité pour les jeunes sujets d'utiliser un traitement proactif. Speer et ses collaborateurs (2003) ont notamment mis en évidence, chez des jeunes adultes, qu'un contrôle proactif n'était plus employé lorsque la charge en mémoire de travail devenait élevée, contrôle proactif qui est d'ailleurs un type de fonctionnement exécutif peu utilisé chez les enfants d'âge préscolaire (par ex. Blackwell & Munakata, 2014; Chatham et al., 2009; Gonthier et al., 2019; Lucenet & Blaye, 2014) mais qui pourrait s'avérer essentiel dans une tâche de mémoire de travail, comme nous l'avons discuté dans notre étude précédente. Pour ces raisons, nous avons choisi d'adopter une tâche d'empan simple, avec délai (cf. 1.2 Évaluation de la mémoire de travail), pour l'étude du maintien du but chez des enfants de 4 et 5 ans. La procédure de cette expérience resta cependant très similaire à celle présente dans l'Expérience 1 à ceci près que la tâche concurrente fut remplacée par une période d'attente de durée identique. L'indiciage du but était le même que celui utilisé dans l'Expérience 1. Nous nous attendions à observer un effet principal de l'aide au maintien du but, par la présentation d'un indice visuel de but dans les deux groupes d'âge, c'est-à-dire à 4 et 5 ans. Cela devrait conduire à noter une amélioration des performances mnésiques des enfants de 4 et 5 ans dans la condition expérimentale avec un indice visuel de but. Aussi, un effet principal de l'âge était attendu, se traduisant par l'observation de meilleures performances en mémoire chez le groupe d'enfants les plus âgés. Enfin, compte tenu que les deux groupes d'enfants de 4 et 5 ans pourraient tirer bénéfice de l'aide au maintien du but, aucun effet d'interaction entre l'âge et l'indiciage n'était attendu.

### 5.2.1.1 Méthode

#### 5.2.1.1.1 *Participants*

Vingt-huit enfants de 4 ans (moyenne d'âge = 4,7 ans ; écart-type = 0,3 ; min. 4,2 ans et max. 5,1 ans ; 12 filles) et vingt-six enfants de 5 ans (moyenne d'âge = 5,5 ans ; écart-type = 0,2 ; min. 5,3 ans et max. 6,0 ans ; 14 filles) ont pris part à

l'expérience. Tous les enfants étaient de langue maternelle française et aucun n'était daltonien. La majorité des enfants étaient caucasiens, issus d'un milieu socio-économique allant de moyen à élevé et aucune information démographique ne fut relevée. Les expérimentations se déroulèrent à l'école des enfants dans un lieu calme. L'expérience fut approuvée par le comité d'éthique local. Enfin, nous avons diffusé, puis obtenu en retour de la part des parents ou des tuteurs légaux, un formulaire de consentement. De plus, les enfants donnaient oralement leur consentement avant de débiter l'expérience.

#### 5.2.1.1.2 *Matériel et procédure*

Le matériel et la méthode étaient relativement similaires à ceux utilisés dans l'Expérience 1. Le seul changement fut l'absence de présentation de smileys lors du délai de maintien de l'information, correspondant ainsi à une tâche d'empan simple avec délai. Un écran blanc était présenté pendant le délai, soit pendant 1 600 ms avant et 2 600 ms après l'indice de but (*Figure 12*). Quatre expérimentateurs testèrent les enfants (2 femmes et 2 hommes). Parmi eux, trois étaient naïfs aux objectifs de l'expérience. Tous les autres aspects du matériel et de la procédure étaient strictement identiques à l'Expérience 1.

Un score d'empan fut calculé en suivant la même procédure que dans l'Expérience 1. Toutefois, nous craignons que le score d'empan puisse être insuffisamment sensible chez de si jeunes enfants, compte tenu de l'exigence de rappeler les items dans l'ordre, sans ajout ni omission de noms d'items. Plusieurs scores complémentaires furent ainsi établis. Nous avons calculé un score de rappel correct-en-position (« correct-in-position » CIP) fréquemment utilisé dans des tâches de rappel sériel. Ce score implique un rappel réussi des items (« item recall » IR), tout en les rappelant à la bonne position sérielle (« position accuracy » PA) dans laquelle ils furent encodés (par ex. Fallon, Mak, Tehan, et Daly, 2005). Les scores de CIP, d'IR et de PA furent calculés à partir de l'ensemble des essais réalisés lors d'une condition. Ainsi, les scores d'IR correspondent au nombre d'items rappelés sans tenir compte de la justesse du rappel sérielle, et les scores de CIP correspondent au nombre d'items rappelés et à la bonne position sérielle sur l'ensemble d'une condition. Les scores de

PA représentent une proportion d'items rappelés sans tenir compte de la justesse du rappel sur le nombre d'items rappelés à la bonne position sérielle ( $PA = IR / CIP$ ).

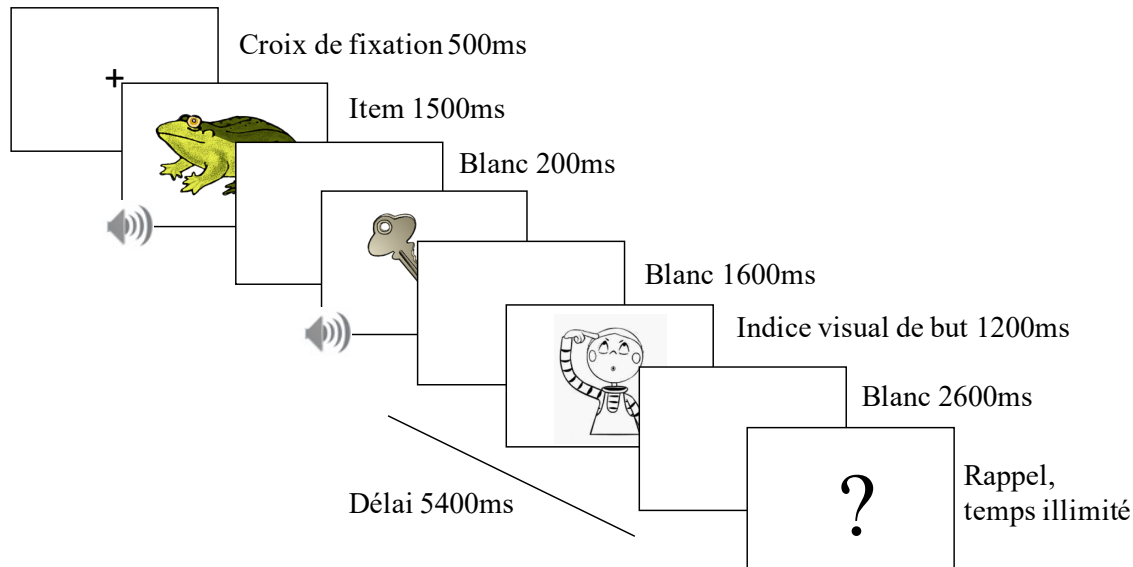


Figure 12. Illustration de la condition avec indice de l'Expérience 3. Dans la condition sans indice, un écran blanc remplaçait la présentation de l'indice visuel de but.

### 5.2.1.2 Résultats

Quatorze enfants de 4 ans et deux enfants de 5 ans ont échoué à répondre correctement à la question sur le but et/ou sur la signification de l'indice visuel de but. Des analyses de variance (ANOVA) bayésiennes furent réalisées sur l'ensemble des scores (empan, CIP, IR, PA) en excluant ces enfants. L'âge, l'ordre des conditions et les expérimentateurs furent introduits dans les analyses comme facteurs inter-sujets, et l'indiciage (avec ou sans présentation d'indice) comme facteur intra-sujets. Les résultats des analyses étant similaires à ceux obtenus avec l'ensemble de l'effectif, nous rapportons, ci-après, les résultats sans exclusion de sujet. De plus, comme le facteur d'ordre des conditions ainsi que le facteur des expérimentateurs n'ont pas eu d'effet sur les scores d'empan, de CIP, d'IR et de PA ( $BF_{01} > 1$ )<sup>5</sup> ces deux variables furent retirées des analyses suivantes.

<sup>5</sup>  $BF_{01} > 1$  = en faveur de l'hypothèse nulle.

Une nouvelle ANOVA bayésienne fut réalisée sur les scores d'empan avec uniquement l'âge comme facteur inter-sujets et l'indiciage comme facteur intra-sujets. Les résultats obtenus indiquèrent que le modèle présentant uniquement un effet de l'âge,  $BF_{10} = 3\,985 \pm 0.4 \%$ , avait une probabilité permettant de rendre compte des résultats 4,8 fois supérieure à la probabilité du modèle incluant un effet principal de l'âge et un effet principal de l'indiciage. Ainsi, seul un effet significatif de l'âge fut présent, sans effet de l'indiciage et sans interaction (4 ans sans indice  $\bar{x} = 1,996$   $\sigma = 0,53$  et avec indice  $\bar{x} = 1,996$   $\sigma = 0,56$  ; 5 ans sans indice  $\bar{x} = 2,659$   $\sigma = 0,55$  et avec indice  $\bar{x} = 2,672$   $\sigma = 0,51$ ). Les enfants de 5 ans étaient plus performants ( $\bar{x} = 2,7$  ;  $\sigma = 0,5$ ) dans la tâche de mémoire de travail que les enfants de 4 ans ( $\bar{x} = 2,0$  ;  $\sigma = 0,5$ ) (Figure 13).

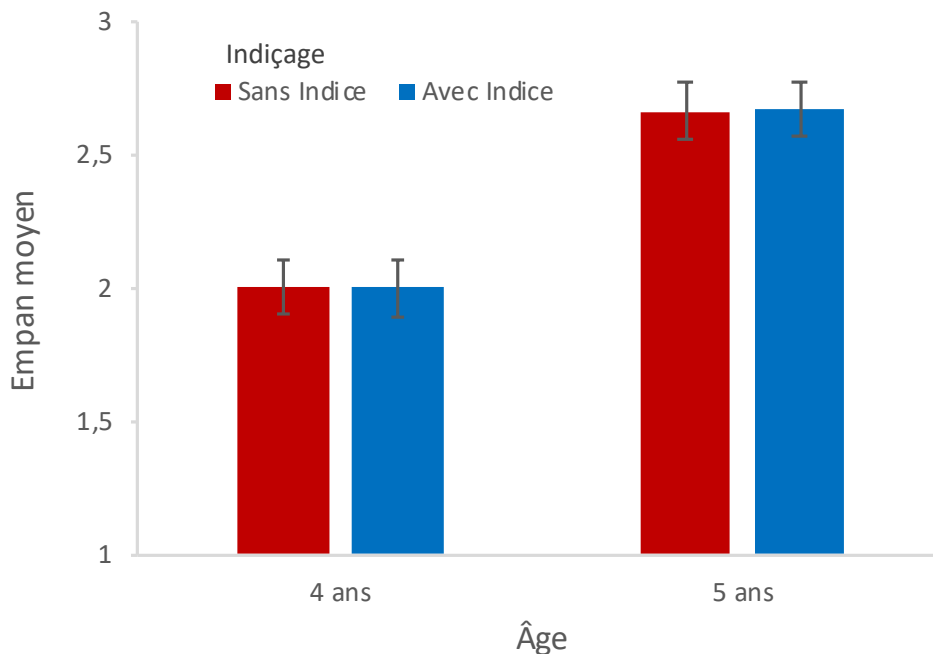


Figure 13. Empan moyen en fonction du groupe d'âge et de l'indiciage dans l'Expérience 3. Les barres verticales représentent l'erreur type.

Les ANOVAs des scores de CIP, d'IR et de PA conduisirent aux mêmes résultats que ceux obtenus avec les scores d'empan. L'évidence en faveur d'un unique effet principal de l'âge était encore plus forte avec les scores de CIP,  $BF_{10} = 5\,1164 \pm 0.9 \%$  (5 ans  $\bar{x} = 22$ ,  $\sigma = 5$  ; 4 ans  $\bar{x} = 14$ ,  $\sigma = 5$ ), où ce modèle avait une probabilité permettant de rendre compte des résultats 3,6 fois supérieure à celle du second modèle présentant un effet principal de l'âge et un effet principal de l'indiciage. Il en allait de même pour les scores d'IR,  $BF_{10} = 159,3 \pm 1.0 \%$ , dont la probabilité d'obtenir uniquement un effet

principal de l'âge (5 ans  $\bar{x} = 30$ ,  $\sigma = 6$  ; 4 ans  $\bar{x} = 24$ ,  $\sigma = 6$ ) était 3,7 fois supérieure à celle du second modèle présentant un effet de l'âge et un effet de l'indiciage. Enfin, ceci fut en accord avec les scores de PA dont la probabilité d'obtenir uniquement un effet principal de l'âge (5 ans  $\bar{x} = 0,72$ ,  $\sigma = 0,11$  ; 4 ans  $\bar{x} = 0,61$ ,  $\sigma = 0,18$ ),  $BF_{10} = 8,2 \pm 0.7 \%$ , était 4,6 fois supérieure à la probabilité d'obtenir un effet de l'âge et un effet de l'indiciage.

### 5.2.1.3 Discussion

L'objectif de l'Expérience 3, qui fut proposée comme du matériel complémentaire aux précédentes expériences, était de tester des enfants plus jeunes pour qui l'aide au maintien du but pourrait s'avérer cruciale. Les résultats indiquèrent un effet classique de l'âge en mémoire de travail où les enfants plus âgés obtinrent de meilleures performances de rappel que les plus jeunes. Ceci indique avant tout que notre paradigme est adapté pour étudier le développement de la mémoire de travail des jeunes enfants. Malgré cela, nous n'avons pas observé d'effet significatif de l'indiciage. La présentation d'un indice visuel de but lors du délai d'une tâche d'empan simple n'a pas permis aux enfants d'améliorer leurs capacités en mémoire de travail. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus dans les expériences précédentes avec des enfants plus âgés.

Une des hypothèses pour expliquer l'absence de différence entre les conditions avec et sans indice de but, hypothèse non encore abordée dans les discussions précédentes, concerne un point de méthode. Dans toutes les expériences, nous avons placé devant les enfants une bandelette contenant une ligne de cases vides correspondant au nombre d'items proposés à l'encodage (cf. méthode Exp. 1). La fonction de cette bandelette était d'aider au rappel sériel en demandant aux enfants de pointer du doigt chaque case correspondant à la position sérielle de l'item lors du rappel oral du mot. Il est possible que cet élément, constamment présent devant les enfants, ait pu, à lui seul, suffisamment étayer le maintien du but. La simple observation des enfants en cours de passation indiquait qu'ils n'utilisaient pas cette bandelette uniquement lors du rappel mais aussi lors de l'encodage. Ainsi, certains enfants pointaient du doigt la case correspondante à la position sérielle de l'item lorsque celui-ci était affiché à l'écran en phase d'encodage. Cette action ne figurait pas



dans les consignes données aux enfants, mais n'était pas non plus empêchée par les expérimentateurs. Dans l'Expérience 4, cette bandelette était utilisée comme un indice visuel de but. Pour tester l'hypothèse d'un étayage au maintien du but dû à l'utilisation de cette bandelette, sa présence fut manipulée à travers deux conditions expérimentales proposant, ou ne proposant pas, de bandelette durant l'ensemble de la tâche. De plus, dans l'Expérience 4, nous avons manipulé la charge cognitive. Aucune des expériences précédentes n'a fait varier le coût cognitif de la tâche concurrente. Aussi, il n'y a eu aucune variation de délai post-encodage dans ces expériences. De ce fait, il n'est pas possible de mettre en évidence une utilisation de mécanismes de maintien de l'information. Nous supposons que les plus jeunes enfants, ceux des groupes de 6 ans, bénéficieraient de l'étayage au maintien du but apporté par l'indiciage pour activer des mécanismes qui, compte tenu de leur âge, ne possédaient pas encore. Cependant par l'absence d'effet de l'indiciage, nous ne pouvons exclure que celui-ci a pu ne pas être utile si les enfants employaient déjà des mécanismes de maintien de l'information comme cela pourrait être suggéré par l'effet délétère d'un indiciage auditivo-verbal sur les performances en mémoire de travail des enfants de 6 ans (Exp. 2b). C'est pourquoi, dans l'Expérience 4, nous avons fait varier le coût cognitif dans l'intérêt de posséder une mesure permettant de tester, chez des enfants de 5 et 6 ans, l'utilisation de mécanismes de maintien de l'information.

### 5.2.2 Expérience 4

Cette expérience avait pour objectif de tester l'hypothèse interprétative exposée dans la discussion de l'Expérience 3 sur l'effet potentiel d'indiciage du but qu'aurait pu avoir la bandelette de papier disposée devant les enfants. Cette expérience fut la seule expérience de ce travail de thèse à utiliser une tâche d'empan complexe, ainsi qu'une variation de la charge cognitive. L'usage d'une tâche d'empan complexe à la place d'un paradigme de type Brown-Peterson et d'une tâche d'empan simple permettrait d'étudier un aspect de la gestion des buts qui ne pourrait l'être en Brown-Peterson. En effet, de par l'alternance plus fréquente entre deux buts, la tâche d'empan complexe rend l'identification du but critique à chaque changement de tâche : traiter l'item de la tâche concurrente ou mémoriser l'item pour un futur rappel. Ce principe d'alternance est retrouvé lors des essais d'alternance (« switch ») d'un paradigme

d'alternance de tâches, comme celui du DCCS. Nous savons que l'aide à la gestion des buts est cruciale dans ce type de tâche chez des enfants d'âge préscolaire (Chevalier & Blaye, 2009). En effet, à chaque nouvel essai, il y a une incertitude quant au but à poursuivre. Faut-il trier les cartes selon le même but que lors de l'essai précédent (essai sans alternance « no-switch ») ou faut-il trier les cartes selon le nouveau critère (essai d'alternance) ? La présentation d'un indice exogène vient aider l'identification du but à suivre. Lors de la tâche d'empan complexe que nous proposons dans cette expérience, la même incertitude quant au but à poursuivre pouvait être présente. D'une certaine façon, le passage vers un item dont il fallait nommer la couleur à partir d'un item à mémoriser peut être considéré comme un essai d'alternance. Toutefois, le moment où la tâche concurrente proposait deux items successifs, où la couleur était à dénommer, ne peut pas être considéré comme un essai sans alternance de buts. Si un enfant utilise le mécanisme de rafraîchissement attentionnel, il profitera du temps disponible entre les deux dénominations de couleur pour rafraîchir la trace mémorielle de l'item précédemment encodé (Barrouillet et al., 2004). Ainsi, l'enfant procèdera à des alternances de buts entre la mémorisation et le traitement des couleurs à l'intérieur même de la tâche concurrente. Dans ce cas, l'enfant doit également être en mesure de maintenir efficacement le but principal de la tâche de mémoire durant la réalisation de la tâche concurrente. C'est ce que la bandelette devait permettre de faire dans cette expérience.

Nous avons testé des enfants de 5 et 6 ans. L'aide au maintien du but ne devrait s'avérer utile que chez les jeunes sujets ayant moins de 6-7 ans où ce maintien est moins efficient que chez les enfants plus âgés (Chevalier & Blaye, 2008; Marcovitch et al., 2007, 2010; Yanaoka & Saito, 2017) et où aucun mécanisme de maintien de l'information n'est encore utilisé (par ex. Flavell et al., 1966; Henry et al., 2012; Oftinger & Camos, 2016). Ainsi, à partir de 6 ans, nous nous attendions à observer un effet de la charge cognitive. C'est-à-dire qu'en augmentant la charge cognitive de la tâche concurrente nous devrions observer une réduction des performances mnésiques des enfants de 6 ans, comme cela fut notamment mis en évidence dans l'Expérience 3 de Barrouillet et collaborateurs (2009) chez des enfants de 7 ans. Enfin, dans le cas où la bandelette permettrait une meilleure identification et un meilleur maintien du but conduisant à l'utilisation de mécanismes de maintien de l'information, nous devrions

observer une baisse des performances mnésiques chez les enfants de 5 et 6 ans lorsque la charge cognitive est augmentée. Cet effet délétère de l'augmentation de la charge cognitive ne devrait pas s'observer en l'absence de bandelette chez des enfants n'utilisant pas encore de mécanismes de maintien de l'information, c'est-à-dire chez les enfants les plus jeunes. Un effet d'interaction entre l'indiciage et la charge cognitive était ainsi attendu chez les enfants de 5 ans.

### 5.2.2.1 Méthode

#### 5.2.2.1.1 *Participants*

Trente-huit enfants de 5 ans (moyenne d'âge = 4,9 ans ; écart-type = 4 mois) provenaient de l'étude de Barrouillet et collaborateurs (2009, Exp. 3), et vingt enfants de 5 ans (moyenne d'âge = 5,3 ans ; écart-type = 0,3 ; min. 4,8 ans et max. 5,8 ans ; 8 filles) ainsi que trente-cinq enfants de 6 ans (moyenne d'âge = 6,3 ans ; écart-type = 0,4 ; min. 5,8 ans et max. 7,1 ans ; 13 filles) ont pris part à cette expérience. De façon similaire aux expériences précédentes, tous les enfants étaient de langue maternelle française et aucun n'était daltonien. La majorité d'entre eux étaient caucasiens et issus d'un milieu socio-économique allant de moyen à élevé. Aussi, aucune information démographique ne fut relevée. Les expérimentations ont eu lieu à l'école des enfants dans une pièce calme. L'expérience fut approuvée par le comité d'éthique local. Enfin, nous avons diffusé, puis obtenu en retour de la part des parents ou des tuteurs légaux, un formulaire de consentement. De plus, les enfants donnaient oralement leur consentement avant de débiter l'expérience.

#### 5.2.2.1.2 *Matériel et procédure*

La méthode est en grande partie similaire à celle de l'Expérience 3 de Barrouillet et collaborateurs (2009). Des séries d'items, représentant des dessins d'animaux, étaient présentés aux enfants. Les enfants de 5 ans voyaient de 1 à 4 items par série. Les séries proposaient jusqu'à 5 items pour les enfants de 7 ans. Les items d'une série étaient présentés séquentiellement. Quatre séries par longueur étaient présentées. Soixante dessins d'animaux étaient utilisés afin que chaque dessin ne soit présenté qu'une seule fois pour éviter un effet d'interférence entre les listes d'items. Chaque animal était affiché à l'écran pour une durée de 2 secondes et suivi d'une période de

8 500 ms avant l'apparition de l'animal suivant ou de l'affichage à l'écran d'un point d'interrogation. Durant cette période, une condition expérimentale faisait apparaître successivement à l'écran 2 smileys colorés en jaune, bleu ou rouge ; et une autre condition expérimentale faisait apparaître 4 smileys. Dans les deux conditions, le premier smiley était affiché après un délai de 500 ms. Dans la condition avec 2 smileys, chaque smiley était affiché durant 2 667 ms, puis suivi par un délai de 1 333 ms, ce qui représente un total de 4 secondes. Dans la condition avec 4 smileys, ces valeurs étaient respectivement de 1 333 ms et 667 ms, pour un total de 2 secondes. Les enfants devaient répéter le nom de chaque animal après l'expérimentateur (qui avait nommé l'animal lors de son affichage à l'écran). Les enfants dénommaient ensuite les couleurs des smileys, puis, ils rappelaient les items dans leur ordre de présentation lorsque le point d'interrogation apparaissait à l'écran. Les séries d'items furent présentées dans un ordre croissant jusqu'à ce que les enfants échouent à rappeler correctement les quatre séries d'une longueur donnée. Le calcul du score d'empan était similaire à celui des précédentes expériences de cette thèse (cf. Méthode Exp. 1).

Ces deux conditions expérimentales proposant 2 ou 4 smileys pouvaient être réalisées en présence ou en l'absence d'un indice de but exogène : la bandelette. Dans les conditions avec indice, nous avons ainsi disposé devant les enfants une bandelette de papier indiquant, par le nombre de cases présentes, la longueur de la série. Celle-ci fut utilisée exactement de la même façon que dans les quatre précédentes expériences. Elle était placée devant les enfants avant de procéder à l'encodage et restait en place jusqu'à la longueur suivante où l'expérimentateur changeait la bandelette pour une autre afin que le nombre de case de celle-ci soit en adéquation avec le nombre d'items présentés. Lors du rappel, les enfants pointaient du doigt chaque case de gauche à droite afin d'indiquer la position sérielle de l'item rappelé oralement. Aucune bandelette n'était utilisée dans les conditions sans indice.

Enfin, avant de débiter l'expérimentation, une phase d'entraînement était proposée aux enfants. Tous les enfants étaient familiarisés avec la tâche de dénomination des couleurs de smileys en indiquant oralement la couleur de douze smileys affichés à l'écran à un rythme correspondant à la condition expérimentale qui leur sera attribuée. Puis, un livret leur était montré afin de leur présenter le déroulement de l'expérience, c'est-à-dire la succession des divers écrans que les

enfants verraient. Les sujets étaient également entraînés à répéter le nom de chaque animal. Enfin, les enfants prenaient part à la dernière phase de l'entraînement où deux séries avec un animal et deux séries avec deux animaux étaient présentées, cela tout en impliquant la dénomination de 2 ou 4 smileys selon la condition dans laquelle l'enfant était intégré par la suite. Trois expérimentateurs (2 femmes et 1 homme), dont deux étaient naïfs vis à vis des hypothèses de l'expérience, testaient les enfants.

### 5.2.2.2 Résultats

Un sujet de 5 ans fut exclu des analyses car sa réussite à la tâche concurrente de dénomination de couleur n'excédait pas 60 %. Sur l'échantillon restant d'enfants de 5 ans ayant participé aux conditions expérimentales avec un indice de but, le niveau de réponses correctes en tâche concurrente était de 97 % pour la condition présentant 2 smileys et de 90 % concernant la condition avec 4 smileys. Un test *t* de Student bayésien révéla une différence significative entre ces deux conditions,  $BF_{10} = 3,31 \pm 7,45 \times 10^{-4} \%$ . Cette même différence significative se retrouva dans l'échantillon d'enfants de 5 ans provenant de l'étude de Barrouillet et collaborateurs (2009) avec 98 % et 96 % de dénominations correctes pour les conditions présentant 2 et 4 smileys,  $t(36) = 2,08$   $p < ,05$ . Chez les enfants de 6 ans, la réussite à la tâche concurrente fut respectivement de 98 % et 93 % pour les conditions avec 2 et 4 smileys sans présence de l'indice de but, et de 98 % et 90 % pour les conditions avec un indice de but présentant respectivement 2 et 4 smileys. Une ANOVA bayésienne, avec l'indiciage (sans ou avec bandelette) et la charge cognitive (2 ou 4 smileys) comme facteurs inter-sujets, a mis en évidence que la différence de réussite à la tâche concurrente entre les conditions présentant 2 smileys et 4 smileys était significative chez les enfants de 6 ans,  $BF_{10} = 15,03 \pm 3,57 \times 10^{-5} \%$ . Ce modèle favori de l'analyse bayésienne avait une probabilité permettant de rendre compte des résultats 2,3 fois supérieure à celle du second modèle de l'analyse impliquant un effet principal de la charge cognitive et un effet principal de l'indiciage. Ainsi, seul l'effet de la charge cognitive était significatif.

Une ANOVA bayésienne du score d'empan fut effectuée avec l'âge (5 et 6 ans), la charge cognitive (2 ou 4 smileys) et l'indiciage (sans ou avec bandelette) comme facteurs inter-sujets. Le score d'empan constituait la variable dépendante de cette analyse. Le facteur expérimentateur n'ayant pas eu d'effet significatif sur les scores

d'empan,  $BF_{S10} < 1$ , cette variable fut retirée de l'analyse précédemment mentionnée. Le modèle favori de l'analyse bayésienne impliquait un effet principal de l'âge, un effet principal de la charge cognitive, et une interaction entre ces deux variables,  $BF_{10} = 12\,030 \pm 0,19\%$ . Ce modèle avait une probabilité permettant de rendre compte des résultats 1,7 fois supérieure à celle du second modèle de l'analyse impliquant des effets principaux pour toutes les variables, c'est-à-dire de l'âge, de la charge cognitive et de l'indiciage, ainsi qu'une interaction entre l'âge et la charge cognitive. Ce second modèle ne fut pas retenu. L'indiciage n'avait pas d'effet sur les scores d'empan,  $BF_{01} = 1,45 \pm 2,064 \times 10^{-4}\%$ . Seuls les effets principaux de l'âge et de la charge cognitive, ainsi qu'un effet d'interaction entre ces deux variables, se sont révélés être significatifs. Dans le groupe d'enfants de 5 ans, les scores d'empan ne différaient pas significativement entre les conditions sans indice de but (2 smileys  $\bar{x} = 1,1$   $\sigma = 0,6$  ; 4 smileys  $\bar{x} = 1,2$   $\sigma = 0,5$ ) et avec indice de but (2 smileys  $\bar{x} = 1,3$   $\sigma = 0,5$  ; 4 smileys  $\bar{x} = 1,4$   $\sigma = 0,4$ ),  $BF_{01} = 1,53 \pm 0,007\%$ . De même, les conditions impliquant une faible charge cognitive (2 smileys) et une plus forte charge cognitive (4 smileys) ne différaient pas significativement. Enfin, aucune interaction n'était présente entre l'indiciage et la charge cognitive chez les enfants de 5 ans,  $BF_{01} = 2,7 \pm 0,5\%$  (Figure 14). Par contre, les enfants de 6 ans ont obtenu de meilleurs scores d'empan dans les conditions proposant une faible charge cognitive (sans indice  $\bar{x} = 1,9$   $\sigma = 0,4$  ; avec indice  $\bar{x} = 2,1$   $\sigma = 0,6$ ) que dans les conditions impliquant une plus forte charge cognitive (sans indice  $\bar{x} = 1,3$   $\sigma = 0,4$  ; avec indice  $\bar{x} = 1,3$   $\sigma = 0,5$ ). De façon similaire aux scores d'empan des enfants de 5 ans, mais cependant en accord avec nos hypothèses, aucun effet significatif de l'indiciage n'était présent chez les enfants de 6 ans, ainsi qu'aucun effet d'interaction entre l'indiciage et la charge cognitive ne fut mis en évidence à 6 ans.

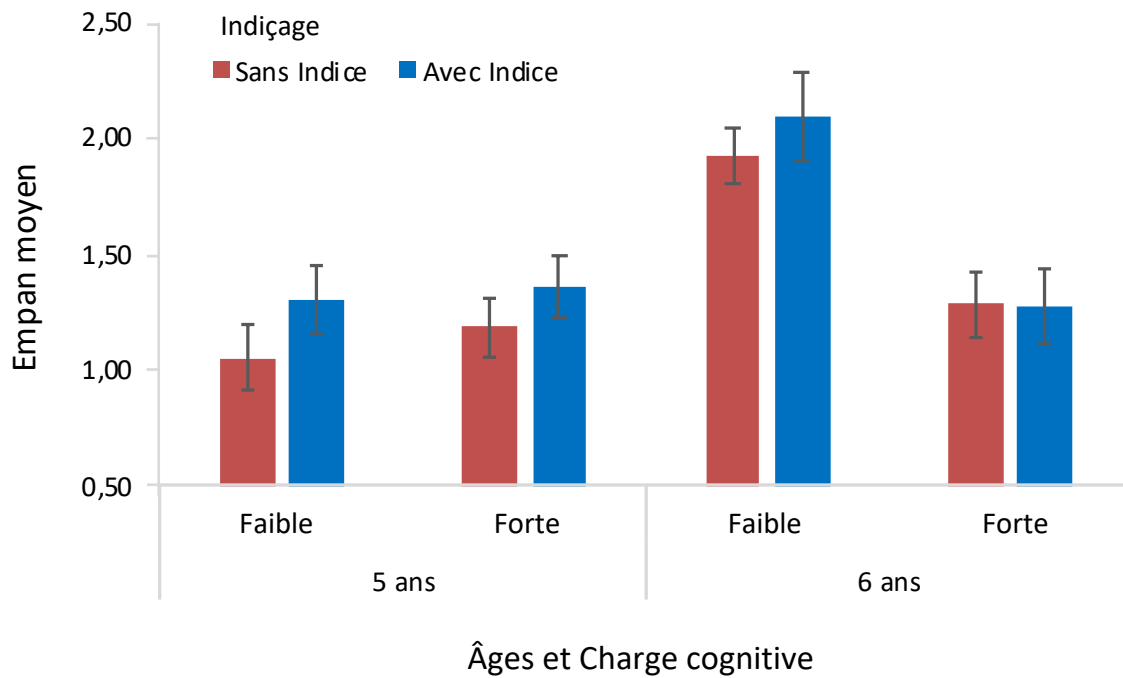


Figure 14. Empan moyen en fonction du groupe d'âge, de la charge cognitive et de l'indiciage dans l'Expérience 4. Les barres verticales représentent l'erreur type.

### 5.2.2.3 Discussion

L'objectif de cette expérience était de contrôler l'impact qu'aurait pu avoir la bandelette sur le maintien du but au cours des expériences de l'Étude 1. Notre hypothèse était que cette bandelette, conçue comme une aide au rappel sériel mais étant présente durant toute la durée de l'expérience, a pu faire office d'un indiciage visuel de but. Présente dans toutes les conditions, elle a pu constituer une aide au maintien du but et expliquerait l'absence d'effet significatif des autres indices de but lors des Expériences 1, 2a et 3.

Les résultats obtenus dans cette expérience ne permettent pas de répondre à l'étayage au maintien du but par la présence de la bandelette. Dans le cas où la bandelette aurait permis un meilleur maintien du but chez les enfants de 5 ans, nous nous attendions à observer un pattern de résultats similaire à celui obtenu dans l'Expérience 3 de l'étude de Barrouillet et collaborateurs (2009) chez des enfants de 7 ans. Nous n'avons pas observé ce pattern chez les enfants de 5 ans. Le rappel n'était pas différent entre les conditions expérimentales ayant une faible charge cognitive et celles ayant une forte charge cognitive. Ceci mène à la conclusion que les enfants de 5 ans n'utiliseraient pas de mécanisme de maintien de l'information ou alors que ces

mécanismes n'étaient pas utilisés efficacement (cf. Exp. 2a, chez des 6 ans), laissant ainsi supposer l'absence d'aide au maintien du but par la bandelette.

Chez les enfants de 6 ans, nous avons observé un effet principal de la charge cognitive sur les scores d'empan, mais l'activation de mécanismes de maintien de l'information ne pourrait être attribuée à l'aide au maintien du but proposée par la présence de la bandelette étant donné l'absence d'effet d'interaction entre l'indiciage et la charge cognitive. Une telle activation de mécanisme de maintien de l'information a pu être faite sans aide au maintien du but. Ce pattern de résultat est en effet similaire à celui de Barrouillet et collaborateurs (2009, Exp. 3) chez des enfants de 7 ans. De même, Oftinger et Camos (2016) ont démontré que des enfants de 6 ans étaient en mesure de mettre en place un mécanisme de rafraîchissement attentionnel sans aide au maintien du but dans une tâche d'empan complexe.

Enfin, l'absence d'aide au maintien du but par la présence de la bandelette dans l'Expérience 4 ne signifie pas que celle-ci n'a pas eu d'effet dans les expériences précédentes car les paradigmes utilisés étaient différents. Lorsqu'il s'agissait dans les expériences antérieures d'un paradigme de type Brown-Peterson ou d'une tâche d'empan simple, nous avons, dans la présente expérience, employé une tâche d'empan complexe. Ainsi, comme précédemment rapporté, l'observation des enfants durant les expériences précédentes indiqua que les sujets utilisaient parfois la bandelette durant la phase d'encodage en pointant les cases du doigt. Ce comportement ne fut pas observé lors de la tâche d'empan complexe de cette expérience. Du fait de la différence de déroulement de la phase d'encodage entre les paradigmes, il fut probablement moins aisé pour les enfants de mettre en place spontanément une telle stratégie lors d'une tâche d'empan complexe. De plus, si la période de délai pouvait également laisser la possibilité aux enfants de regarder la bandelette dans les expériences utilisant une tâche de type Brown-Peterson ou une tâche d'empan simple avec délai, une telle période entre l'encodage et le rappel n'était pas présente dans le paradigme d'empan complexe utilisé dans cette expérience.

Pour conclure, cette expérience contrôle n'a pas permis de mettre en évidence le probable rôle d'indiciage visuel du but que la bandelette aurait pu jouer dans les expériences antérieures. Cet élément a été supprimé des expériences futures afin d'éviter tout biais méthodologique potentiel. Cette expérience ne permet pas



également de conclure sur la possibilité d'aider au maintien du but lors d'une tâche d'empan complexe. En effet, comme précédemment exposé, la visualisation de cette bandelette durant l'encodage et durant la réalisation de la tâche concurrente fut relativement nulle. De nouvelles expérimentations sur l'aide au maintien du but sont à réaliser en préférant l'utilisation d'une tâche d'empan complexe pour l'alternance entre deux buts (deux tâches) que ce paradigme impose, cela tout en présentant un indice de but plus saillant durant la phase d'encodage et de traitement de la tâche concurrente.

## RÉSUMÉ

Les expériences présentes dans ce Chapitre 5 nous ont permis d'étudier, pour la première fois, le rôle que pourrait jouer l'aide au maintien du but dans le développement de la mémoire de travail des jeunes enfants. Notre objectif était de déterminer si le maintien du but est un élément clef dans le développement de la mémoire de travail comme il l'est dans celui du contrôle exécutif. Nous avons pour hypothèse que l'activation et l'utilisation de mécanismes de maintien de l'information seraient liées à la capacité des enfants à maintenir le but de la tâche de mémoire de travail. Ainsi, en aidant au maintien du but par une méthodologie transposée des études provenant du domaine des fonctions exécutives, nous pourrions mettre en évidence le rôle du maintien du but dans le fonctionnement de la mémoire de travail des jeunes enfants.

Au cours des cinq expériences, nous avons présenté un indiciage exogène de but à des enfants de 4 à 9 ans. Sur l'ensemble des expériences, aucune n'a permis de mettre en évidence une amélioration quantitative des performances de mémoire de travail via la présentation d'un indiciage de but visuel ou auditif. Aussi, l'effet de l'indiciage fut même délétère au rappel de mots dans l'Expérience 2b où nous avons employé un indiciage auditivo-verbal qui s'est avéré inapproprié au maintien d'informations verbales. Seul un effet bénéfique qualitatif de l'indiciage visuel correspondant à un accroissement de l'utilisation du mécanisme de répétition chez des enfants de 6 ans fut constaté dans l'Expérience 2a, sans que cela n'impacte quantitativement le rappel de mots. Un des éléments qui permettrait d'expliquer ces résultats tient dans le fait que l'indiciage exogène proposé ne suffirait pas pour aider au maintien du but dans un paradigme de type Brown-Peterson chez des enfants utilisant un mode de contrôle majoritairement réactif.

Ainsi, dans le chapitre suivant, une nouvelle méthodologie a été utilisée en combinant un indiciage exogène à un indiciage endogène inspiré par la littérature sur le rôle de la gestuelle. Nous avons pour hypothèse qu'en impliquant les enfants dans une activité motrice orientée vers le but, cela permettrait de donner davantage de sens à la tâche de mémoire, de focaliser leur attention sur le but, et d'enrichir l'environnement en indices exogènes de but. Grâce à cela, le maintien du but en serait facilité et les enfants pourraient adopter un traitement proactif de maintien des informations en mémoire de travail lors de la réalisation de la tâche concurrente d'un paradigme de type Brown-Peterson.

# Chapitre 6

## L'indiciage exogène associé à un indiciage endogène

Dans ce chapitre, nous proposons une nouvelle méthodologie d'étude du maintien du but lors de l'exécution d'une tâche de mémoire de travail. Suite aux évidences empiriques obtenues dans le chapitre précédent, nous suggérons qu'un indiciage exogène tel qu'il était présenté lors du délai d'un paradigme de type Brown-Peterson n'aurait pas permis à des enfants employant majoritairement un contrôle réactif d'utiliser un tel élément. En effet, l'indice visuel ou auditivo-verbal présenté lors d'une tâche concurrente exigeait un traitement différent (bien garder en mémoire les items précédemment vus) que celui demandé par les items de cette tâche concurrente (nommer des couleurs). Pour aider les enfants à utiliser l'indiciage proposé, nous avons combiné l'indiciage exogène à un indiciage endogène. Cet indiciage endogène consistait à réaliser une gestuelle durant l'ensemble du délai et avait la capacité à créer un lien entre la mémorisation des items et le but de les rappeler.

### 6.1 Introduction

Quel parent n'a jamais expérimenté d'envoyer son enfant récupérer un vêtement dans sa chambre et l'enfant est revenu sans le vêtement, voire n'est jamais revenu de la chambre ? Si cette activité n'a pas eu de succès, cela pourrait être dû au fait que l'objectif de la tâche fut négligé. Le phénomène de la négligence du but est étudié depuis plusieurs années dans le contrôle exécutif. Négliger le but conduit à ne pas satisfaire les exigences de la tâche malgré un bon rappel de celui-ci lorsqu'il est demandé aux sujets (Duncan et al., 1996). Très étudié dans le domaine du développement du contrôle exécutif (voir Chevalier, Blaye, & Maintenant, 2014; Chevalier, 2015, pour des revues), le maintien du but apparaît être moins, voire pas étudié dans le développement de la mémoire de travail. Le fonctionnement de la mémoire de travail et celui du contrôle exécutif sont pourtant proches. Outre le fait que ceux-ci se développent durant l'enfance, la mémoire de travail et le contrôle

exécutif nécessitent tous deux du contrôle attentionnel (McCabe et al., 2010). Ces systèmes sont également dirigés par les buts, comme plus largement l'ensemble des processus cognitifs (Anderson et al., 2004).

### 6.1.1 Développement de la mémoire de travail

La mémoire de travail joue un rôle important dans la réussite scolaire. Les enfants ayant de fortes capacités en mémoire de travail ont des résultats scolaires supérieurs à ceux des enfants ayant de faibles capacités (voir Gathercole, Lamont, & Alloway, 2006; pour une revue). En outre, durant le développement des enfants, les capacités en mémoire de travail augmentent (Swanson, 1996, 1999, 2017). Une telle progression est considérée comme une source majeure du développement cognitif (voir Camos & Barrouillet, 2018, pour une revue). En dehors du fait que les capacités en mémoire de travail progressent quantitativement avec l'avancée en âge, un changement qualitatif se produit à la fin de la période préscolaire. C'est à l'âge de 6-7 ans que les enfants commencent à utiliser des mécanismes de maintien de l'information. La répétition articulatoire est l'un de ces mécanismes permettant de garder l'information active en la conservant dans une boucle articulatoire jusqu'au rappel (Barrouillet et al., 2009; Gathercole & Adams, 1993; Henry et al., 2012; Oftinger & Camos, 2016). Un autre mécanisme, utilisé après l'âge préscolaire, est le rafraîchissement attentionnel qui permet à une partie des ressources attentionnelles disponibles d'actualiser les traces mnésiques jusqu'au rappel (Barrouillet & Camos, 2012; Camos & Barrouillet, 2011). Ainsi, mis à part l'emploi d'une stratégie de maintien des informations exclusivement visuelle avant l'âge de 6-7 ans, par exemple en regardant plus longtemps la position spatiale d'un dernier item présenté parmi une liste de plusieurs items (Morey et al., 2018), les enfants ne semblent pas utiliser ces mécanismes précités du maintien de l'information lors de la période préscolaire car ceux-ci ne sont pas encore développés. Ainsi, sans mécanisme de maintien de l'information, une altération des traces mnésiques en mémoire de travail se produit dans le temps (Barrouillet et al., 2007). Toutefois, il serait également possible que ces mécanismes permettant un maintien de l'information en mémoire de travail soient disponibles mais que les enfants ne parviennent pas à les utiliser avant l'âge de 6 ans. La littérature sur le développement du contrôle exécutif nous apporte un élément de

réponse quant à cette possibilité. Dans cette hypothèse, la non utilisation de ces mécanismes de maintien de l'information serait liée à leur négligence du but dans une tâche de mémoire de travail.

### 6.1.2 Maintien du but

La recherche sur le maintien du but dans le domaine du contrôle exécutif apporte des éléments sur la nécessité de maintenir efficacement le but chez les enfants d'âge préscolaire. Avoir un bon maintien du but est crucial pour exécuter efficacement les tâches de flexibilité ou d'inhibition. L'importance du maintien des buts chez les enfants d'âge préscolaire a été soulignée par l'emploi d'un paradigme qui consiste à apparier des images bidimensionnelles selon une dimension ou l'autre en fonction des consignes ou d'un indice de tâche (DCCS, Hongwanishkul et al., 2005). Dans l'étude de Marcovitch et collaborateurs (2007), une condition expérimentale proposait aux sujets davantage de cartes dites conflictuelles (résultat différent suivant le critère de tri) et une condition expérimentale avec plus de cartes dites redondantes (résultat similaire avec les deux critères de tri). Les enfants de 4 et 5 ans réalisèrent plus d'erreurs de tri dans la condition proposant davantage de cartes redondantes. De façon plus précise, il apparut qu'il s'agissait seulement des enfants ayant de faibles capacités en mémoire de travail qui commirent plus d'erreur de tri. Ces erreurs ont été interprétées comme étant dues à la négligence du but par les enfants d'âge préscolaire. En effet, dans la condition de cartes majoritairement redondantes, le but n'a probablement pas eu à être aussi souvent réactivé qu'il ne pouvait l'être lors de la condition proposant des cartes à critères majoritairement conflictuels. De façon similaire, ce pattern de résultats fut observé avec une population de jeunes adultes dans une tâche de Stroop dans l'étude de Kane et Engle (2003); une condition rendait nécessaire une réactivation plus fréquente du but en raison de la présence accrue d'essais incongruents (par ex. bleu écrit en rouge), et une autre condition permettait une réactivation moins fréquente du but dû à davantage d'essais congruents (par ex. bleu écrit en bleu). Comme dans l'étude de Marcovitch et collaborateurs (2007), les sujets firent plus d'erreurs de dénomination de la couleur de l'encre dans la condition ayant la proportion la plus importante d'essais congruents. De plus, dans l'étude de Kane et Engle (2003) une corrélation fut mise en évidence entre la capacité à maintenir

actif le but durant la tâche et les capacités en mémoire de travail des jeunes adultes. Les capacités en mémoire de travail, dans l'étude de Kane et Engle (2003), étaient mesurées avec la tâche OSPAN dans laquelle les sujets avaient à résoudre des séries d'opérations mathématiques entrelacées avec des mots à mémoriser (voir La Pointe & Engle, 1990). Ainsi, les personnes ayant de faibles capacités en mémoire de travail faisaient plus d'erreurs de dénomination (Kane & Engle, 2003). Ce pattern de résultats fut également observé dans l'étude de Marcovitch et collaborateurs (2010) chez des enfants de 4 et 6 ans dans une épreuve similaire du tri de cartes (DCCS) qu'employée par Marcovitch et collaborateurs (2007). Les enfants ayant de faibles capacités en mémoire de travail ont commis davantage d'erreurs de tri. Ces résultats suggèrent que le but est maintenu en mémoire de travail et que « la négligence du but résulte des défaillances de la mémoire de travail » (Marcovitch et al., 2007). Cependant, une récupération du but après sa négligence est possible ; cette négligence variant notamment en fonction de la transparence des indices (Towse et al., 2007).

### 6.1.3 Transparence des indices de but

Le maintien du but, mais aussi son identification, varie en fonction de la transparence de l'indication du but. Les enfants d'âge préscolaire ont un meilleur maintien du but avec des indices transparents. Dans l'étude de Chevalier et Blaye (2009), les enfants de 5 et 6 ans (Exp. 1 et 2) triaient les cartes dans une tâche de DCCS plus rapidement et plus précisément avec un indice transparent, tel qu'un ruban de plusieurs couleurs pour indiquer le tri par la couleur, qu'avec un indice abstrait tel qu'un rectangle gris indiquant également le tri par la couleur. L'effet de transparence de l'indication est un effet robuste obtenu dans d'autres études sur la flexibilité cognitive (Chevalier, Wiebe, Huber, & Espy, 2011; Towse et al., 2007) et fut aussi observé dans d'autres tâches d'inhibition de type go/no-go où les résultats obtenus étaient congruents les études précédentes (Blaye & Chevalier, 2011). Outre l'effet de transparence, la gestion des buts est sensible à la modalité de présentation de l'indication. Comme les indices de but sont traduits dans un format verbal pour parvenir à un maintien actif du but (Miyake et al., 2004), présenter directement un indice de but sous une forme auditivo-verbale est bénéfique au contrôle exécutif des enfants d'âge préscolaire (Chevalier & Blaye, 2009). Cependant, même s'il a été démontré que ce

format d'indiciage est le plus approprié pour aider au maintien du but lors d'une tâche de contrôle exécutif avec une population d'enfants d'âge préscolaire, il n'est clairement pas adapté dans le domaine de la mémoire de travail. Comme démontré dans le chapitre précédent, un indice auditivo-verbal peut interférer avec la modalité auditivo-verbale des items à mémoriser, conduisant à une moins bonne performance chez les enfants d'âge préscolaire. Néanmoins, un autre format d'indiciage du but pourrait être utilisé pour aider au maintien du but. Les indices visuels et auditif sont des indices de but exogènes. De plus, le maintien du but peut aussi être aidé par des indices endogènes, telle que la rythmicité de la tâche (Dauvier et al., 2012). Ainsi, serait-il possible d'aider au maintien du but en couplant un indiciage visuel du but à un feedback endogène relié au but de la tâche ? Nous allons voir, dans les points suivants, comment utiliser un feedback endogène et comment le coupler avec un indiciage exogène.

#### 6.1.4 Influence de la gestuelle

Effectuer librement une gestuelle durant une tâche permet d'améliorer les performances cognitives. Ceci a notamment été mis en évidence dans une tâche de mémoire chez des enfants de 10 ans (Goldin-Meadow et al., 2001). La tâche consistait en premier lieu à résoudre une équation mathématique. Puis, les enfants devaient retenir une liste de 1 ou 3 mots. Il était ensuite demandé aux enfants d'expliquer comment ils avaient résolu l'équation, soit avec une gestuelle autorisée, soit la gestuelle leur était interdite. Enfin, les sujets devaient rapporter les mots précédemment mémorisés. Les enfants ont rapporté plus de mots lorsque la gestuelle leur était autorisée pour expliquer l'équation, plutôt que lorsqu'elle ne l'était pas. Il a également été démontré par Cook et Goldin-Meadow (2006) qu'observer un expérimentateur résoudre des équations avec une gestuelle permettait d'améliorer les performances de résolution de ces mêmes équations par des enfants de 9 et 10 ans. Les enfants ayant vu l'expérimentateur expliquer les équations avec une gestuelle utilisaient eux-mêmes davantage de gestes pour expliquer leurs propres résolutions d'équations que les enfants n'ayant pas observé de gestuelle. Cependant, lorsque les gestes sont produits par les sujets, seule une gestuelle porteuse de sens par rapport à la tâche permet d'améliorer les performances cognitives. Dans une étude chez les

adultes, et avec un paradigme similaire à Goldin-Meadow et collaborateurs (2001), les sujets ont rappelé plus efficacement une liste de 6 consonnes lorsque les participants pouvaient effectuer une gestuelle libre plutôt que lorsque celle-ci était contrainte à un mouvement de cercle sur le rythme de la parole, ou bien à une absence de geste (Cook et al., 2012). En revanche, lorsque les adultes observaient l'expérimentateur donner une liste de mots à mémoriser en faisant, soit une gestuelle ayant du sens par rapport au matériel verbal, soit un mouvement rythmé, ou alors aucun mouvement, les adultes ont amélioré leur rappel lorsque la gestuelle avait du sens ou bien lorsqu'elle était rythmée (So et al., 2012). Dans cette même étude, des enfants de 4 et 5 ans n'ont amélioré leur performance mnésique que dans la condition où l'expérimentateur accompagnait la présentation des mots avec une gestuelle porteuse de sens. Cependant, lorsque la rythmicité gestuelle a pour fonction de souligner un élément du discours, cela entraîne une amélioration du rappel de ces éléments verbaux chez des enfants de 3 à 5 ans (Iguialada et al., 2017). L'effet bénéfique ainsi obtenu par la gestuelle sur les performances cognitives pourrait être dû à une libération des ressources cognitives lorsque les sujets voient ou font des gestes lors de la tâche (Goldin-Meadow, 2011). Ainsi, ces ressources libérées pourraient être allouées aux exigences de la tâche.

### 6.1.5 Activité motrice et demande attentionnelle

La libération de ressources, en l'occurrence attentionnelles, permet d'améliorer les performances cognitives sur une tâche nécessitant de l'attention. En effet, les ressources attentionnelles sont limitées et doivent être partagées entre les tâches (Kahneman, 1975; Wickens, 1991). De ce fait, la libération de ressources attentionnelles en mémoire de travail pourrait permettre une meilleure utilisation du mécanisme de rafraîchissement attentionnel et accroître les performances en mémoire de travail. Cependant, les tâches motrices sont exigeantes en attention. Les enfants sont moins performants dans une double tâche que les adultes qui possèdent davantage de ressources attentionnelles (voir Guttentag, 1989, pour une revue) ; et réaliser une activité motrice lors d'une tâche de mémoire de travail est une situation de double tâche. Néanmoins, lorsque l'activité physique est de faible intensité, cela améliore les performances cognitives comparé à effectuer une activité physique de plus forte



intensité qui tend à réduire les performances cognitives (voir Tomporowski, 2003, pour une revue chez l'adulte). Ainsi, la gestuelle, en plus d'être porteuse de sens, est une activité motrice de faible intensité et permet d'améliorer les capacités cognitives. De plus, comme les enfants d'âge préscolaire n'utilisent pas de rafraîchissement attentionnel avant l'âge de 6-7 ans, une activité motrice, qui est une tâche demandeuse en attention, ne devrait pas interférer négativement lors d'une tâche de mémoire de travail. C'est seulement après l'âge de 6-7 ans qu'une programmation motrice est en mesure d'être délétère aux performances en mémoire de travail verbale, comme mis en évidence chez une population d'adultes dans l'étude de Portrat, Camos, et Barrouillet (2010). Les enfants d'âge préscolaire n'utilisent pas de ressource attentionnelle pour maintenir activement la trace mnésique en mémoire de travail, mais il est également plus difficile pour eux de rester attentifs (Betts, Mckay, Maruff, & Anderson, 2006) et motivés un certain temps sur une tâche (voir Carlton & Winsler, 1998, pour une revue). Le maintien du but nécessitant de l'attention (voir Elisa, Balaguer-Ballester, & Parris, 2016, pour une étude chez TDAH), il est important d'aider au maintien par un indiciage ayant pour fonction de conserver l'attention des enfants portée sur le but tout en évitant d'en mobiliser une part trop importante, cela afin qu'une majeure partie soit dédiée à la réalisation de la tâche de mémoire de travail. Il apparaît ainsi qu'un moyen efficace pour maintenir l'attention des enfants orientée sur la tâche et sans être coûteux en ressources attentionnelles vient de l'utilisation d'une motricité porteuse de sens durant la réalisation de la tâche.

### 6.1.6 Notre étude

Dans la présente étude, nous avons testé à travers deux expériences un nouveau type d'aide au maintien du but chez des enfants de 4 et 5 ans. A l'opposé des résultats obtenus dans le domaine du développement du contrôle exécutif, nous avons rapporté dans l'Étude 1 (Exp. 1, 2a, 2b) que l'indiciage visuel, mais surtout auditivo-verbal, n'étaient pas les plus appropriés pour aider au maintien du but dans une population d'enfants d'âge préscolaire et scolaire lors d'une tâche de mémoire de travail verbale. Ce pattern de résultats divergeant avec celui obtenu en contrôle exécutif pourrait s'expliquer, d'une part, par la nature de la tâche employée et, d'autre part, par la nature du contrôle exécutif qui est majoritairement réactif chez des enfants d'âge

préscolaire. En effet, avant l'âge de 7 ans, les enfants traitent principalement un indice environnemental de façon réactive, c'est-à-dire en réponse immédiate au stimulus alors que les enfants d'âge scolaire utilisent un contrôle majoritairement proactif (Chatham et al., 2009; Lucenet & Blaye, 2014; Munakata et al., 2012). Par exemple, lorsqu'un indice visuel ou auditif de but est présenté à des enfants d'âge préscolaire lors d'une tâche de type DCCS, la réponse à cet indice se fait lors de sa présentation par un tri de cartes. En revanche, dans une tâche de type Brown-Peterson, lorsque nous avons présenté un indice visuel ou auditif de but durant la tâche concurrente, les enfants ont pu ne pas pouvoir utiliser cet indice de façon appropriée. La réponse attendue à la présentation de l'indiciage était l'activation de mécanismes de maintien de l'information. Cependant, les enfants employant un contrôle majoritairement réactif face aux éléments contextuels à l'âge préscolaire ont pu ne pas savoir comment répondre à la présentation d'un tel indice durant la tâche concurrente qui demandait de nommer des couleurs. Ces types d'indiciage du but ne semblent ainsi pas appropriés dans une tâche de mémoire de travail de type Brown-Peterson pour aider au maintien du but chez des enfants d'âge préscolaire utilisant un contrôle réactif pour répondre aux stimulations présentes dans l'environnement. Mais, même si les enfants d'âge préscolaire utilisent majoritairement un contrôle réactif, ils peuvent utiliser un mode de contrôle proactif s'ils sont encouragés à le faire, notamment à 5 ans (Chevalier, Martis, Curran, & Munakata, 2015).

Nous avons précisément tenté d'encourager ce contrôle proactif en créant une procédure permettant de faire le lien entre la phase d'encodage et celle de rappel à travers la réalisation d'une activité gestuelle orientée vers le but ceci afin d'améliorer la compréhension de l'indiciage et favoriser ainsi le maintien du but. Lors d'un paradigme de type Brown-Peterson, à la fin de l'encodage d'un matériel visuel et verbal, les enfants avaient à suivre du regard, ou bien avec leur doigt, le déplacement d'une forme sur l'écran d'un ordinateur. Cette forme était soit porteuse de sens en lien avec le but de la tâche, soit ne possédait aucun lien avec le but de la tâche. Ces deux variables (suivi du regard ou du doigt) à deux modalités (avec ou sans indice visuel) ont été combinées dans un plan factoriel. Comme la gestuelle en présence d'un indiciage visuel de but est porteuse de sens par rapport à la tâche et permettrait de faire le lien entre l'encodage et le rappel, mais aussi de maintenir l'attention des enfants sur

la tâche, nous devrions observer un effet bénéfique sur les performances en mémoire de travail à 4 ans comme à 5 ans. Parce que la gestuelle requise était une activité motrice d'intensité modérée et surtout comme les enfants d'âge préscolaire n'utilisent pas le rafraîchissement attentionnel, nous ne nous attendions pas à observer d'effet principal délétère de l'activité motrice gestuelle chez des enfants de 4 et 5 ans. Enfin, en lien avec les résultats du précédent chapitre, nous ne devrions pas observer d'effet principal bénéfique de l'indiciage visuel sur les performances en mémoire de travail des enfants d'âge préscolaire.

## 6.2 Expérience 5

Des enfants de 4 et 5 ans prirent part à l'expérience afin d'étudier l'impact d'une association d'un indiciage exogène à un indiciage endogène, c'est-à-dire d'une activité gestuelle orientée vers le but, sur leur capacité à utiliser cet indiciage afin de maintenir efficacement le but lors d'une tâche de mémoire de travail verbale, améliorant *in fine* leurs performances en mémoire de travail. Comme les enfants de moins de 6-7 ans n'utilisent pas le rafraîchissement attentionnel, nous nous attendions à ne pas observer de capture attentionnelle par l'activité motrice de gestuelle. Ainsi, aucune altération des performances en mémoire de travail ne devrait être rapportée dans les conditions proposant une gestuelle. Puis, comme suggéré précédemment, si on soutient l'engagement d'un contrôle proactif par une gestuelle orientée vers le but, alors l'utilisation de l'indice visuel pourrait devenir bénéfique. Dans ce cas, nous nous attendions à observer une amélioration des performances en mémoire de travail uniquement dans la condition expérimentale proposant un indiciage endogène et un indiciage exogène. Quant à la condition proposant un indiciage visuel du but mais sans l'utilisation de la gestuelle, elle ne permettrait pas aux enfants de pouvoir faire le lien entre la phase d'encodage et celle de rappel, restant ainsi sans effet sur les capacités en mémoire de travail des enfants. Par contre, si l'activité motrice a un effet sur l'éveil (Adam, Teeken, Ypelaar, Verstappen, & Paas, 1997; Schaefer et al., 2010), nous devrions observer une amélioration des performances en mémoire de travail dans les deux conditions proposant une gestuelle, donc même dans la condition où la gestuelle n'impliquerait pas le déplacement d'un indice de but. Enfin, un effet principal de l'âge

sur les performances en mémoire de travail était attendu où les enfants les plus âgés obtiendraient de meilleures performances de rappel que les plus jeunes.

## 6.2.1 Méthode

### 6.2.1.1 Participants

Cent soixante-dix enfants âgés de 4 ans (83 enfants, moyenne d'âge = 3,7 ; écart-type = 0,3 an ; min. 3,1 ans ; max. 4,3 ans ; 37 filles) et de 5 ans (87 enfants, moyenne d'âge = 4,7 ; écart-type = 0,3 an ; min. 4,0 ans ; max. 5,3 ans ; 41 filles) ont participé à l'expérience. Les enfants furent aléatoirement assignés à l'une des quatre conditions expérimentales (Tableau 2). Tous les enfants étaient de langue maternelle française et aucun n'était daltonien. Le consentement éclairé a été reçu de l'un des tuteurs de l'enfant. Les enfants ont également donné leur accord verbal pour participer. La plupart des enfants étaient caucasiens et avaient un statut socioéconomique moyen à élevé, reflétant les données démographiques de la zone géographique, bien que les informations démographiques individuelles ne fussent collectées. L'étude a été approuvée par le comité d'éthique local.

Tableau 2. Procédure et distribution des participants à l'Expérience 5 après exclusion des sujets présentant des valeurs extrêmes.

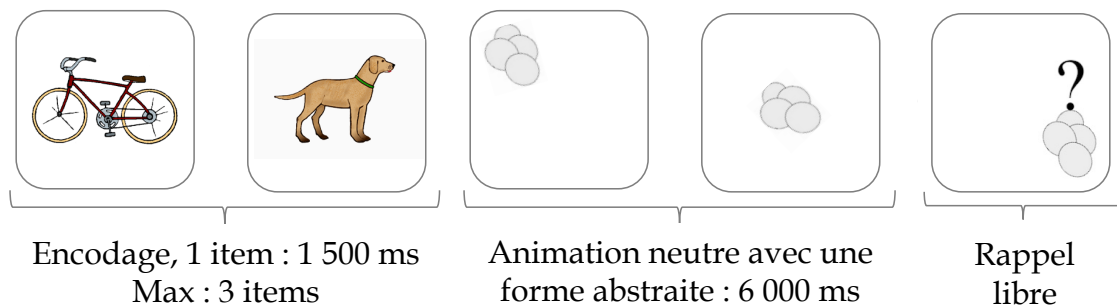
		Indice visuel de but	
		Sans	Avec
Gestuelle	4 ans	Sans	20
		Avec	19
	5 ans	Sans	20
		Avec	18

### 6.2.1.2 Matériel et procédure

L'expérience fut organisée en deux sessions. Chacune durait 15 minutes. Pour éviter la fatigue, les deux sessions chez les enfants de 4 ans étaient séparées par une pause de 15 minutes. Trois expérimentateurs différents (2 femmes et 1 homme) ont collecté les données. Deux expérimentateurs étaient naïfs quant aux hypothèses de l'expérience. La tâche fut développée sur le logiciel e-Prime 2.0.10 (Psychology Software Tools, Pittsburgh, PA) et fonctionnait sur des ordinateurs portables.

Tous les enfants ont été engagés dans les deux sessions proposant une épreuve contrôle visant à évaluer leurs performances en mémoire de travail lors d'une session, et une condition expérimentale lors de l'autre session. Les enfants furent engagés dans l'une des quatre conditions expérimentales. L'ordre de réalisation des sessions fut contrebalancé. La phase d'encodage était identique à toutes les conditions et à l'épreuve contrôle. Dans un paradigme de type Brown-Peterson, les enfants devaient mémoriser des noms d'animaux et d'objets présentés visuellement et auditivement. Nous avons présenté aux enfants des séries d'un à trois dessins colorés d'animaux et d'objets à mémoriser, avec quatre séries de chaque longueur (*Figure 15*). Ceci résultait en la présentation de 12 séries pour un total de 24 items à mémoriser. Toutes les images provenaient de Snodgrass et Vanderwart (1980) et furent colorées par Rossion et Pourtois (2004). Les images sélectionnées dépassaient toutes le seuil de 80 % de dénomination correcte à l'âge de 4 ans (Cannard et al., 2006). Une voix masculine précédemment enregistrée prononçait le nom de l'objet ou de l'animal représenté à l'écran. L'ordre de présentation de ces images était aléatorisé. Afin d'éviter le recours à la mémoire à long terme lors du rappel, les listes d'images présentées dans les deux sessions étaient différentes. En effet, dans le cas d'une unique et même liste utilisée pour les deux sessions, les sujets auraient pu bénéficier d'une économie au réapprentissage des items précédemment mémorisés lors d'une première présentation et ainsi améliorer leurs performances de mémorisation lors d'une seconde présentation (Ebbinghaus, 1913). Chaque image n'était montrée qu'une seule fois au cours des deux sessions. L'ordre de présentation des listes était contrebalancé. Chaque animal était affiché dans un carré invisible de 10 cm au centre de l'écran pendant 1 500 ms et suivi d'une période de 200 ms avant de laisser place à l'image suivante. Une croix noire, apparaissant au centre de l'écran pendant 500 ms, signalait le début de chaque essai. Il n'y avait pas de règle d'arrêt dans l'expérience, c'est-à-dire que tous les enfants se sont vu présenter les 12 séries indépendamment de leur performance. Nous avons choisi de ne pas utiliser de règle d'arrêt car les performances des enfants peuvent varier à plusieurs reprises au cours de l'expérience en raison du développement de la vigilance chez les enfants d'âge préscolaire (Levy, 1980), et ils pourraient obtenir de meilleures performances même après avoir échoué à plusieurs séries présentées.

Dans l'épreuve contrôle, entre les phases d'encodage et de rappel libre, les enfants devaient suivre visuellement le chemin d'une forme abstraite se déplaçant à l'écran (*Figure 15*). Les dimensions de cette forme abstraite étaient 3 cm x 2,3 cm. Le mouvement était non linéaire (2 changements de direction), de vitesse constante et le point de départ se trouvait proche du coin supérieur gauche de l'écran. La forme se déplaçait ainsi pendant tout le délai, d'une durée de 6 000 ms, présent entre l'encodage et le rappel. À la fin du parcours, la forme stoppait son déplacement près du coin inférieur droit de l'écran et un point d'interrogation apparaissait au-dessus de la forme indiquant le début de la phase de rappel libre. La forme abstraite et le point d'interrogation restaient affichés à l'écran tout au long du rappel.



*Figure 15.* Epreuve contrôle de l'Expérience 5. Représentation de la phase d'encodage suivie par l'animation d'une forme abstraite jusqu'à la phase de rappel libre. Les éléments ne sont pas représentés à l'échelle.

En l'absence de gestuelle et d'indiciage visuel du but, les enfants devaient suivre visuellement le parcours rectiligne à l'écran d'un rectangle noir. Le point de départ était proche du coin inférieur gauche de l'écran et le rectangle se mouvait vers le coin opposé à une vitesse constante et pendant 4 000 ms pour les deux groupes d'âge (*Figure 16*). Le rectangle noir débutait son déplacement après un délai d'immobilité de 3 800 ms pour les enfants de 4 ans et de 3 100 ms pour les enfants de 5 ans. Ces différents délais résultaient, d'une part, des temps de réaction des enfants pour initier le déplacement de la forme dans les conditions impliquant la gestuelle (1 800 ms à 4 ans et 1 100 ms à 5 ans), d'autre part, il était ajouté à ces temps de réaction un délai de 2 000 ms qui dans la condition avec indiciage visuel servait à diffuser une animation en début de délai et avant de pouvoir déplacer la forme. Ces temps de réaction furent recueillis dans la condition impliquant un indiciage visuel et la réalisation de la

gestuelle. Ainsi, le délai total entre l'encodage et le rappel était de 7 800 ms chez les enfants de 4 ans et de 7 100 ms chez les enfants de 5 ans. Les dimensions du rectangle noir étaient de 3 x 2,3 cm. À la fin du déplacement du rectangle, un point d'interrogation apparaissait au-dessus de celui-ci pour indiquer le début de la phase de rappel libre (Figure 16). Comme pour l'épreuve contrôle, le point d'interrogation au-dessus du rectangle restait affiché à l'écran lors de la phase de rappel libre.

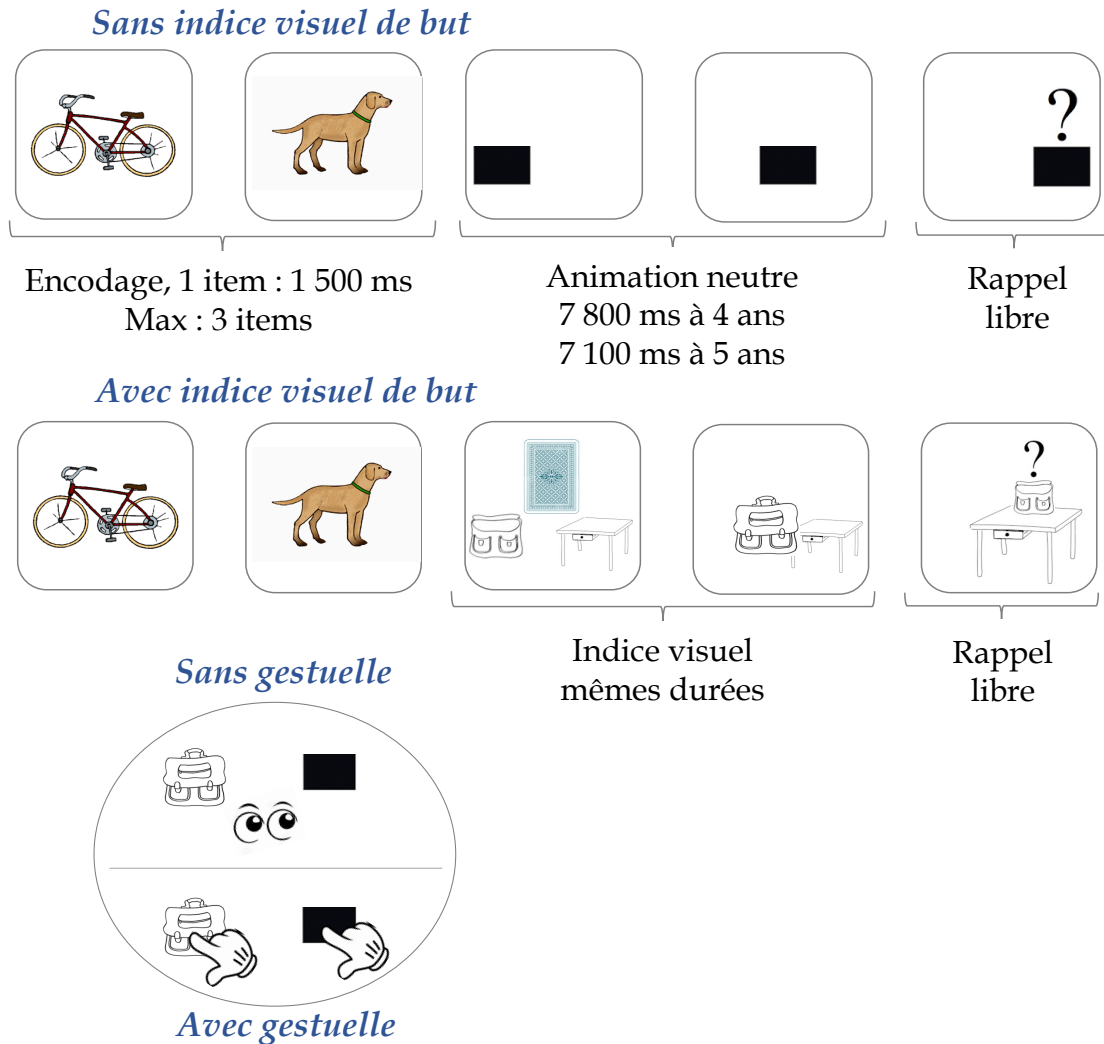


Figure 16. Construction des différentes conditions expérimentales de l'Expérience 5. La phase d'encodage était suivie par une animation avec ou sans indiciage visuel du but. Ces conditions étaient effectuées en suivant soit du regard, soit du doigt le déplacement de la forme. Les éléments ne sont pas représentés à l'échelle.

Dans la condition avec une gestuelle mais sans présentation d'indice visuel de but, les enfants avaient à suivre du doigt le même rectangle noir (Figure 16). Ils

faisaient cela en touchant l'écran du doigt. Comme dans la condition expérimentale décrite précédemment, le rectangle entamait son déplacement après 3 800 ms d'immobilité pour le groupe d'enfants de 4 ans et après 3 100 ms d'immobilité pour le groupe d'enfants de 5 ans. Néanmoins, il était demandé aux enfants de porter leur doigt sur la forme dès qu'ils voyaient celle-ci apparaître. Lorsque la forme commençait à bouger, les enfants devaient garder leur doigt sur celle-ci jusqu'à ce que le mouvement cesse. Les caractéristiques du déplacement du rectangle, ainsi que les caractéristiques temporelles, étaient identiques à celles présentes dans la condition sans gestuelle et sans indice visuel de but.

Dans la condition sans gestuelle, mais avec un indice visuel de but, il y avait quelques changements majeurs durant le délai. Le rectangle noir fut remplacé par une image de cartable. Ce cartable avait les mêmes dimensions que le rectangle et suivait exactement le même trajet à l'écran avec le même timing (qui était différent entre les groupes d'âges). Ainsi, nous avons essayé d'aider les enfants à maintenir le but de la tâche en faisant en sorte que pendant tout le délai le sujet conserve visuellement une information sur le fait qu'il allait devoir restituer les items encodés. Pour ce faire, après la phase d'encodage, le dernier item présenté à l'écran faisait place à une illustration représentant le dos d'une carte à jouer. Pendant la phase de présentation des consignes, l'expérimentateur montrait aux enfants une représentation physique de carte à jouer avec sur un côté l'image d'un item (un chien) et sur l'autre côté l'image classique d'une illustration d'un dos de carte à jouer (*Figure 16*). Cette représentation de la carte se déplaçait du centre de l'écran en direction de l'intérieur du cartable. Le cartable se fermait et commençait à se déplacer. Puis, il stoppait sa course sur la table disposée à droite de l'écran et s'ouvrait avec l'apparition d'un point d'interrogation au-dessus de lui. L'illustration du cartable ouvert sur la table avec la présence d'un point d'interrogation indiquait le début de la phase de rappel libre. Dans cette condition expérimentale, le cartable était considéré comme faisant partie de l'indication visuelle du but, tout comme la présence de la table qui était la représentation visuelle du point à atteindre pour pouvoir entamer le rappel.

Enfin, dans la condition proposant une gestuelle avec la présence d'un indicage visuel de but, l'activité de suivi au doigt était identique à celle faite dans la condition de gestuelle avec le rectangle noir. Comme nous utilisions un écran non tactile,



l'expérimentateur démarrait le mouvement du cartable par un appui discret sur une touche latérale du clavier au moment où l'enfant touchait le cartable du doigt. Tous les autres éléments de la procédure étaient identiques à la condition présentée juste avant celle-ci (voir *Figure 16*).

Chaque session était précédée par une phase d'entraînement. Il était présenté aux enfants deux séries d'un item, puis une série avec deux items. De plus, les enfants impliqués dans les conditions avec gestuelle recevaient un entraînement additionnel. En cinq essais, les enfants suivaient du doigt cinq objets différents se mouvant de façon rectiligne dans différentes directions de l'écran. Pour les analyses statistiques, le total des mots rappelés librement fut considéré et non pas un score d'empan car nous avons choisi de ne pas surcharger les enfants d'âge préscolaire avec un élément de consigne supplémentaire : la mémorisation de l'ordre de présentation des items pour effectuer par la suite un rappel sériel. Il s'agit donc d'un rappel libre.

## 6.2.2 Résultats

Nous avons effectué des analyses statistiques bayésiennes avec le logiciel JASP 0.8.5.1 et avons utilisé le prior par défaut. Un sujet de 4 ans et sept sujets de 5 ans furent exclus des analyses à cause d'un effet plafond sur leurs performances en mémoire de travail à l'épreuve contrôle (score de 24). Une fois les sujets ayant obtenu un effet plafond exclus des analyses, trois autres enfants de 4 ans et deux de 5 ans furent exclus car leurs performances de rappel en épreuve contrôle étaient au-delà de deux écart-types de la moyenne des performances des enfants de leur groupe d'âge. Les deux règles d'exclusion ont été appliquées via les performances obtenues à l'épreuve contrôle, excluant ainsi totalement ces sujets des analyses suivantes. Les deux groupes d'âges ayant eu des délais différents en conditions expérimentales pour initier leur geste de pointage vers la forme en déplacement, 1 800 ms à 4 ans et 1 000 ms à 5 ans, nous n'avons pas examiné l'effet d'âge en conditions expérimentales. Seule l'épreuve contrôle permit de réaliser une comparaison des performances de rappel entre les enfants de 4 ans et ceux de 5 ans, révélant ainsi un effet de l'âge où les plus âgés obtenaient de meilleures performances de rappel libre en nombre total de mots rappelés lors d'une condition ( $\bar{x} = 19,06$   $\sigma = 2,6$ ) que les plus jeunes ( $\bar{x} = 16,42$   $\sigma = 3,0$ ),

$BF_{10} = 487\,709 \pm 8,274 \times 10^{-10} \%$ . Concernant les résultats aux conditions expérimentales, ceux-ci furent traités séparément pour chaque groupe d'âge.

Une analyse bayésienne réalisée sur les scores de rappel libre obtenus dans l'épreuve contrôle révéla un effet significatif du groupe expérimental chez les enfants de 4 ans,  $BF_{10} = 2,54 \pm 0,031 \%$ . Pour cette raison, à 4 ans, une analyse de covariance bayésienne (ANCOVA bayésienne) fut effectuée lors des analyses des résultats aux conditions expérimentales avec les performances de rappel à l'épreuve contrôle comme facteur covariant. Chez les enfants de 5 ans, aucune différence significative ne fut mise en évidence sur les performances de rappel des quatre groupes d'enfants à l'épreuve contrôle,  $BF_{01} = 9,89 \pm 0,002 \%$ . Ainsi, à 5 ans, une analyse de variance bayésienne (ANOVA bayésienne) fut effectuée lors des analyses suivantes portant sur les scores de rappel aux conditions expérimentales. Enfin, à 4 ans comme à 5 ans, comme aucun effet principal ou interaction de l'ordre de présentation des conditions, de la liste utilisée, et de l'ordre de présentation des listes n'était présent sur les scores de rappel des conditions expérimentales,  $BF_{S_{10}} < 1$ , ces variables furent exclues des analyses suivantes. Seul le facteur expérimentateur a eu un effet principal sur les scores de rappel des sujets de 5 ans,  $BF_{10} = 2,56 \pm 0,014 \%$ , et aucun effet chez les enfants de 4 ans,  $BF_{S_{10}} < 1$ . Cependant, cet effet principal significatif de la variable expérimentateur à 5 ans n'a pas interagi avec d'autres variables, notamment celle de la gestuelle ou de l'indiciage visuel du but,  $BF_{S_{10}} < 1$ . De plus, il ne s'agissait pas du modèle favori lors de l'ANOVA bayésienne. En effet, pour rendre compte des résultats des enfants de 5 ans, le modèle impliquant un effet d'interaction entre l'indiciage visuel et la gestuelle avait une probabilité 1,6 fois supérieure à celle du modèle indiquant un effet principal de l'expérimentateur. La variable expérimentateur fut ainsi exclue des analyses suivantes pour les deux groupes d'âges.

A 4 ans, une ANCOVA bayésienne fut réalisée sur les scores de rappel libre avec l'indiciage (sans ou avec indice visuel) et la gestuelle (sans ou avec) comme facteurs inter-sujets, et les scores de rappel libre à l'épreuve contrôle comme covariant. Le modèle favori de l'analyse bayésienne indiquait clairement qu'il n'y avait aucun effet principal de l'indiciage, aucun effet principal de la gestuelle, et aucune interaction entre ces deux variables,  $BF_{01} = 5,37 \pm 0,892 \%$  (Figure 17).

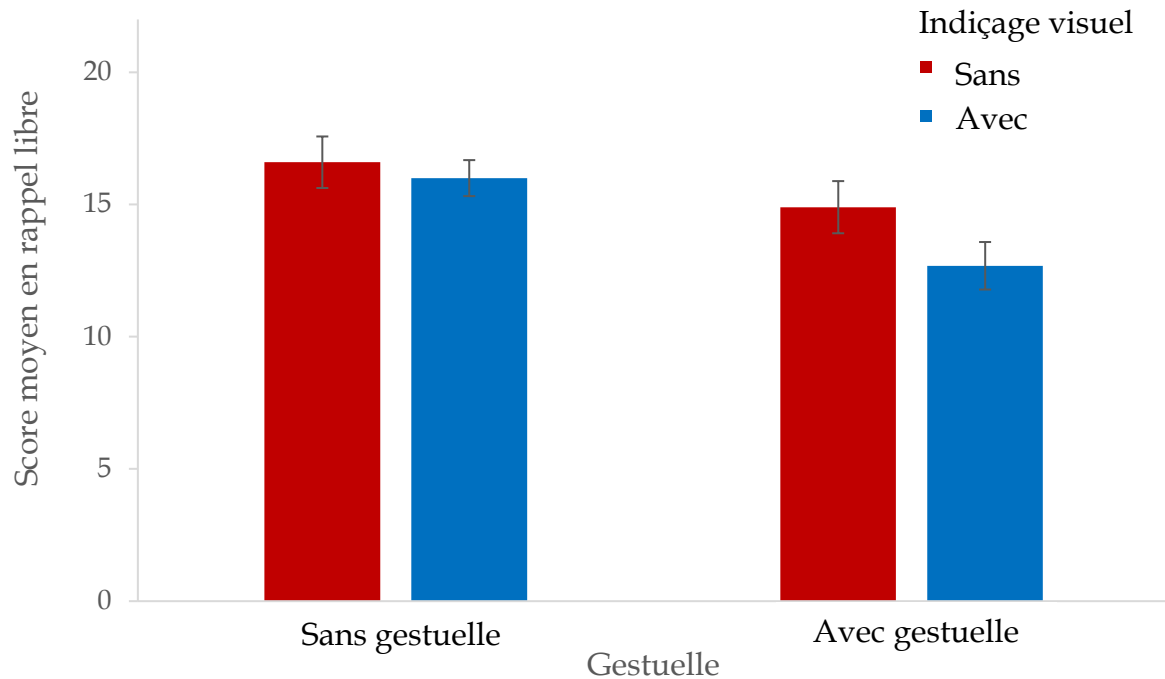


Figure 17. Score moyen en rappel libre chez les enfants de 4 ans en fonction de l'indiciage visuel et de la gestuelle dans l'Expérience 5. Les barres verticales représentent l'erreur type.

A 5 ans, une ANOVA bayésienne fut réalisée sur les scores de rappel libre avec l'indiciage (sans ou avec indice visuel) et la gestuelle (sans ou avec) comme facteurs inter-sujets. Le modèle favori incluait uniquement un effet d'interaction entre les conditions d'indiciage visuel et de gestuelle, sans aucun effet principal,  $BF_{10} = 2,25 \pm 0,599 \%$ . Ce modèle était le seul de l'ANOVA bayésienne à être en faveur de l'hypothèse alternative. Les enfants de 5 ans qui prirent part à la condition avec un indiciage visuel impliquant la réalisation d'une gestuelle obtinrent de meilleures performances en mémoire de travail ( $\bar{x} = 19,3$   $\sigma = 3,1$ ) que les enfants réalisant la condition sans indiciage visuel mais avec l'usage d'une gestuelle ( $\bar{x} = 16,4$   $\sigma = 3,6$ ),  $BF_{10} = 4,10 \pm 8,920 \times 10^{-5} \%$  (Figure 18). Aucune différence significative ne fut démontrée entre les performances des enfants faisant la condition avec indiciage visuel et avec gestuelle ( $\bar{x} = 17,7$   $\sigma = 3,3$ ) et ceux participant à la condition sans indiciage visuel et sans gestuelle ( $\bar{x} = 18,2$   $\sigma = 3,4$ ),  $BF_{01} = 2,96 \pm 0,007 \%$  (Figure 18).

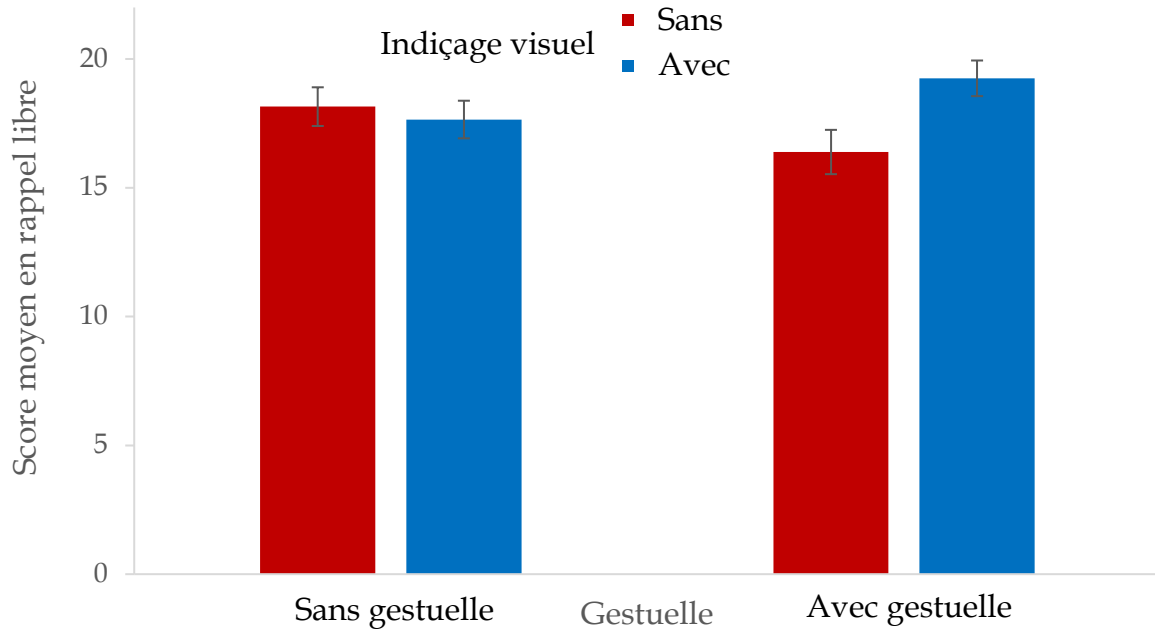


Figure 18. Score moyen en rappel libre chez les enfants de 5 ans en fonction de l'indiciage visuel et de la gestuelle dans l'Expérience 5. Les barres verticales représentent l'erreur type.

### 6.2.3 Discussion

L'objectif de l'Expérience 5 était d'étudier l'impact d'une nouvelle méthodologie quant à l'aide qu'elle pourrait apporter au maintien du but chez des enfants d'âge préscolaire utilisant majoritairement un contrôle réactif durant cette période de vie. Nous relevions, suite au Chapitre 5, que du fait que les enfants d'âge préscolaire emploieraient un contrôle réactif, ils n'auraient pu utiliser l'indiciage visuel ou auditivo-verbal présenté lors d'une tâche concurrente qui demandait un traitement différent (nommer les couleurs) de celui exigé par l'indiciage (bien garder les images dans ta tête). Nous suggérions dans l'Expérience 5 qu'en aidant les enfants à créer ce lien entre la phase d'encodage et la phase de rappel, les enfants d'âge préscolaire seraient alors en mesure de traiter l'indiciage du but leur permettant ainsi un maintien efficace du but de la tâche de mémoire. Pour ce faire, nous avons utilisé un paradigme intégrant une gestuelle qui pouvait être, ou non, associée à un indiciage visuel du but.

Concernant les résultats obtenus, nous avons observé un effet classique de l'âge où les enfants de 5 ans rappelaient davantage d'items que les enfants de 4 ans à l'épreuve contrôle (voir par ex. Barrouillet et al., 2009; Dempster, 1981; Gathercole, Pickering, Ambridge, & Wearing, 2004). Ensuite, les résultats des enfants de 5 ans sont

congruents avec notre hypothèse : ils ont significativement amélioré leur rappel lorsqu'ils avaient à suivre avec leur doigt l'indice visuel de but par rapport à suivre du doigt une forme arbitraire. C'est donc une gestuelle porteuse de sens par rapport au but, tout en étant orientée vers celui-ci, qui a sans doute permis aux enfants de 5 ans d'améliorer leurs performances en mémoire de travail. Ce résultat, en plus d'être congruent avec notre hypothèse, est conforme à l'hypothèse de Bertrand et Camos (2015) qu'une activité motrice orientée vers le but permettrait une aide au maintien du but. Également, nous n'avons pas observé d'effet principal de l'indiciage visuel sur les performances en mémoire de travail, ce qui est en accord avec les expériences du chapitre précédent. Ceci contribue à démontrer que des enfants d'âge préscolaire ont besoin de créer du lien entre la phase de mémorisation et celle de rappel, comme l'a suggéré Istomina (1948/1975). Enfin, ce résultat d'une amélioration des capacités en mémoire de travail des enfants de 5 ans grâce à une gestuelle porteuse de sens, car enrichie d'un indiciage visuel et orientée vers le but, est en accord avec la littérature sur la production gestuelle sensée agissant positivement sur les performances cognitives d'enfants d'âge préscolaire. Coupler un indiciage exogène à un indiciage endogène durant toute la durée d'un paradigme de type Brown-Peterson serait ainsi bénéfique au maintien du but des jeunes enfants.

Néanmoins, nous n'avons pas observé ce pattern de résultats chez les enfants de 4 ans où, ni effets principaux de l'indiciage ou de la gestuelle, ni interaction n'ont été mis en évidence. A la différence des travaux sur l'aide au maintien du but dans un paradigme d'alternance de tâches, ce résultat s'oppose à celui mettant en évidence que les plus jeunes enfants d'âge préscolaire tirent le plus parti d'un indiciage du but (Marcovitch et al., 2007, 2010). Il est possible que la tâche motrice demandée à de si jeunes enfants ait pu interférer avec l'aide au maintien du but qui était censée intervenir dans la condition de gestuelle avec un indiciage visuel. En effet, les performances cognitives de très jeunes enfants peuvent être influencées par le niveau de complexité d'une action motrice, et donc son niveau en demande attentionnelle, lors d'une tâche orientée vers un but (Boudreau & Bushnell, 2000, chez des enfants de 9,5 et 10,5 mois). Aussi, à l'image de la condition de marche complexe de Bertrand et Camos (2015), où les enfants étaient davantage concentrés à regarder les pads sur lesquels ils devaient sauter, et non plus le but à atteindre, les enfants de l'Expérience 5

ont pu porter leur attention principalement sur le suivi de la forme et sur le fait de conserver leur doigt sur celle-ci durant son déplacement. De la sorte, la gestuelle, même en étant porteuse de sens et orientée vers le but n'a pu aider les enfants de 4 ans car ils auraient dirigé l'ensemble de leur attention sur le suivi au doigt. Nous savons justement que toute capture attentionnelle en dehors du but principal de la tâche provoque une négligence du but, que cette capture attentionnelle soit exogène (par ex. De Jong, Berendsen, & Cools, 1999) comme suggéré ici, ou endogène avec une forme de vagabondage de l'esprit par exemple (McVay & Kane, 2012). Nous avons ainsi, dans l'Expérience 6, simplifié l'interaction avec la forme. Il ne s'agissait plus de réguler la vitesse de déplacement du doigt sur celle de la forme mais d'agir directement sur la vitesse de déplacement grâce à une interface tactile. Schaefer et ses collaborateurs (2010) mirent en évidence, chez des enfants de 9 ans, que laisser aux enfants libre choix de l'allure d'une activité de marche permettait d'améliorer les performances en mémoire de travail comparé à une vitesse imposée inférieure à la vitesse librement choisie. Ainsi, les enfants participant à l'Expérience 6 pourraient tirer parti du libre choix du rythme qu'ils souhaitent imposer au déplacement de la forme.

### 6.3 Expérience 6

Dans cette expérience, nous avons de nouveau testé des enfants de 4 et 5 ans. Afin d'éprouver l'hypothèse selon laquelle la tâche motrice telle qu'elle était proposée dans l'expérience précédente n'était pas la plus adaptée aux enfants de 4 ans, nous sommes passés d'une procédure d'une tâche avec un suivi au doigt, à une tâche proposant un déplacement de la forme par le doigt de l'enfant. De ce fait, l'attention des enfants de 4 ans ne devrait plus être tournée exclusivement sur l'adaptation constante du déplacement de leur doigt en suivant le mouvement de la forme mais devrait rester focalisée sur le but à atteindre dans la condition de gestuelle orientée vers le but. En conséquence, nous nous attendions à observer un effet bénéfique de l'association d'un indiciage exogène à un indiciage endogène, c'est à dire une gestuelle faite en présence d'un indiciage visuel et orientée vers le but, sur la capacité des enfants de 4 et 5 ans à maintenir activement le but lors d'une tâche de mémoire de travail verbale.

### 6.3.1 Méthode

#### 6.3.1.1 Participants

Soixante-six enfants âgés de 4 ans (30 enfants, moyenne d'âge = 3,8 ; écart-type = 0,3 an ; min. 3,2 ans ; max. 4,3 ans ; 19 filles) et de 5 ans (36 enfants, moyenne d'âge = 4,8 ; écart-type = 0,3 an ; min. 4,3 ans ; max. 5,3 ans ; 17 filles) ont participé à l'expérience. Tous les enfants étaient de langue maternelle française et aucun n'était daltonien. Le consentement éclairé a été reçu de l'un des tuteurs de l'enfant. Les enfants ont également donné leur accord verbal pour participer. La plupart des enfants étaient caucasiens et avaient un statut socioéconomique moyen à élevé, reflétant les données démographiques de la zone géographique, bien que les informations démographiques individuelles ne fussent collectées. L'étude a été approuvée par le comité d'éthique local.

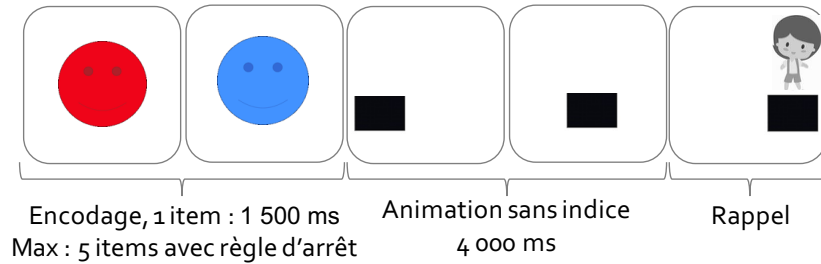
#### 6.3.1.2 Matériel et procédure

La procédure est une adaptation de celle utilisée dans l'expérience précédente. Comme dans l'Expérience 5, les enfants de 4 ans participaient à deux sessions séparées par une pause, et les enfants de 5 ans faisaient l'expérience sans pause. Un seul expérimentateur (1 homme) a récolté les données pour cette expérience. L'expérience fut construite sur E-Prime 2.0.10 (Psychology Software Tools, Pittsburgh, PA) et présentée aux enfants sur une tablette tactile Windows Surface Pro. Similaire à l'Expérience 5, tous les enfants furent engagés dans les deux sessions expérimentales (*Figure 19*) avec une condition expérimentale par session. A la différence de l'expérience préalable, l'épreuve contrôle fut toujours réalisée en début d'expérience. Cette épreuve contrôle consistait en l'administration du subtest de mémoire des chiffres du K-ABC 2 (Kaufman & Kaufman, 1993). Dans ce subtest, des listes de chiffres débutant par l'énonciation d'une liste contenant deux chiffres sont présentées oralement aux enfants. Toutes les trois listes, un item est ajouté pour augmenter séquentiellement le nombre de chiffres à rappeler. Le rappel a lieu immédiatement après l'énonciation de tous les chiffres par l'expérimentateur et se fait en suivant le même ordre qu'à l'encodage. L'administration du sous-test continue jusqu'à ce que l'enfant échoue à trois listes d'affilées. L'utilisation de ce sous-test, comme épreuve

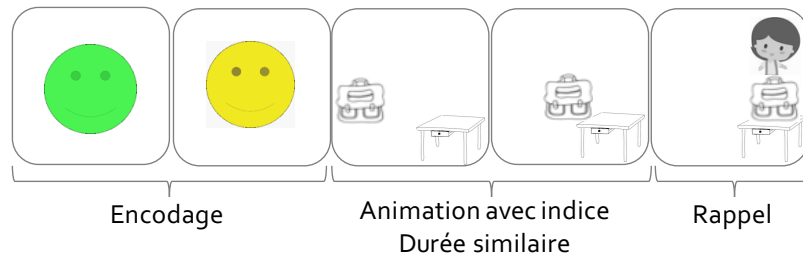
contrôle, avait pour objectif de vérifier le caractère homogène de nos échantillons de sujets prenant part à l'expérience en termes de performances en mémoire de travail.

- Indiciage du but

- Sans



- Avec



- Gestuelle

- Sans

- Avec

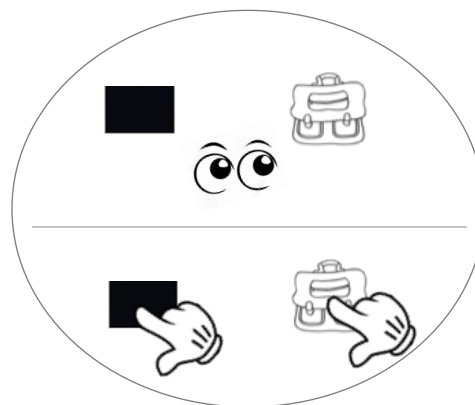


Figure 19. Illustration schématique des conditions expérimentales de l'Expérience 6 suivant les deux variables d'indiciage visuel du but et de gestuelle. Une condition expérimentale est formée en croisant chacune des deux modalités « sans » ou « avec » pour chacune des deux variables indépendantes. Les éléments ne sont pas représentés à l'échelle.



L'ordre de présentation des conditions fut contrebalancé. Un paradigme de type Brown-Peterson fut utilisé. Le matériel expérimental, contrairement à celui de l'Expérience 5, était constitué de smileys de différentes couleurs (bleu, rouge, vert, jaune, orange, rose, marron). Par l'utilisation d'un matériel dont les mêmes items étaient représentés lors des essais suivants, l'objectif était de générer une interférence proactive entre les éléments précédemment mémorisés et les nouveaux, ceci dans l'intérêt d'éviter le recours à la mémoire à long terme. Ainsi, seul un maintien actif en mémoire de travail par l'utilisation de mécanismes de maintien de l'information conduirait à un bon rappel sériel des éléments malgré l'interférence proactive agissant sur la qualité du rappel des informations stockées en mémoire à long terme (voir Underwood, 1957). En d'autres termes, aucun recours à la mémoire à long terme ne serait possible, seule l'utilisation de la mémoire de travail permettrait de réaliser la tâche. Enfin, en début d'expérience, juste avant la phase de consignes, nous vérifions la connaissance qu'avaient les enfants de ces sept couleurs. Comme dans l'Expérience 5, les items étaient présentés à travers quatre séries pour chaque longueur d'empan. Cependant, la longueur maximale pouvant être atteinte dans chaque condition expérimentale était de cinq items présentés lors d'une série, contre trois dans l'expérience précédente. Soixante items au maximum pouvaient ainsi être montrés à un enfant. De plus, une règle d'arrêt fut ajoutée afin de ne pas mettre les enfants trop longtemps en difficulté et d'éviter toute fatigue dès la première condition expérimentale présentée. Aussi, comme un effet plafond fut observé dans l'Expérience 5, une augmentation de la longueur maximum était nécessaire mais sans pénaliser les enfants grâce à la règle d'arrêt. Si un enfant échouait toutes les séries d'une même longueur, alors la condition expérimentale prenait fin. Autrement dit, afin de pouvoir poursuivre l'expérience sur la longueur suivante, l'enfant devait avoir au moins réussi parfaitement une série d'une longueur, c'est-à-dire que tous les items (en l'occurrence ici les couleurs) devaient être correctement rappelés sans omission ni ajout et dans l'ordre. Le rappel se faisait oralement par les enfants. La même voix masculine que celle de l'Expérience 5 fut utilisée pour enregistrer la dénomination des couleurs de smileys. Deux listes, ayant un ordre de présentation des items différent, furent employées lors de cette expérience. Si la liste A était présentée dans la première condition expérimentale, alors la liste B était utilisée lors de la seconde condition

expérimentale. Cependant, les items inclus dans les deux listes étaient les mêmes, c'est-à-dire qu'il y avait le même ratio pour chaque couleur pouvant être rappelée. La taille des items présentés à l'écran, ainsi que les timings quant à la présentation des images, des écrans blancs et de la croix de fixation étaient identiques à ceux de l'Expérience 5.

Les enfants ont été aléatoirement assignés à l'une des quatre conditions expérimentales et les effectifs étaient équilibrés entre les groupes. Dans la condition ne présentant ni gestuelle ni indiciage visuel, les enfants avaient à suivre visuellement le déplacement à l'écran d'un rectangle noir. Les points de départ et d'arrivée, la vitesse de déplacement, ainsi que les dimensions du rectangle, étaient identiques à ceux de l'Expérience 5 (*Figure 19*). Cependant, dans cette expérience, le rectangle commençait à se déplacer dès sa présentation. La durée de déplacement de la forme était de 4 000 ms pour les deux groupes d'âges. A l'arrivée du rectangle sur le bord droit de l'écran, un bonhomme apparaissait au-dessus de la forme. Cela permettait de signaler le début de la phase de rappel.

Dans la condition avec gestuelle et sans indiciage visuel de but, les enfants devaient déplacer du doigt le rectangle, via l'interface tactile. Lors de la phase de consignes, les enfants étaient encouragés, à cinq reprises, à déplacer le rectangle. Si la distance parcourue à l'écran n'atteignait pas un point virtuel à l'opposé de l'écran, correspondant à l'arrivée du rectangle en condition sans gestuelle, les enfants étaient incités à le déplacer encore. L'apparition du bonhomme après 4 000 ms et au même endroit que dans la condition sans gestuelle permettait d'indiquer le début de la phase de rappel.

Concernant la condition ne présentant pas de gestuelle mais proposant un indiciage visuel du but, un cartable identique à celui de l'Expérience 5 fut présenté. De même, une table était disposée à droite de l'écran et représentait, comme dans l'Expérience 5, le but à atteindre. Ici aussi, le cartable débuta son déplacement dès sa présentation, comme ce fut le cas avec le rectangle dans la condition sans indice visuel et sans gestuelle. Ainsi, l'animation des cartes allant dans le cartable, qui était présente dans l'Expérience 5, n'était plus diffusée dans cette expérience. Comme pour la condition sans gestuelle et sans indiciage visuel, la raison fut celle d'une égalisation des délais post-encodage dans l'ensemble des 4 conditions expérimentales et cela pour les 2 groupes d'âges. Il était cependant dit aux enfants que les smileys vus lors de la phase

d'encodage allaient dans le cartable, et qu'une fois celui-ci arrivé sur la table il fallait dire les couleurs des smileys pour que le bonhomme, apparaissant au-dessus du cartable et représentant la phase de rappel, puisse les connaître. Les délais et la vitesse de déplacement du cartable étaient identiques à ceux présents dans la condition sans indice visuel (le rectangle) et sans gestuelle. Le cartable, une fois arrivé sur la table, stoppait sa progression (mais restait fermé, contrairement à l'Expérience 5) et un bonhomme apparaissait au-dessus de celui-ci afin d'indiquer à l'enfant le début de la phase de rappel.

Enfin, la condition expérimentale avec gestuelle et avec indicage visuel permettait aux enfants de déplacer, avec leur doigt, le cartable vers la table. Il était indiqué aux enfants, lors des consignes, qu'ils devaient mener le cartable jusqu'à la table, toujours pour que le bonhomme du rappel puisse connaître les couleurs de smileys en lui disant. Un entraînement au déplacement fut proposé aux enfants, comme pour la condition sans indice de but. Celui-ci avait lieu entre la vérification de la connaissance des couleurs et l'entraînement complet à la tâche. Pour s'entraîner au déplacement de la forme, il était présenté aux enfants, à cinq reprises, uniquement la tâche de gestuelle avec son contexte (le cartable, la table et le bonhomme apparaissant).

### 6.3.2 Résultats

De façon identique à l'analyse des résultats de l'Expérience 5, nous avons mené des analyses bayésiennes en utilisant le prior défini par défaut dans le logiciel JASP. Trois sujets de 4 ans et un sujet de 5 ans furent exclus des analyses pour les raisons suivantes : deux enfants de 4 ans ne parvenaient pas à conserver leur attention sur la tâche informatisée et un enfant de 4 ans était en suivi orthophonique pour des difficultés de prononciation ; l'enfant de 5 ans ne respectait pas la consigne en rappelant les items entre les phases d'encodage et de rappel.

Concernant les groupes indépendants des deux modalités de l'indication visuel, nous n'avons pas observé de différence significative entre les groupes sur les scores bruts du K-ABC 2, que ce soit à 4 ans ou à 5 ans ( $BF_{s01} > 2,6$ ). Ainsi, nous avons réalisé des ANOVAs bayésiennes pour les analyses suivantes. Il est à noter que les performances des enfants de 4 et 5 ans présents dans cette expérience diffèrent significativement de la norme du K-ABC 2 en termes de capacités en mémoire de

travail. Le groupe d'enfants de 4 ans a obtenu des performances comparables à des enfants ayant en moyenne 11 mois de plus selon les normes du K-ABC 2, ce qui représente une différence significative,  $BF_{10} = 9,9 \pm 5,92 \times 10^{-4} \%$ . De même pour le groupe d'enfants de 5 ans, les performances étaient équivalentes à des enfants ayant en moyenne 1 an et 4 mois de plus selon les normes du K-ABC 2, ce qui représente également une différence significative entre notre échantillon de sujets et celui ayant constitué les normes du K-ABC 2,  $BF_{10} = 117 \pm 6,573 \times 10^{-8} \%$ .

Nous avons vérifié si, dans les conditions avec gestuelle, la forme (le rectangle ou le cartable) fut déplacée. Dans le groupe de 4 ans, lorsque les enfants étaient impliqués dans la condition sans indice visuel, ils ont déplacé le rectangle dans 97 % ( $\sigma = 5 \%$ ) des essais ; le cartable était lui déplacé dans 95 % ( $\sigma = 4 \%$ ) des essais de la condition avec indice visuel de but. Les enfants de 5 ans ont quant à eux déplacé le rectangle dans 99 % ( $\sigma = 3 \%$ ) des essais de la condition sans indice visuel et ont déplacé le cartable dans 98 % ( $\sigma = 3 \%$ ) des essais avec indice. Une ANOVA bayésienne a mis en évidence un effet principal de l'âge,  $BF_{10} = 3,33 \pm 0,003 \%$ , où ce modèle favori avait une probabilité 2,4 fois supérieure à celle du second modèle pour rendre compte des résultats ; second modèle qui incluait un effet principal de l'âge et un effet principal de l'indiciage visuel. Ainsi, nous avons retenu que seul l'âge avait un effet significatif sur le déplacement de la forme (rectangle ou cartable) lors d'un essai. Les enfants les plus âgés présentaient peu d'essais sans effectuer la gestuelle (1,5 %), comparés aux enfants les plus jeunes (4,1 %). La proportion d'essais où la gestuelle ne fut pas réalisée étant faible, et considérant l'absence de différence significative dans la réalisation de celle-ci entre les conditions avec et sans indice visuel, aucun enfant ne fut exclu sur cette base et les essais où la gestuelle ne fut pas réalisée furent conservés pour calculer les scores d'empan.

Afin de vérifier si la gestuelle était réalisée de façon identique dans les conditions avec ou sans indice visuel de but, nous avons analysé la distance de déplacement du rectangle et du cartable. Ceci nous permettait également de vérifier si le but (la table) était atteint dans la condition d'indiciage visuel. En connaissant les points de départ et de fin, nous avons pu mesurer la distance de déplacement et avons attribué 100 % de déplacement effectué lorsque, dans la condition avec indiciage visuel, le cartable était mené jusqu'au centre de la table disposée à droite de l'écran. Le point

final considéré pour attribuer la valeur de 100 % dans la condition sans indice visuel, donc sans présence de la table, fut le même point à l'écran que celui de la condition avec indice. Il est apparu que les enfants ont en moyenne dépassé ce point dans les conditions sans comme avec un indice visuel de but. De plus, la distance parcourue fut significativement plus importante sans indice (4 ans  $\bar{x} = 117\%$ ,  $\sigma = 16\%$  ; 5 ans  $\bar{x} = 125\%$ ,  $\sigma = 6\%$ ) qu'avec un indice visuel (4 ans  $\bar{x} = 106\%$ ,  $\sigma = 13\%$  ; 5 ans  $\bar{x} = 118\%$ ,  $\sigma = 6\%$ ) et cela à 4 ans comme à 5 ans. Ainsi, le modèle favori de l'analyse bayésienne impliquait un effet principal de l'âge et un effet principal de l'indiciage visuel sur la distance parcourue en déplaçant les formes,  $BF_{10} = 226 \pm 0,6\%$ . Ce modèle avait une probabilité 2,8 fois supérieure à celle du second modèle impliquant ces deux effets principaux ainsi qu'un effet d'interaction. Cet effet principal de l'indiciage visuel n'est pas surprenant compte tenu de l'absence de point de fin (la table) pour la condition sans indice visuel. Les enfants menaient alors majoritairement le rectangle vers le bord droit de l'écran.

Une ANOVA bayésienne fut réalisée sur les scores d'empan avec l'âge (4 ou 5 ans), l'indiciage visuel (avec ou sans indice), l'ordre des conditions (1<sup>er</sup> ou 2<sup>nd</sup>), la liste d'items (A ou B) comme facteurs inter-sujets, et la gestuelle (avec ou sans déplacement de la forme) comme facteur intra-sujets. L'ordre de présentation des conditions avec ou sans gestuelle, ainsi que la liste d'items présentée n'ayant pas eu d'effet sur les scores d'empan ( $BF_{S01} > 2,7$ ), ces variables furent retirées de l'analyse suivante. Une nouvelle ANOVA bayésienne incluant le groupe d'âge des sujets, l'indiciage visuel et la gestuelle a mis en évidence un effet principal de l'âge sur les scores d'empan où les enfants les plus âgés obtinrent de meilleurs scores d'empan que les plus jeunes (*Figure 20*),  $BF_{10} = 268 \pm 0,8\%$ . Pour rendre compte des résultats, ce modèle favori avait une probabilité 2,6 fois supérieure à celle du deuxième modèle incluant un effet de la gestuelle en plus d'un effet de l'âge, et avait une probabilité 3 fois supérieure à celle du troisième modèle de l'analyse incluant un effet de l'indiciage visuel avec un effet de l'âge. Ainsi, seul l'effet principal de l'âge fut significatif et retenu. Aucune interaction ne fut mise en évidence lors des analyses statistiques.

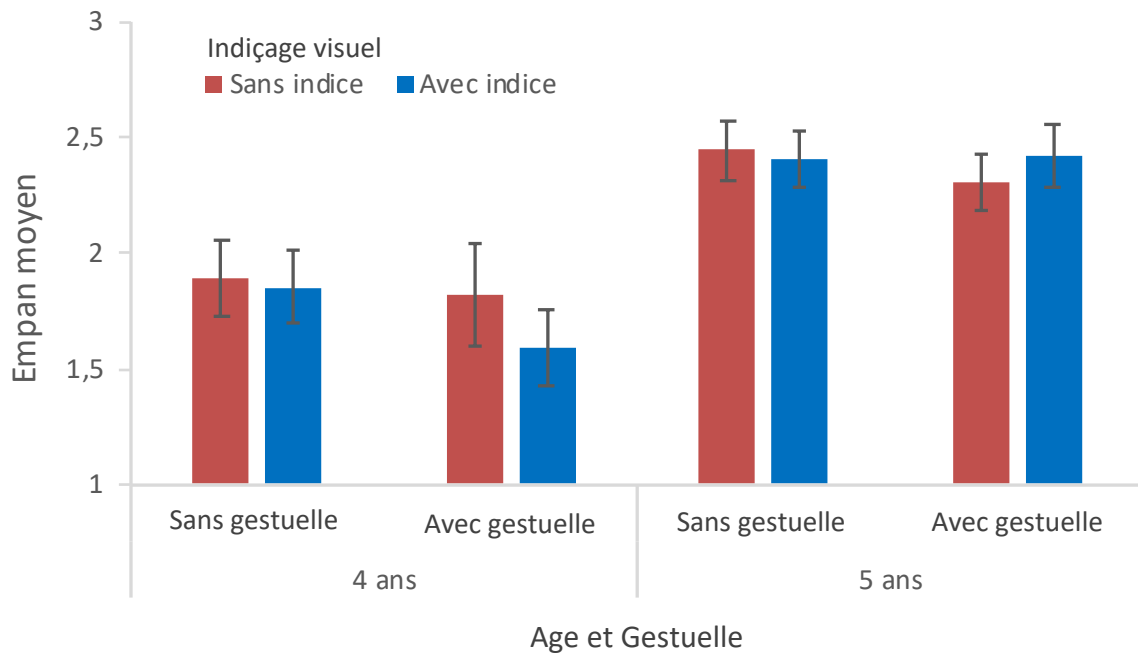


Figure 20. Empan moyen en fonction du groupe d'âge, de la gestuelle et de l'indiciage visuel dans l'Expérience 6. Les barres verticales représentent l'erreur type.

### 6.3.3 Discussion

Dans cette expérience, nous avons modifié l'activité motrice par une gestuelle qui impacte effectivement le mouvement de la forme à l'écran. Nous avons pour hypothèse que cette gestuelle moins contrainte devait aider les enfants à focaliser leur attention sur le but à atteindre et non plus sur le suivi au doigt de la forme, comme cela était supposé pour les enfants de 4 ans dans la précédente expérience. Les résultats obtenus n'ont pas permis de valider notre hypothèse. D'une part, nous n'avons pas observé d'amélioration des performances en mémoire de travail chez les enfants de 4 ans avec cette nouvelle procédure, d'autre part, nous n'avons pas répliqué l'aide apportée par la gestuelle orientée vers le but obtenue chez les enfants de 5 ans dans l'expérience précédente. Toutefois, l'effet d'âge fut de nouveau présent dans cette expérience. Les enfants de 5 ans ont obtenu de meilleures performances en mémoire de travail que les enfants de 4 ans. Également, nous avons constaté, tout comme dans la précédente expérience, une absence d'effet principal de l'indiciage visuel à 4 comme à 5 ans. Enfin, nous avons une fois encore observé une absence d'effet principal de la gestuelle. Ainsi, l'absence d'effet délétère de l'activité motrice est congruent avec l'absence d'utilisation de rafraîchissement attentionnel avant l'âge de 6 ans (Oftringer

& Camos, 2016; Tam et al., 2010), mais aussi l'absence d'effet bénéfique sur les performances en mémoire n'a pas permis de mettre en évidence un potentiel rôle de l'activité motrice sur une augmentation de l'éveil. Les limites de cette nouvelle méthode, concernant le déplacement effectif de la forme, seront discutées dans la partie suivante, en discussion générale.

## 6.4 Discussion générale

Faisant état de l'importance du maintien du but dans le développement du contrôle exécutif, ce chapitre tend à élargir les connaissances sur le maintien du but lors du développement de la mémoire de travail. À la suite du précédent chapitre rapportant notamment une aide d'un indiciage visuel dans la mise en place d'un mécanisme de répétition (Exp. 2a) mais avec un effet délétère sur les performances en mémoire de travail lors de la présentation d'un indiciage auditivo-verbal (Exp. 2b), nous avons exploré l'aide que pourrait apporter un nouveau type d'indiciage de but : l'indiciage endogène par la réalisation d'une gestuelle. De précédents travaux ont rapporté une amélioration des performances en mémoire de travail et en résolution de problèmes mathématiques chez des enfants lorsque ceux-ci devaient réaliser une gestuelle ayant un sens par rapport à la tâche réalisée (par ex. Cook & Goldin-Meadow, 2006; Goldin-Meadow et al., 2001). Ainsi, l'Expérience 5 et l'Expérience 6 sont à notre connaissance les premières expériences à tester l'impact d'une gestuelle porteuse de sens en lien avec le but à poursuivre comme aide au maintien du but lors d'une tâche de mémoire de travail et dans une population d'enfants d'âge préscolaire.

Pour résumer les résultats de ce chapitre, nous avons observé, dans l'Expérience 5, un effet combiné d'un indiciage exogène et endogène - indice visuel + gestuelle - sur les performances en mémoire de travail chez des enfants de 5 ans uniquement. Les enfants de 5 ans ont obtenu de meilleures performances en rappel libre lorsqu'ils étaient impliqués dans la condition expérimentale proposant la réalisation d'une gestuelle en présence d'un indiciage visuel du but. Ces résultats ne furent cependant pas répliqués dans l'Expérience 6 dans laquelle seul un effet principal de l'âge était présent. Aussi, aucun effet délétère de la gestuelle sur les performances en mémoire de travail à 4 ans comme à 5 ans ne fut observé. Nos résultats sont ainsi en accord avec la littérature démontrant qu'aucun mécanisme de

rafraîchissement attentionnel n'est spontanément utilisé avant l'âge de 6 ans (Oftringer & Camos, 2016; Tam et al., 2010). Enfin, l'absence d'effet principal de l'indiciage visuel sur les performances en mémoire de travail est quant à lui en accord avec les expériences du Chapitre 5 dont aucune expérience n'avait mis en évidence d'amélioration quantitative du rappel en présence d'un indiciage exogène de but.

L'absence de réplication de l'effet combiné de la gestuelle et de l'indiciage visuel dans l'Expérience 6 pourrait être dû au fait que la vitesse à laquelle les enfants pouvaient déplacer la forme était laissée libre, contrairement à l'Expérience 5 où cette vitesse était contrainte par le programme. Nous avons posé l'hypothèse d'une amélioration des performances en mémoire de travail en laissant la liberté aux enfants de déplacer la forme à la vitesse qu'ils le souhaitent. Une telle aide du libre choix de la vitesse motrice de marche fut démontrée dans l'étude de Schaefer et collaborateurs (2010). Toutefois, le déplacement du rectangle ou du cartable dans l'Expérience 6 fut effectué plus rapidement que dans l'Expérience 5. Lors de l'Expérience 6, les enfants atteignaient avec leur gestuelle le côté opposé de l'écran avant le début de la phase de rappel, les laissant en partie sans activité de gestuelle durant le délai du paradigme de type Brown-Peterson, alors que cette gestuelle perdurait jusqu'au début de la phase de rappel dans l'Expérience 5. En conséquence, le but put être moins longtemps indicé de façon endogène lors de l'Expérience 6.

Il apparaît être ainsi primordial de pouvoir conserver une activité motrice orientée vers le but durant l'ensemble du délai. En effet, l'aide au maintien du but semble se manifester dans cette condition précise dans notre première expérience mais aussi dans la tâche du jeu de « faire les courses » des études de Bertrand et Camos (2015) et d'Istomina (1948/1975). En plus de conserver l'activité motrice orientée vers le but durant tout le délai, l'environnement est lui-même enrichi en indices de but pendant ce délai et fournit ainsi des indices de but exogènes. En effet, que ce soit dans les études du jeu de « faire les courses » ou bien dans l'Expérience 5, les enfants dirigeaient leur activité motrice vers la représentation visuelle du but (le magasin dans le jeu de « faire les courses » ou la table où poser le cartable dans l'Exp. 5). Cette activité motrice, en étant orientée vers le but durant l'ensemble du délai post-encodage, représenterait ainsi une combinaison des indiciages endogène et exogène du but aidant au maintien du but. Dans l'Expérience 6, comme précédemment exposé, cette



condition d'indiciage endogène ne fut pas présente durant tout le délai du paradigme de type Brown-Peterson proposé. Les conditions n'étaient ainsi pas respectées pour aider les enfants utilisant un contrôle réactif à maintenir le but en créant un lien entre la phase d'encodage et la phase de rappel en conservant constante une gestuelle porteuse de sens.

Au-delà de la méthodologie d'indiciage endogène qui différait (action directe sur le déplacement de la forme et moins de gestuelle dans l'Exp. 6) entre les Expériences 5 et 6, un autre point de procédure fut modifié entre les expériences, il s'agissait du type de rappel. Dans l'Expérience 5, nous n'avions pas inclus de consigne concernant l'ordre du rappel. Les enfants avaient ainsi à effectuer un rappel oral libre. Dans l'Expérience 6, nous avons introduit une consigne sur l'ordre et les enfants devaient donc procéder à un rappel oral sériel. Cette différence de procédure peut avoir impacté l'effet d'aide au maintien du but présent dans l'Expérience 5 mais absent de l'Expérience 6. Dans l'étude d'Istomina (1948/1975), les enfants rappelaient librement les mots, comme cela fut le cas dans notre Expérience 5. Toutes deux ont démontré qu'une situation où l'activité motrice (de marche ou de gestuelle) est orientée vers le but permettait d'améliorer les performances en mémoire de travail des enfants d'âge préscolaire. Cependant, l'étude d'Istomina (1948/1975), sujette à des critiques méthodologiques, fut l'objet de nombreuses tentatives de reproductions sans pour autant parvenir à répliquer les effets obtenus par Istomina dans la majorité des cas. Wippich (1981) (d'après Schneider & Brun, 1987), qui a reproduit l'expérience d'Istomina mais en changeant le type de rappel, passant d'un rappel oral libre à un rappel oral sériel, n'en a pas répliqué les effets. C'est aussi le cas dans notre Expérience 6 où nous avons modifié le type de rappel pour un rappel oral sériel sans répliquer les résultats de l'Expérience 5. Ainsi, nous pouvons nous interroger sur le rôle que pourrait jouer le type de rappel sur le maintien du but dans le développement de la mémoire de travail.

Une part du rappel libre pourrait être réalisée en faisant appel à une composante de mémoire différente de la mémoire de travail. Le fait que l'effet de récence (composante du rappel libre faisant des derniers mots mémorisés les mieux rappelés, voir Murdock, 1962) ne soit pas altéré par la réalisation d'une tâche concurrente d'empan impliquant la mémorisation d'une séquence de six chiffres

indique que ce type de rappel ne ferait pas appel au même système à capacités limitées, c'est-à-dire à la mémoire de travail (Baddeley & Hitch, 1974). En effet, il a été mis en évidence que l'effet de récence lors d'une tâche de rappel libre n'est ni affecté par la similarité phonologique du matériel à mémoriser (Craik & Levy, 1970; Glanzer, Koppelaar, & Nelson, 1972) ni par l'effet de suppression articulatoire (Richardson & Baddeley, 1975) comme peuvent l'être les performances en mémoire lors de la réalisation d'une tâche d'empan impliquant un rappel sériel (Baddeley, 1966; Conrad, 1964; Levy, 1971; cités dans Baddeley et al., 1975). Cette persistance de l'effet de récence dans de telles tâches reflèterait ce que Baddeley et Hitch (1977) ont défini comme un effet de récence à long terme, faisant des derniers éléments mémorisés à long terme les mieux rappelés. Ainsi, employer une tâche de rappel libre lors de la réalisation d'un paradigme de type Brown-Peterson pourrait mener les sujets à faire appel à une récupération des items à partir d'un stockage en mémoire à long terme.

Par la présence d'une amélioration des performances de rappel lors de tâches de rappel libre en condition de jeu de courses (Istomina, 1948/1975) et en condition mêlant indiciage exogène et endogène (Exp. 5), mais aussi par l'absence de réplication d'un effet de l'indiciage dans l'Expérience 6 impliquant une tâche de rappel sériel, l'aide au maintien du but se révélerait d'une meilleure efficacité dans une tâche impliquant un rappel libre plutôt que dans une tâche de rappel sériel. A la lumière des éléments théoriques préalablement discutés, l'aide au maintien du but pourrait se révéler crucial lorsque la tâche mène à récupérer en mémoire à long terme des items précédemment encodés. La manipulation du type de rappel sera l'un des objets d'étude de l'Expérience 8 présentée dans le prochain chapitre. Elle aura pour objectif de comparer l'effet d'un rappel oral sériel à une tâche de reconstruction, deux types de tâches qui pourraient également avoir un effet sur le maintien du but durant une tâche de mémoire en permettant soit une récupération de la trace mnésique en mémoire de travail, soit en mémoire à long terme.

Pour conclure, les évidences empiriques obtenues dans le présent chapitre suggèrent que le maintien du but pourrait être crucial lors de la réalisation d'une tâche de rappel libre dans un paradigme de type Brown-Peterson, ceci notamment chez des enfants de 5 ans. L'absence de réplication d'une aide apportée par la gestuelle porteuse de sens dans l'Expérience 6 nous indique, aux vues des changements méthodologiques

entre les Expériences 5 et 6, que l'obtention d'un tel effet sur les performances de rappel serait strictement dépendant du type de rappel mais aussi d'une activité motricité orientée vers le but pendant l'ensemble du délai. Ce dernier point vient renforcer l'hypothèse interprétative présentée dans le Chapitre 5 selon laquelle les enfants d'âge préscolaire utilisant majoritairement un contrôle réactif auraient besoin d'aide pour lier l'encodage au rappel dans une tâche de type Brown-Peterson, ceci afin d'adopter une posture proactive par la mise en place de mécanismes de maintien de l'information ; ce qu'auraient permis de faire les conditions de jeu d'Istomina (1948/1975) et de Bertrand et Camos (2015) et notre nouvelle procédure d'une gestuelle orientée vers le but chez des enfants de 5 ans. Cependant, l'absence d'effet de la gestuelle orientée vers le but à 4 ans, que ce soit dans l'Expérience 5 comme dans l'Expérience 6, pourrait suggérer que la combinaison d'un indiciage exogène à un indiciage endogène ne serait pas suffisante à des enfants de moins de 5 ans.

Lors de futures recherches avec une population d'enfants d'âge préscolaire, il paraît important de conserver constants les critères d'indiciage exogène et endogène pendant l'ensemble du délai, afin d'aider au maintien du but, notamment chez des enfants de 5 ans étant en mesure de passer d'un traitement majoritairement réactif des stimuli à un traitement proactif lorsqu'ils y sont encouragés. Un enrichissement de l'indiciage serait aussi à considérer. Les études d'Istomina (1948/1975) et de Bertrand et Camos (2015) apportent un élément supplémentaire que ne possèdent pas l'ensemble de nos précédentes expériences, celle d'incarner un rôle lors d'une tâche construite sous la forme d'un jeu. Un tel élément permettrait aux enfants d'incarner le but car étant physiquement impliqués dans son achèvement. Ainsi, le chapitre suivant consacre deux expériences à l'étude de l'influence du jeu de rôle dans le maintien du but lors de la réalisation d'une tâche de mémoire de travail par des enfants d'âges préscolaire et scolaire. Les différents éléments pouvant impacter le maintien du but chez les enfants lors d'une tâche de mémoire de travail, c'est-à-dire les influences d'un indiciage exogène, d'un indiciage endogène, et du jeu de rôle y seront étudiés.

## RÉSUMÉ

Dans ce chapitre, nous avons mis en place une nouvelle méthodologie d'aide au maintien du but ayant pour objectif de faciliter l'utilisation de l'indiciage chez des enfants d'âge préscolaire utilisant un contrôle majoritairement réactif. Dans le chapitre précédent, nous relevions que l'absence d'effet d'un indiciage exogène sur les performances en mémoire de travail des jeunes enfants pourrait s'expliquer par leur non compréhension quant à l'utilité d'un indiciage visuel ou auditivo-verbal présenté durant la tâche concurrente d'un paradigme de type Brown-Peterson. Dans ce chapitre, nous avons proposé qu'aider les enfants par la réalisation d'une gestuelle porteuse de sens et orientée vers le but faite durant le délai de rétention leur permettrait de faire le lien entre encodage et rappel et serait ainsi bénéfique au maintien du but. Sur les deux expériences réalisées et les deux groupes d'âges testés dans chacune de ces expériences, seul un groupe d'enfants de 5 ans (Exp. 5) a montré une amélioration des performances de rappel dans la condition proposant une combinaison d'indiciages exogène et endogène. Pour rendre compte d'une absence d'effet chez les enfants de 4 ans et de la non-réplication de nos résultats dans l'Expérience 6, deux principales hypothèses furent proposées. Premièrement, le fait que la gestuelle ne fut pas réalisée durant l'ensemble du délai de l'Expérience 6 rendrait en partie compte de l'absence d'effet d'indiciage dans cette expérience. Cette situation n'aurait pas permis aux enfants employant majoritairement un contrôle réactif de lier l'action de mémoriser au but de rappeler les items après quelques secondes de délai, résultant en une négligence du but et donc en l'absence d'activation de mécanismes de maintien de l'information. Deuxièmement, les différents types de rappel employés dans chacune des deux expériences pourraient être en cause quant aux résultats divergents. L'aide au maintien du but s'avérerait aidante lorsque les enfants ont recours à une récupération des items en mémoire à long terme. Dans le prochain chapitre, nous testerons une nouvelle méthodologie permettant aux enfants d'être physiquement impliqués dans le but à poursuivre, incarnant ainsi le but à poursuivre au travers d'un jeu de rôle. L'activité motrice, durant le délai, sera également gardée constante afin de favoriser la création d'un lien entre l'encodage et le rappel. Enfin, le type de rappel sera manipulé pour étudier la part d'influence que pourrait avoir un encodage des items en mémoire à long terme ou en mémoire de travail sur la négligence du but.

# Chapitre 7

## Indiçage et jeu de rôle

Ce chapitre de thèse traite de l'aide au maintien du but via une situation de jeu de rôle. Suite au Chapitre 6 portant sur l'association entre indiçage exogène et indiçage endogène, nous sommes arrivés à la conclusion de la nécessité de proposer un contexte hautement signifiant en indices exogènes, endogènes et où les enfants deviendraient les porteurs du but. Ainsi, nous avons, dans ce dernier chapitre empirique, impliqué les enfants dans un jeu de rôle où le fait de jouer un rôle permettrait aux enfants d'incarner le but de la tâche.

### 7.1 Introduction

Le concept de but évoque l'intention d'accomplir une tâche, qu'elle soit mentale ou physique (Altmann & Trafton, 2002, p.39). Son maintien en mémoire de travail est nécessaire à la bonne réalisation d'une tâche (Marcovitch et al., 2007, 2010). Dans le cas où le but ne serait plus consciemment accessible durant une activité, celle-ci ne pourra être menée à bien et une baisse des performances s'en suivra. Malgré cela, en questionnant les sujets à la fin de l'exercice sur l'objectif de la tâche, ceux-ci sont en mesure de rappeler quel était son but. Ce phénomène fut nommé « la négligence du but » (Duncan et al., 1996). Les jeunes enfants sont particulièrement confrontés à la négligence du but, ce qui altère leurs performances de flexibilité et d'inhibition (par ex. Blaye & Chevalier, 2011; Chevalier & Blaye, 2008, 2009). Mais il y a un moyen d'y remédier, c'est de leur présenter un indice de but durant la réalisation de la tâche (Towse et al., 2007). Le but, une fois correctement maintenu en mémoire de travail, permet aux jeunes enfants de réaliser efficacement des tâches exécutives. Très étudié dans le domaine des fonctions exécutives, nous en savons pourtant peu sur le rôle du maintien du but dans le domaine de la mémoire de travail. Les deux expériences suivantes ont eu pour objectif d'apporter de nouveaux éléments de compréhension quant au lien qu'il pourrait y avoir entre le maintien du but et le développement de la mémoire de travail chez des enfants de 5 à 7 ans.

La mémoire de travail est une composante du fonctionnement cognitif étudiée depuis plus de quatre décennies. De nombreuses conceptions cohabitent, mais nous pouvons citer la définition générique et consensuelle suivante : « La mémoire de travail correspond à l'ensemble des composants de l'esprit qui retiennent temporairement une quantité limitée d'information dans un état de disponibilité accrue pour être utilisée dans le traitement de l'information en cours » (Cowan, 2016, p. 14-15). Deux périodes développementales peuvent être distinguées. Avant l'âge de 6-7 ans, aucun mécanisme de maintien de l'information ne serait utilisé pour pallier le déclin temporel des traces mnésiques. Ainsi, le temps influence directement la capacité de rappel des enfants d'âge préscolaire ; moins de temps se sera écoulé entre l'encodage et le rappel, meilleur sera le rappel (Cowan et al., 2000). Après l'âge de 6-7 ans, les enfants commencent à utiliser des mécanismes permettant de lutter contre le déclin des traces mnésiques avec le temps (par ex. Allik & Siegel, 1976; Barrouillet et al., 2009; Camos & Barrouillet, 2011; Flavell et al., 1966; Hitch & Halliday, 1983; Oftinger & Camos, 2016; Tam et al., 2010). Il s'agit notamment de la répétition phonologique et du rafraîchissement attentionnel. Le mécanisme de répétition consiste à répéter en boucle les items à conserver en mémoire et permet ainsi de lutter contre leur déclin temporel. Ce mécanisme fut intégré dans la part active de la structure de la boucle phonologique du modèle de Baddeley et Hitch (1974). Le rafraîchissement attentionnel, lui, est une refocalisation de l'attention sur l'information précédemment encodée. Ce mécanisme est demandeur en ressources attentionnelles. Ainsi, le traitement de toute activité concurrente à celle de maintenir actif les éléments en mémoire et nécessitant de l'attention entraînera une baisse des performances en mémoire due au détournement des ressources attentionnelles qui étaient dévolues au maintien de l'information (Barrouillet et al., 2004). Au-delà de l'augmentation des ressources attentionnelles (Gavens & Barrouillet, 2004), mais aussi de la maturation cérébrale (voir Tsujimoto, 2008, pour une revue), ainsi que du développement du contrôle attentionnel (Zelazo & Frye, 1998), et du développement du contrôle exécutif (Diamond, 2006), nous proposons que l'amélioration du maintien du but durant la période préscolaire pourrait jouer un rôle dans l'apparition et l'utilisation de ces mécanismes de maintien de l'information en mémoire de travail. Basé sur notre connaissance que les jeunes enfants ont des difficultés à maintenir actif le but lors

d'une tâche exécutive (Chevalier & Blaye, 2008; Marcovitch et al., 2007, 2010; Yanaoka & Saito, 2017), mais également en référence aux évidences empiriques obtenues lors des sept précédentes expériences, nous avons élaboré dans ce chapitre une situation d'indiciage regroupant l'ensemble des facteurs que nous savons en mesure d'aider au maintien du but.

L'indiciage exogène est le type d'indiciage majoritairement étudié dans le domaine des fonctions exécutives. Par la présentation d'une image ou d'un élément auditif en rapport au but lors de la réalisation de la tâche, les enfants améliorent leur fonctionnement exécutif. Nous savons que la qualité des indices influence l'aide qu'ils apportent au maintien du but. Ainsi, plus un indice visuel est transparent, c'est-à-dire dont la signification sera facile à saisir, plus cet indice est efficace pour améliorer les performances en contrôle exécutif des enfants, ce qui est interprété comme étant le résultat d'un meilleur maintien du but grâce à la transparence accrue de l'indiciage (Blaye & Chevalier, 2011; Chevalier & Blaye, 2009; Towse et al., 2007). Le format de l'indiciage exogène a aussi un impact sur son efficacité. Un indice auditivo-verbal sera de meilleure aide au maintien du but qu'un indice visuel (Chevalier & Blaye, 2009). La raison vient du fait que le but est maintenu en mémoire de travail dans un code verbal (Gruber & Goschke, 2004). Ainsi, à la différence de l'indiciage auditivo-verbal, l'indice visuel nécessitera un transcodage du code visuel au code verbal pour pouvoir être utilisé. Ce transcodage est coûteux en temps et en ressources cognitives. Lors du Chapitre 5, nous avons employé ces deux types d'indices exogènes pour aider au maintien du but chez les enfants de 4 à 9 ans. Nous avons constaté qu'en présence d'un indiciage visuel transparent, les enfants de 6 ans utilisaient plus fréquemment un mécanisme de répétition articulatoire (Exp. 2a). Cependant, cela ne venait pas impacter les performances quantitatives en mémoire de travail. Dans une autre expérience (Exp. 2b), nous avons présenté aux enfants un indice auditivo-verbal. Malgré l'utilisation du format le plus aidant pour rappeler le but dans le domaine du contrôle exécutif, nous avons observé un effet délétère de l'indiciage auditivo-verbal, car celui-ci venait interférer avec les items verbaux de la tâche de mémorisation. Ainsi, seul l'indiciage visuel pouvait être employé dans une tâche de mémoire de travail verbale sans venir interférer avec le matériel à mémoriser. Compte tenu des résultats rapportés dans le Chapitre 5, il s'agissait, dans les expériences du Chapitre 6, d'utiliser

une méthodologie qui serait d'une part inspirée de l'indiciage exogène et d'autre part qui tiendrait compte des spécificités du fonctionnement cognitif des jeunes enfants, telles qu'une moindre attention et un fonctionnement exécutif réactif plutôt que proactif (par ex. Blackwell & Munakata, 2014; Chatham et al., 2009; Gonthier et al., 2019; Lucenet & Blaye, 2014). Les expériences du Chapitre 6 avaient pour objectif de combiner un indiciage exogène du maintien du but aux apports que pouvait procurer la réalisation d'une gestuelle lors d'une tâche de mémoire de travail.

La production de gestes, lors d'une tâche de résolution de problème, permet d'améliorer les performances cognitives (Cook & Goldin-Meadow, 2006; Goldin-Meadow et al., 2001). L'une des raisons avancées par certains auteurs en est la libération de ressources cognitives pouvant être recrutées par les exigences de la tâche (Cook et al., 2012; Goldin-Meadow, 2011). Cela se produit lorsque la gestuelle a du sens dans la tâche où elle est réalisée. Ces ressources attentionnelles pourraient être ensuite allouées au maintien actif des éléments en mémoire de travail par un mécanisme de rafraîchissement attentionnel. Ainsi, une gestuelle porteuse de sens pourrait aider au maintien du but en permettant de rendre disponible des ressources attentionnelles, de focaliser une part de cette attention sur le but à poursuivre (voir Igualada et al., 2017, pour une focalisation de l'attention par les gestes sur certains éléments verbaux), et de faire le lien entre l'encodage des éléments et leur rappel. La réalisation d'un tel lien pourrait être aidant chez des enfants utilisant majoritairement un contrôle réactif. De plus, la gestuelle que nous avons mise en place dans les expériences du Chapitre 6 pouvait être orientée vers le but en déplaçant une image de cartable pour l'amener au niveau d'un dessin de table. La réalisation de cette gestuelle associée à l'indiciage exogène des éléments à déplacer permettait ainsi un indiciage endogène dû à cette orientation de l'activité motrice et au caractère temporel de cette activité. En effet, les enfants sont en mesure de se baser sur des indications endogènes, telles que la rythmicité d'une tâche, pour réaliser les exigences demandées par cette tâche (Dauvier et al., 2012). Les résultats obtenus dans le Chapitre 6 nous ont mené à considérer un enrichissement du contexte dans lequel la tâche était réalisée car, en effet, l'Expérience 5 permet de mettre en évidence un effet d'aide au maintien du but dans la condition qui joignait l'indiciage exogène à l'indiciage endogène ; les enfants de 5 ans avaient de meilleures performances en mémoire de travail lorsqu'ils



bénéficiaient d'un contexte ayant du sens par rapport au but à atteindre et lorsqu'ils effectuaient une activité motrice orientée vers le but. Cependant, cet effet ne fut pas répliqué lors de l'Expérience 6 et celui-ci était faible, d'après le bayes factor obtenu dans l'Expérience 5. Ces résultats, ainsi que les études d'Istomina (1948/1975) et de Bertrand et Camos (2015), sont à considérer pour enrichir le paradigme expérimental en différentes modalités d'indiciages.

Un paradigme original fut développé par Istomina (1948/1975) pour étudier le développement de la mémoire volontaire chez les enfants. Il s'agissait pour l'auteur de mettre en évidence sous quelles conditions les enfants devenaient capables de distinguer des buts tels que mémoriser et rappeler. Une chose primordiale selon Istomina était d'utiliser une méthodologie qui devait avoir du sens par rapport aux buts de mémoriser, puis de rappeler, cela grâce au contexte. De plus, la tâche devait être motivante pour des jeunes enfants. Cette motivation, selon Istomina, permettrait de créer les conditions nécessaires à l'identification et au maintien du but (p. 9). L'auteur présenta ainsi une condition de jeu qui demandait aux enfants de faire les courses. Cette condition fut comparée à une situation de leçon, ressemblant davantage aux tâches faites en laboratoire. La condition de jeu fut choisie car elle répondait aux critères précédemment cités : distinction des buts, porteuse de sens pour le but à atteindre et motivante. Elle était ainsi riche en indices exogènes de but de par la présence d'un magasin, des items à récupérer, des autres enfants et de l'expérimentateur jouant les employés du magasin. Mais cette condition de jeu était également hautement riche en indices endogènes de but, car, outre l'activité motrice qui était orientée vers le but, les enfants jouaient un rôle lors de la tâche. Ce jeu de rôle permettrait un maintien efficace du but car « la relation entre le but et l'acte devient une relation intrinsèque » selon Istomina (1948/1975, p. 60). Chaque enfant incarnerait le but à atteindre. L'auteur observa une amélioration des performances en mémoire chez des enfants de 3 et 4 ans dans la condition de jeu comparée à la condition de leçon. Plus récemment, une étude de Bertrand et Camos (2015) mit en évidence un effet d'amélioration des performances en mémoire de travail chez des enfants de 4 à 6 ans, en utilisant un paradigme semblable à celui d'Istomina. Ces deux études concordent dans l'aide que pourrait apporter une mise en acte d'une situation inspirée de la vie quotidienne dans la gestion des buts.

Dans le présent Chapitre, nous avons, à travers deux expériences, testé l'effet du jeu de rôle dans l'aide qu'une telle situation pourrait apporter au maintien du but, cela dans une tâche de mémoire de travail. L'Expérience 7 avait pour objectif de dissocier les diverses influences ayant pu intervenir dans l'aide au maintien du but lors des études d'Istomina (1948/1975) et de Bertrand et Camos (2015). A travers quatre conditions expérimentales, nous avons analysé quelle pourrait être la part de l'indiciage exogène seul, de l'indiciage endogène seul, et de l'association des deux faisant de la condition expérimentale de jeu de rôle une situation hautement signifiante quant au but à poursuivre. Pour ce faire, nous avons dissocié les influences de la marche, qui était orientée vers le magasin dans les deux précédentes études, de la présence du magasin. La marche, en étant une activité rythmée, pourrait fournir un indiciage endogène du moment où le rappel aura lieu et permettrait ainsi un meilleur maintien du but. La marche serait également en mesure d'améliorer les performances en mémoire de travail chez les enfants d'âge scolaire (Schaefer et al., 2010). Le magasin, quant à lui, fournirait un indiciage exogène aux enfants. Cette représentation transparente du but à atteindre serait bénéfique au maintien du but et conduirait ainsi à une amélioration des performances mnésiques. Enfin, l'association d'un indiciage exogène, par la présence du magasin, à un indiciage endogène, par la marche, permettrait de créer la situation de jeu de rôle où l'activité deviendrait orientée vers le but et l'enfant incarnerait cet objectif.

Dans l'Expérience 7, de façon similaire aux situations énoncées ci-avant, et cela durant le délai d'un paradigme de type Brown-Peterson, les enfants avaient à marcher droit devant eux sans but à atteindre pour la condition n'impliquant qu'un indiciage endogène. Dans la condition expérimentale proposant uniquement un indiciage exogène, les enfants attendaient immobiles devant le magasin. Enfin, la condition de jeu de rôle, similaire à celle de Bertrand et Camos (2015, Exp. 2), demandait aux enfants de marcher en direction du magasin. Une dernière condition ne proposait aucun de ces indiciages ; les enfants restaient immobiles face aux expérimentateurs et sans présence du magasin. Cette dernière condition s'apparentait à la condition de leçon d'Istomina (1948/1975). Compte tenu de nos précédents résultats, notre hypothèse était que les jeunes enfants tireraient bénéfices d'une condition de jeu de rôle, d'une part pour maintenir efficacement le but, d'autre part pour mettre en place des

mécanismes de maintien de l'information et ainsi améliorer leurs performances en mémoire de travail. L'amélioration des performances en mémoire de travail dans les études d'Istomina (1948/1975) et de Bertrand et Camos (2015) proviendrait de ce type d'aide combinée et non pas d'un effet d'éveil dû à l'activité de marche ou d'un effet d'indiciage visuel uniquement.

Des enfants de 5, 6 et 7 ans furent ainsi testés dans l'Expérience 7. Nous nous attendions à observer une amélioration des performances en mémoire de travail dans la condition de jeu de rôle seulement dans les groupes d'enfants les plus jeunes, c'est-à-dire avant l'âge de 6-7 ans où l'utilisation des mécanismes de maintien de l'information ne se fait pas de façon spontanée. L'aide au maintien du but par le jeu permettrait ainsi l'utilisation de ces mécanismes. Nous avons également une hypothèse d'un effet principal délétère de la marche chez les enfants ayant plus de 6-7 ans, dû à la nécessité de partager les ressources attentionnelles (Barrouillet et al., 2009; Camos & Barrouillet, 2011; Towse & Hitch, 1995) entre l'activité motrice de marche et le maintien des informations en mémoire de travail si un mécanisme de rafraîchissement attentionnel était utilisé. Cependant, cet effet délétère pourrait ne pas être observé si les enfants mettent en place un mécanisme de répétition subvocale moins demandeur en ressources attentionnelles (Camos, Mora, & Oberauer, 2011), dont l'activité de marche ne pourrait venir en concurrencer le fonctionnement. C'est également par l'activation de la répétition que les enfants de 5 ans pourraient améliorer leurs performances en mémoire de travail dans la condition de jeu de rôle.

L'Expérience 8 avait pour objectif de répondre aux résultats inattendus obtenus dans l'Expérience 7. Ces résultats étaient contraires à ceux obtenus par Istomina (1948/1975) et Bertrand et Camos (2015). Un élément de procédure différait entre l'Expérience 7 et l'étude de Bertrand et Camos (2015). Il concernait le type de rappel qui y était employé. Ce point sera davantage développé en discussion de l'Expérience 7. Nous avons ainsi, dans l'Expérience 8, manipulé le type de rappel en proposant aux jeunes sujets soit un rappel oral sériel, soit une tâche de reconstruction. Le type de contexte expérimental fut également manipulé en impliquant les sujets soit dans une condition de jeu de rôle, soit dans une condition d'exercice. Des enfants de 5 ans furent testés. Nous avons pour hypothèse qu'aider au maintien du but par une condition de jeu de rôle lorsque celle-ci implique une tâche de reconstruction

permettrait aux enfants d'améliorer leurs performances en mémoire de travail, cela comparé à une condition d'exercice impliquant une tâche de reconstruction qui conduirait à une négligence du but et donc altérerait les performances en mémoire de travail. La théorie ainsi que les hypothèses seront plus amplement développées en introduction de l'Expérience 8.

## 7.2 Expérience 7

Pour cette expérience, nous avons comme objectif de tester l'impact de l'incarnation d'un rôle, par le jeu, sur l'aide au maintien du but chez des enfants de 5 à 7 ans. Nos précédents résultats obtenus lors des Expériences 1 à 6, ainsi que les résultats provenant des études antérieures (Istomina, 1948/1975 ; Bertrand et Camos, 2015) convergent vers l'idée que l'aide au maintien du but dans le domaine de la mémoire de travail pourrait se faire via une association d'indiciages exogènes, endogènes et incarné. C'est pourquoi, dans cette expérience, nous avons investigué l'aide au maintien du but lors d'un jeu de « faire les courses ». Les divers aspects pouvant influencer l'aide au maintien du but, tel que l'indiciage exogène de la vision du magasin et l'indiciage endogène de l'activité de marche, furent également dissociés. Cette dissociation des facteurs avait pour objectif de contrôler si de tels éléments pouvaient avoir un effet en étant isolés lors d'une tâche plus écologique que celles proposées dans nos expériences antérieures.

### 7.2.1 Méthode

#### 7.2.1.1 Participants

Quatre-vingt-dix-neuf enfants de 5 ans (moyenne d'âge = 5,0 ans ; écart-type = 0,4 ; 42 filles), quatre-vingt-trois enfants de 6 ans (moyenne d'âge = 5,9 ans ; écart-type = 0,4 ; 37 filles), et soixante-dix enfants de 7 ans (moyenne d'âge = 6,9 ans ; écart-type = 0,3 ; 30 filles) ont pris part à l'expérience. Les enfants recrutés étaient de langue maternelle française, étrangère, ou bilingue. La majorité d'entre eux étaient caucasiens et issus d'un milieu socio-économique moyen. Aussi, aucune information démographique ne fut relevée. Les expérimentations se déroulèrent à l'école des enfants dans un lieu calme. L'expérience fut approuvée par le comité d'éthique local. Enfin, nous avons diffusé, puis obtenu en retour de la part des parents ou des tuteurs

légaux, un formulaire de consentement. De plus, les enfants donnaient oralement leur consentement avant de débiter l'expérience.

### 7.2.1.2 Matériel et procédure

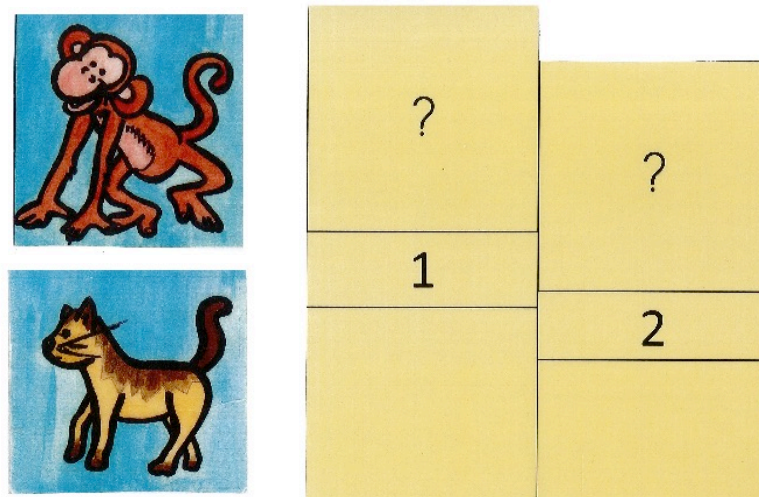
La méthode de cette expérience est une adaptation de celle utilisée par Bertrand et Camos (2015). Dans un paradigme de type Brown-Peterson, les enfants avaient à mémoriser une liste de fruits et légumes. Puis, après un délai de 4 secondes dont la durée était identique au délai de l'Expérience 6 et à celui de l'Expérience 2 de Bertrand et Camos (2015), avait lieu la phase de rappel oral sériel. Dans cette expérience, les enfants furent distribués en deux groupes indépendants. Un groupe était engagé dans deux conditions expérimentales ne présentant pas d'indiciage du but, l'autre groupe prenait part à deux conditions expérimentales avec indiciage du but. Chaque enfant des deux groupes réalisait une condition sans activité motrice et une autre condition avec activité motrice. L'ordre de présentation des deux conditions était contrebalancé. Ainsi, le plan expérimental était un plan mixte avec une variable inter-sujets à deux modalités, avec et sans indiciage, et une variable intra-sujets à deux modalités, avec et sans activité motrice (Tableau 3). Afin de nous assurer que nos groupes indépendants de sujets ne différaient pas en termes de capacités en mémoire de travail, nous avons utilisé une épreuve contrôle nommée « la course des animaux » (Majerus, Poncelet, Greffe, & Van der Linden, 2006).

Tableau 3. *Distribution des échantillons de sujets dans l'Expérience 7 selon un plan mixte en fonction de l'âge, de l'activité motrice et de l'indiciage.*

		Activité motrice	
		Sans et Avec	
Indice visuel de but	5 ans	Sans	35
		Avec	35
	6 ans	Sans	37
		Avec	36
	7 ans	Sans	34
		Avec	35

L'administration de la course des animaux avait lieu avant et un jour différent de la passation des deux conditions expérimentales. Plusieurs enfants pouvaient

réaliser en parallèle la tâche de la course des animaux. Chaque enfant exécutait l'exercice avec l'un des 11 expérimentateurs (9 femmes et 2 hommes). La tâche se faisait de façon silencieuse car celle-ci ne nécessitait pas de réponse orale de la part des enfants et la présentation des items s'effectuait via un enregistrement audio de la séquence à mémoriser que les enfants entendaient grâce à un casque audio. Il était dit aux enfants que des animaux aller prendre part à des courses et qu'il fallait bien écouter dans quel ordre ils allaient passer la ligne d'arrivée. Cette séquence était à reproduire en disposant, sur un podium, des cartes représentant les animaux entendus précédemment du premier animal au dernier ayant passé la ligne d'arrivée (*Figure 21*). L'encodage débutait avec deux items présentés par série et se poursuivait jusqu'à 7 items dont il fallait mémoriser l'ordre de présentation. Chaque longueur était constituée de quatre séries d'items. Seulement l'ordre était à rappeler car l'expérimentateur donnait aux enfants, lors du rappel, uniquement les cartes présentant les animaux encodés précédemment. Les enfants devaient disposer toutes les cartes sur le podium pour continuer sur la série suivante. La tâche n'avait pas de règle d'arrêt et durait en moyenne 45 minutes par enfant. Deux scores furent calculés. Un score, le Score 1, correspondait au nombre de séries entières et correctement reproduites, l'autre score, le Score 2, faisait référence au nombre de positions d'items correctement rappelées y compris pour les séries mal reproduites.



*Figure 21.* Illustration du matériel de « la course des animaux » utilisé dans l'Expérience 7. A gauche, un échantillon des items pouvant être présentés. A droite, la partie du podium affiché lorsque l'ordre de deux items est à mémoriser.

Le jour où avait lieu la tâche de la course des animaux, nous relevions, après la passation de l'épreuve contrôle, la distance de marche parcourue durant 4 secondes par chaque enfant ayant reçu la consigne de marcher « normalement » droit devant eux et au signal de l'expérimentateur. Après un essai d'entraînement, chaque enfant effectuait trois essais. La distance moyenne de ces trois essais permettait de disposer le magasin à la distance que chaque enfant parcourrait lors des 4 secondes de délai. Pour indication, la distance moyenne de marche était de 4,6 m à 5 ans, 5,3 m à 6 ans et 5,5 m à 7 ans.

Quelques jours plus tard (9 jours en moyenne) avait lieu la passation des conditions expérimentales. Pour l'ensemble des conditions, les enfants avaient à mémoriser une liste croissante de 1 à 5 fruits et légumes en plastique (*Figure 22*) présentés par séries et sélectionnés pour leurs noms bi-syllabiques sur le plan phonologique, mais aussi car ils étaient de formes et de couleurs variées facilement distinguables : banane, tomate, orange, citron, carotte. Quatre séries d'un même nombre d'items étaient présentées successivement et constituaient une longueur d'empan. Le score d'empan fut calculé en utilisant la même méthode de calcul que celle employée dans les précédentes expériences de cette thèse. Chaque série parfaitement rappelée (tous les items dans l'ordre sans ajout ni omission) valait  $\frac{1}{4}$  de point de sorte qu'une longueur dont le rappel était parfait à toutes les séries valait 1 point. Tous les  $\frac{1}{4}$  de point étaient additionnés pour obtenir le score d'empan du sujet (Barrouillet et al., 2009; Bertrand & Camos, 2015; Smyth & Scholey, 1992). La présentation des items se faisait de façon aléatoire contrôlée. Ainsi, deux listes d'items ayant un ordre différent furent utilisées. Une règle d'arrêt similaire à celle utilisée dans l'expérience antérieure était présente. La passation de la condition expérimentale prenait fin lorsqu'au moins l'une des séries d'une longueur était échouée. Aucun feedback sur la qualité des réponses n'était fait aux enfants. Dès le début de l'expérience, un des deux expérimentateurs présent (parmi les 11, dont 10 étaient naïfs quant aux hypothèses expérimentales) questionnait le sujet sur sa connaissance des fruits et légumes en lui demandant de nommer chaque item. Si un item n'était pas connu de l'enfant, l'expérimentateur disait le nom du fruit ou légume à l'enfant et lui redemandait immédiatement de quoi il s'agissait. Tant que l'enfant ne répétait pas correctement le nom de l'item juste après la dénomination par l'expérimentateur, le

nom de celui-ci était répété. Une fois l'item correctement nommé par l'enfant, le questionnement se poursuivait avec les autres items. Un cycle de dénomination des items était fait une deuxième fois, si l'enfant avait auparavant échoué lors d'une dénomination spontanée d'un item. L'item ou les items inconnus étaient présentés en fin de liste. Si ceux-ci n'étaient toujours pas correctement nommés par l'enfant, une nouvelle phase de mémorisation à court terme était proposée, puis un troisième et dernier cycle de présentation avait lieu. Le sujet était exclu de l'expérience s'il ne parvenait pas à nommer correctement tous les items au troisième questionnement fait à partir de la mémorisation à long terme.



*Figure 22.* Fruits et légumes en plastique utilisés comme items à mémoriser dans l'Expérience 7.

Les consignes étaient ensuite données aux enfants en mettant l'accent sur l'importance du rappel dans l'ordre. Un exemple était présenté aux sujets en disposant un à un les items dans un sac opaque. L'expérimentateur responsable de la présentation des items récupérait un fruit ou légume d'une boîte opaque (*Figure 23* pour l'illustration de la disposition de la boîte en condition avec indiciage). Cet item était nommé par l'expérimentateur, puis mis dans le sac opaque au rythme d'un item par seconde. Par la suite, la consigne différait selon la condition dans laquelle était impliqué le sujet.



Pour la condition sans indiciage visuel et sans motricité (Figure 24), l'expérimentateur faisant l'encodage prononçait le mot « voilà » à la fin de l'encodage. Ceci donnait le signal à l'expérimentateur s'occupant du rappel de déclencher le chronomètre pour 4 secondes à la fin desquelles un signal sonore retentissait et indiquait à l'enfant qu'il devait procéder au rappel. Lors du rappel, l'expérimentateur mettait chaque fruit ou légume cité par l'enfant dans un sac transparent suffisamment étroit pour permettre à l'enfant une visualisation verticale de son rappel sériel. Les items n'étaient pas visibles des enfants avant qu'ils ne soient cités par eux, puis mis dans le sac transparent par l'expérimentateur. Aussi, à aucun moment de l'expérience les enfants ne manipulaient les items. Leurs mains restaient vides de tout objet. Ils ne disposaient pas, non plus, des sacs utilisés par les expérimentateurs lors de l'encodage et du rappel. Enfin, dans cette condition sans indiciage et sans motricité, les enfants restaient debout et immobiles face aux expérimentateurs assis l'un à côté de l'autre.



Figure 23. Photo du magasin et disposition de la boîte contenant les items récupérés par l'employé du magasin lors de l'Expérience 7.

Dans la condition sans indiciage visuel et avec une activité motrice (Figure 24), il était indiqué aux enfants qu'une fois l'encodage terminé, l'expérimentateur prononcerait « vas-y », signal pour l'enfant de marcher droit devant lui jusqu'à ce qu'il entende la sonnerie du rappel. A ce moment-là, l'enfant devait stopper sa progression, se retourner vers les expérimentateurs, et rappeler à l'expérimentateur s'occupant du rappel les items préalablement encodés. Le départ, lui, se faisait entre les deux expérimentateurs. L'enfant faisait face à la direction qu'il allait prendre à la fin du rappel. Ainsi, les deux expérimentateurs et l'enfant se trouvaient côte à côte. Dans cette condition, la pièce était suffisamment grande pour que l'enfant puisse parcourir une distance de marche pendant 4 secondes sans pouvoir atteindre un objet ou un mur en fin de parcours. La direction visée ne devait présenter aucun intérêt particulier et

nécessitait un fond neutre ne permettant aucune association visuelle entre la direction prise et le but de rappeler les items.

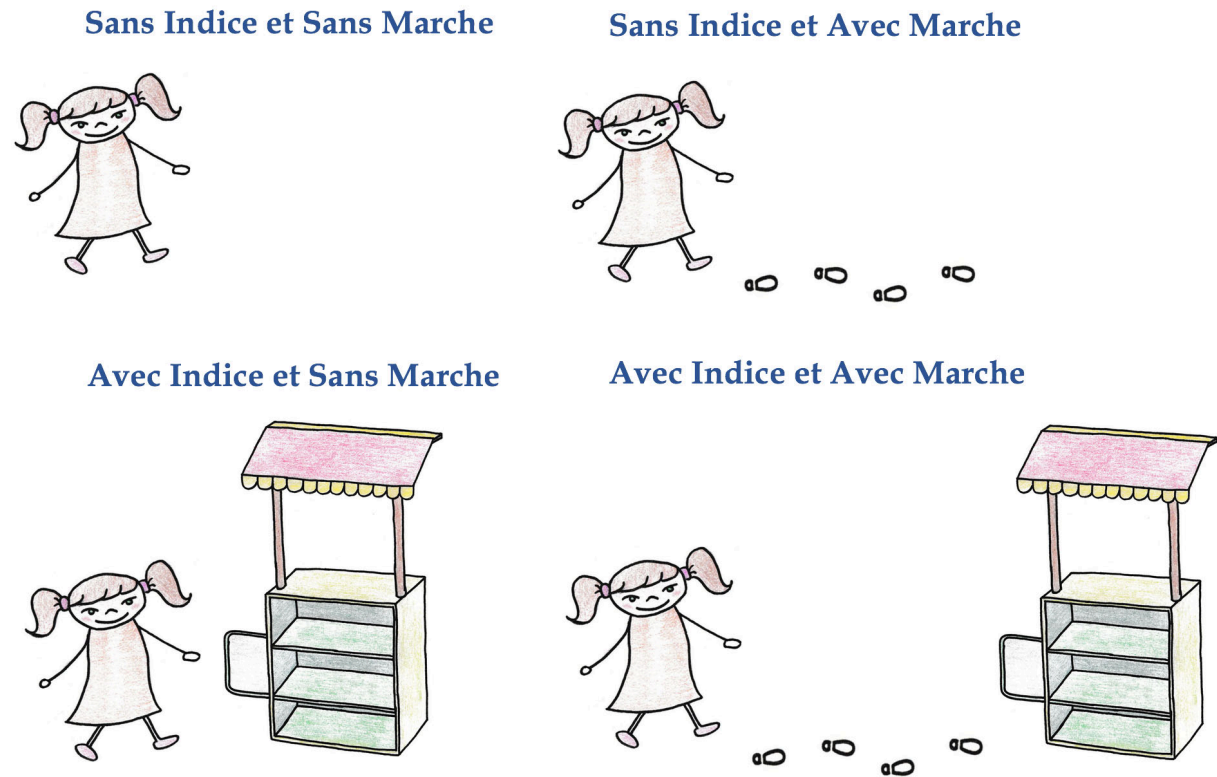


Figure 24. Représentation des quatre conditions expérimentales de l'Expérience 7. Un délai de 4 secondes entre l'encodage et le rappel était présent dans toutes les conditions.

Concernant la condition avec un indiciage visuel du but et sans activité motrice (Figure 24), il était indiqué aux enfants que le magasin (Figure 23) n'ouvrirait que lors du signal sonore. L'expérimentateur s'occupant du rappel prenait alors le rôle de l'employé du magasin. Durant les phases d'encodage et de délai, il demeurait caché derrière un rideau, un paravent ou une porte jouxtant le magasin suivant la disposition des lieux. Il n'apparaissait derrière le magasin qu'au signal sonore. L'enfant ne pouvait ainsi réaliser son rappel qu'en présence de l'employé. Durant toute la réalisation de la condition expérimentale, l'enfant restait debout et immobile face au magasin.

Enfin, dans la condition expérimentale proposant un indiciage visuel du but, ainsi qu'une activité motrice (Figure 24), il était indiqué aux sujets de marcher en

direction du magasin au signal de fin d'encodage : « vas-y ». Le départ se faisait à côté de l'expérimentateur s'occupant de la phase d'encodage. L'enfant était disposé de sorte qu'au moment du départ il puisse marcher droit devant lui, vers le magasin, et sans avoir à pivoter sur lui-même. De façon similaire à la condition précédemment exposée, l'expérimentateur jouant l'employé du magasin apparaissait au signal sonore. Que ce soit dans cette condition expérimentale ou bien dans celle proposant une activité de marche mais sans indiciage, un rappel à la consigne de marcher normalement était fait aux enfants ayant couru ou s'étant arrêté de marcher durant le délai. Ce rappel à la consigne ne pouvait avoir lieu qu'entre la réalisation de deux séries.

### 7.2.2 Résultats

Plusieurs sujets furent exclus des analyses. Un enfant de 7 ans fut exclu car il présentait une dyspraxie et n'a pu terminer la tâche contrôle de la course des animaux. A 6 ans, dix enfants furent exclus principalement car les noms d'animaux ou de fruits et légumes n'étaient pas connus. A 5 ans, trente enfants furent exclus majoritairement pour les mêmes raisons que chez les enfants de 6 ans. La cause principale de ces exclusions venait de la forte proportion d'enfants de langue maternelle étrangère ayant pris part à l'expérience.

L'ensemble des analyses statistiques bayésiennes furent réalisées sous JASP (0.9.0.1) en utilisant le prior par défaut proposé par le logiciel. Les groupes indépendants de sujets étaient équivalents concernant la capacité en mémoire de travail des enfants de 5 ans où aucune différence significative ne fut relevée sur le Score 1 de la course des animaux,  $BF_{01} = 4,1 \pm 0,01 \%$ , comme sur le Score 2,  $BF_{01} = 4,0 \pm 0,01 \%$ . Nous avons obtenu des résultats similaires chez les enfants de 6 ans (Score 1,  $BF_{01} = 3,0 \pm 0,01 \%$  ; Score 2,  $BF_{01} = 3,7 \pm 0,01 \%$ ) et de 7 ans (Score 1,  $BF_{01} = 4,0 \pm 0,01 \%$  ; Score 2,  $BF_{01} = 3,7 \pm 0,01 \%$ ) où aucune différence significative des performances en mémoire de travail n'était présente entre les groupes indépendants.

Nous avons, dans une première ANOVA bayésienne, considéré l'impact des variables suivantes sur les scores d'empan. L'âge, l'indiciage, l'ordre des conditions, la liste, l'expérimentateur à la présentation des items, l'expérimentateur au rappel des items, et la langue maternelle furent considérés en variables inter-sujets ; l'activité

motrice fut introduite dans l'analyse comme une variable intra-sujets. Les variables d'ordre de présentation des conditions ainsi que le type de liste n'ont pas influencé les scores d'empan,  $BF_{s01} > 3,2$ . Seul l'effet principal de la variable expérimentateur a pu être testé, sans pouvoir considérer les interactions avec l'indiciage et l'âge. La cause revient au nombre important de personnes qui sont intervenues lors de l'expérience. Un contrebalancement n'a pu être réalisé sur cette variable. Un effet principal de la variable expérimentateur à la présentation fut mis en évidence,  $BF_{10} = 1,5 \pm 1,9 \%$ , tout comme un effet principal de la variable expérimentateur au rappel fut rapporté,  $BF_{10} = 1,5 \pm 1,1 \%$ . Cependant, les bayes factors sont faibles et ne représentent ainsi qu'une preuve « anecdotique » (Jeffreys, 1961) en faveur d'un effet des variables expérimentateur sur les scores d'empan. Enfin, aucun effet de la langue maternelle sur les scores d'empan ne fut rapporté,  $BF_{01} = 3.56 \pm 2,6 \%$ . Ainsi, tous les enfants de langue maternelle étrangère ou bilingues ayant pu prendre part à l'expérience sans avoir été exclus préalablement, du fait de leur méconnaissance des items, furent conservés dans les analyses statistiques.

Considérant l'absence d'effet significatif des variables contrôles, celles-ci (ordre, liste, expérimentateurs, langue) furent retirées de l'analyse statistique suivante pour ne conserver que les variables d'intérêt : l'âge, l'indiciage et l'activité motrice. Le meilleur modèle indiqué par l'ANOVA bayésienne impliquait un effet principal de l'âge et un effet principal de l'activité motrice,  $BF_{10} = 2,071 \times 10^{15} \pm 1,3 \%$ . Ce modèle avait une probabilité 2,06 fois supérieure à celle du second modèle, pour rendre compte des résultats observés dans l'expérience. Le second modèle proposait des effets principaux de l'âge, de l'activité motrice et de l'indiciage. Ainsi, seules les variables de l'âge et de l'activité motrice eurent un impact significatif sur les scores d'empan. Les enfants les plus âgés avaient de meilleurs scores d'empan que les plus jeunes et la présence d'une activité motrice fut délétère aux performances en mémoire de travail à tout âge (*Figure 25*). Le fait de marcher a eu un impact négatif significatif<sup>6</sup> à 5 ans (sans marche  $\bar{x} = 2,27$   $\sigma = 0,5$  ; avec marche  $\bar{x} = 2,15$   $\sigma = 0,5$  ;  $BF_{10} = 1,34 \pm 0,94 \%$ ), à 6 ans (sans marche  $\bar{x} = 2,55$   $\sigma = 0,6$  ; avec marche  $\bar{x} = 2,35$   $\sigma = 0,7$  ;  $BF_{10} = 20,8 \pm 0,7 \%$ ) et à

<sup>6</sup> En analyses fréquentistes,  $p < .05$  à tous les âges.

7 ans (sans marche  $\bar{x} = 3,04$   $\sigma = 0,5$  ; avec marche  $\bar{x} = 2,92$   $\sigma = 0,5$  ;  $BF_{10} = 109 \pm 0,5$  %) sur les scores d'empan.

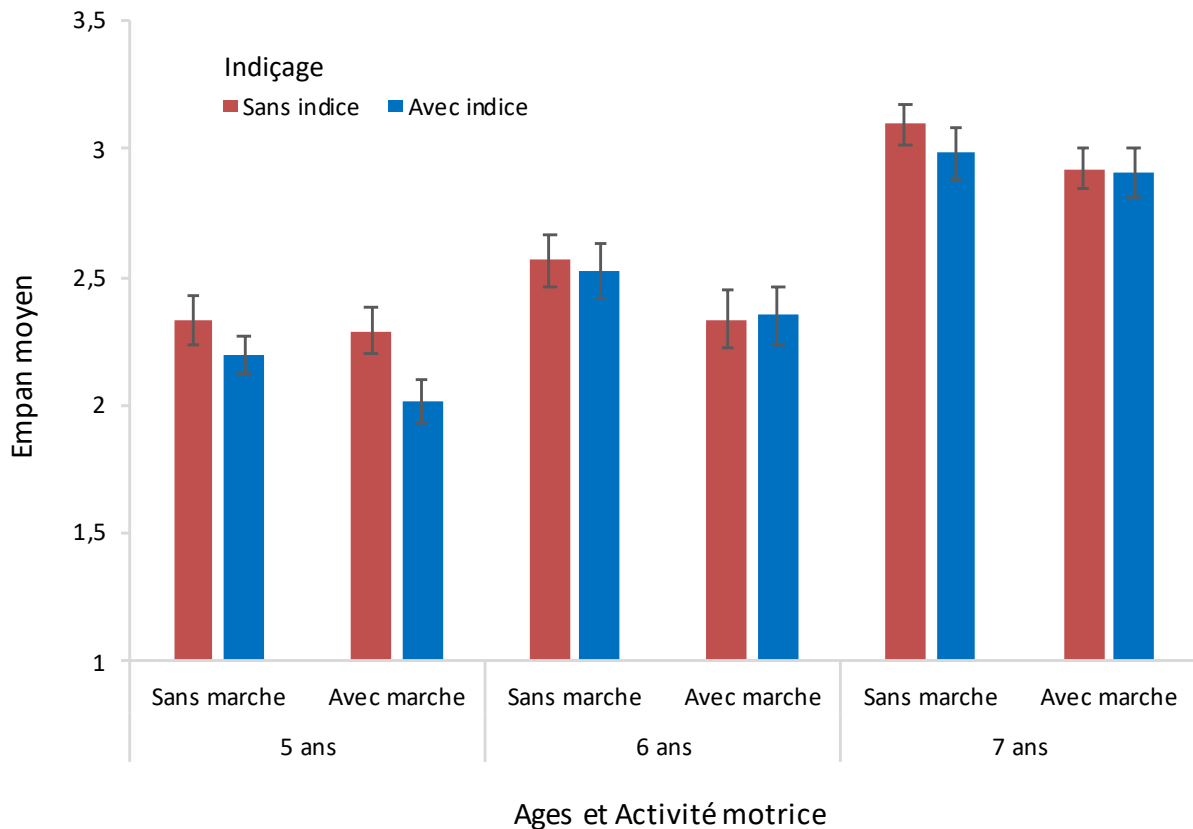


Figure 25. Empan moyen en fonction du groupe d'âge, de l'activité motrice (marche) et de l'indiciage visuel (indice) dans l'Expérience 7. Les barres verticales représentent l'erreur type.

### 7.2.3 Discussion

La présente expérience avait pour objectif d'étudier l'impact, sur les performances de rappel d'enfants de 5 à 7 ans, de l'utilisation du jeu de rôle comme aide au maintien du but lors de la réalisation d'une tâche de mémoire de travail. Elle permettait également de dissocier les influences des facteurs de motricité et d'indiciage exogène pouvant entrer en œuvre lors d'une telle tâche. Nous avons pour hypothèse que les enfants de moins de 6-7 ans seraient en mesure de tirer parti d'une situation de jeu de rôle pour maintenir efficacement le but de la tâche de mémoire de travail ; ce qui aurait pu conduire les enfants de 5 ans à améliorer leurs performances en mémoire

de travail dans cette condition expérimentale. Contrairement à nos hypothèses, nous n'avons pas observé d'amélioration des performances en mémoire de travail chez les enfants de 5 ans, de 6 ans et de 7 ans dans la condition de jeu de rôle (avec indiciage visuel et avec motricité) par rapport aux conditions n'en proposant pas. De plus, un effet principal délétère de la marche fut constaté à tout âge, cela dès 5 ans, contrairement à notre hypothèse indiquant que la marche n'était en mesure de provoquer une capture attentionnelle qu'à partir de 6-7 ans chez des enfants utilisant un mécanisme de rafraîchissement attentionnel. Les résultats obtenus sont ainsi en opposition avec ceux d'Istomina (1948/1975) et ceux de Bertrand et Camos (2015) où une amélioration des performances mnésiques était constatée dans la condition de jeu de rôle. Des éléments de procédure différaient cependant entre ces trois expériences.

Dans l'étude de Bertrand et Camos (2015), les enfants devaient reconstruire la séquence de fruits et légumes en récupérant dans l'ordre, dans une boîte, les items précédemment mémorisés. Notre expérience demandait un rappel oral sériel. Cette différence de méthode pourrait être la cause de la divergence de résultats entre les études. Il est envisageable, en effet, que les enfants impliqués dans une tâche de reconstruction ne cherchent pas à mettre en place de mécanisme de maintien de l'information sachant que les items seraient de nouveau présentés lors de la phase de rappel. Cette forme de négligence à l'utilisation de mécanisme de maintien de l'information aurait pu conduire les enfants à négliger le but lors du délai de la condition ne les impliquant pas dans le jeu de rôle (condition sans marche mais assis face au magasin, Bertrand et Camos, 2015). En revanche, dans cette même étude, la condition nécessitant le jeu de rôle a pu réactiver le but chez ces enfants. En effet, l'incarnation du but, en se rendant au magasin, aurait pu favoriser le maintien du but, ce qui aurait conduit à l'utilisation de mécanismes de maintien de l'information, améliorant, *in fine*, leur score de mémoire de travail. Au contraire, dans notre expérience, les enfants sachant qu'ils ne pourraient que rappeler oralement les items sans aucune aide extérieure ont pu mettre en place, dès le début de chaque essai, un mécanisme de maintien de l'information et cela pour toutes les conditions expérimentales. L'emploi d'une condition favorisant l'aide au maintien du but n'était alors plus pertinente pour l'activation de tels mécanismes de maintien de l'information. Cette hypothèse, d'une activation d'un mécanisme de maintien de

l'information en toute condition, est supportée par l'effet principal délétère de la marche dès 5 ans, où le rafraîchissement attentionnel a pu être utilisé ; la marche concurrençant ainsi la demande attentionnelle exigée par le rafraîchissement des traces mémorielles.

Une autre distinction entre l'étude d'Istomina (1948/1975) et notre expérience réside dans le type de mémoire testé. Istomina rapporte qu'un délai de 60 à 90 secondes était présent entre la mémorisation de la liste d'items et la phase de rappel oral sériel. Une telle durée indique un stockage en mémoire à long terme plutôt qu'un stockage en mémoire à court terme (Peterson & Peterson, 1959). Cette mémoire à long terme a pu aussi être impliquée dans la tâche de reconstruction utilisée dans l'étude de Bertrand et Camos (2015). En effet, une tâche de reconstruction peut être réalisée en ne faisant appel qu'à la familiarité qu'ont les sujets par rapport à la trace mnésique précédemment encodée en mémoire à long terme (voir Yonelinas, 2002, pour une revue), laissant ainsi la possibilité d'un encodage ne nécessitant nullement le recours au système de mémoire de travail qui pourrait exiger un processus de recollection. Le processus de recollection étant effectivement demandeur en récupérations de détails spécifiques propres aux items précédemment mémorisés (Malmberg, 2008). Il apparaîtrait alors que dans les études de Bertrand et Camos (2005) et d'Istomina (1948/1975) la récupération en mémoire à long terme pourrait sous-tendre en partie les performances mnésiques. La tâche de rappel oral sériel employée dans notre expérience sur un délai relativement court de 4 secondes nécessite davantage un maintien en mémoire de travail. Ainsi, l'aide au maintien du but pourrait être efficiente uniquement lors d'une tâche de mémoire à long terme. Afin de tester notre hypothèse, nous allons, dans l'expérience suivante, manipuler le type de rappel permettant soit un rappel des informations via la mémoire à long terme, soit via une récupération des informations en mémoire de travail, cela durant une condition de jeu de rôle favorisant le maintien du but ou lors d'une condition d'exercice ne proposant aucune aide au maintien du but à des enfants de 5 ans.

### 7.3 Expérience 8

Notre objectif, dans cette dernière expérience, fut de tester l'impact que pourrait avoir le type de rappel d'une tâche de mémoire sur la capacité des enfants à maintenir le but de cette tâche. Un seul groupe d'âge de 5 ans fut testé, conformément à notre hypothèse du caractère critique du maintien du but avant l'âge de 6-7 ans dans l'apparition des mécanismes de maintien de l'information. Les enfants procédaient soit à une tâche de reconstruction de la trace mnésique, soit à une tâche de rappel oral sériel. Nous nous attendions à observer un effet principal du type de rappel où les enfants obtiendraient de meilleures performances en mémoire dans la condition nécessitant une reconstruction des items en phase de rappel. En effet, comme évoqué en discussion de l'expérience précédente, le rappel lors d'une tâche de reconstruction se ferait davantage via une récupération de l'information contenue en mémoire à long terme, par familiarité, et pourrait avoir lieu sans nécessiter un encodage en mémoire de travail, contrairement à la condition proposant un rappel oral sériel. L'hypothèse d'observer de meilleurs résultats de mémoire en tâche de reconstruction est soutenue par plus d'un siècle de travaux réalisés sur les différences que le rappel et la reconnaissance entretiennent, notamment concernant les performances mnésiques observées dans chacune des tâches (voir Tiberghien & Lecocq, 1983, pour une revue). La tâche de reconstruction se situe ainsi entre la tâche de reconnaissance et celle de rappel, en termes de caractéristiques. Elle implique la présentation d'items dont il faut juger s'ils étaient présents ou non à l'encodage, tout en exigeant un rappel sériel. Nous avons également fait varier le type de contexte. Les sujets étaient placés soit dans une condition de jeu de rôle similaire à celle employée dans l'Expérience 7, soit dans une condition de type « exercice » sans activité motrice ni indiciage visuel du but (cf. Exp. 7).

Un paradigme impliquant un rappel oral pourrait conduire les sujets à maintenir efficacement le but via l'utilisation, en amont, de mécanismes de maintien de l'information. En effet, il a été montré une diminution des erreurs dans des tâches de Stroop (Kane & Engle, 2003, en condition majoritairement non congruente) et de tri de cartes (Marcovitch et al., 2007, en condition majoritairement conflictuelle) lorsque les exigences de la tâche demandent une réactivation fréquente du but. A l'inverse, une tâche ne nécessitant pas un maintien actif du but (condition majoritairement congruente du Stroop et condition redondante du DCCS) provoque, à terme, une



négligence du but ce qui dégrade les performances. C'est ainsi que, face à la difficulté perçue par les sujets de procéder à une tâche de rappel oral, les enfants, dès 5 ans, mettraient en place un mécanisme de maintien de l'information permettant un maintien actif des items mais aussi un maintien efficace du but, qu'il y ait ou pas d'aide au maintien du but. Dans l'Expérience 7, l'utilisation d'un mécanisme attentionnel de maintien de l'information dès 5 ans est suggérée par la diminution des performances de rappel lorsque les enfants étaient impliqués dans des conditions expérimentales demandant une activité de marche.

Dans l'Expérience 8, nous faisons l'hypothèse qu'une négligence du but interviendrait uniquement lors d'un paradigme de mémoire impliquant une tâche de reconstruction et non pas une tâche de rappel oral sériel. Nous devrions donc observer de moins bonnes performances en mémoire de travail chez des enfants de 5 ans dans une tâche de reconstruction qui ne proposerait pas d'aider au maintien du but, c'est-à-dire en condition d'exercice comparé à une condition de jeu aidante au maintien du but. Lors d'une tâche proposant un rappel oral, nous ne devrions pas observer d'effet du type de contexte (exercice ou jeu) sur les performances en mémoire de travail des enfants. Ainsi, nous nous attendions à observer un effet d'interaction entre les variables indépendantes du type de rappel (reconstruction ou rappel oral) et du type de contexte (jeu ou exercice).

### 7.3.1 Méthode

#### 7.3.1.1 Participants

Soixante-deux enfants de 5 ans (moyenne d'âge = 4,9 ans ; écart-type = 0,3 ; min. 4,3 ans ; max. 5,4 ans ; 30 filles) ont pris part à l'expérience. Les enfants recrutés étaient de langue maternelle française. La majorité d'entre eux étaient caucasiens et issus d'un milieu socio-économique moyen à élevé. Aussi, aucune information démographique ne fut relevée. Les expérimentations se déroulèrent à l'école des enfants dans un lieu calme. L'expérience fut approuvée par le comité d'éthique local. Enfin, nous avons diffusé, puis obtenu en retour de la part des parents ou des tuteurs légaux, un formulaire de consentement. De plus, les enfants donnaient oralement leur consentement avant de débiter l'expérience.

### 7.3.1.2 Matériel et procédure

La méthode reprend plusieurs caractéristiques de l'Expérience 7. Le matériel était en grande partie similaire à l'expérience précédente. Les items proposés étaient les mêmes fruits et légumes en plastique : banane, tomate, orange, citron, carotte. Deux listes étaient utilisées avec un ordre de présentation des items différent pour chaque liste. La longueur maximale d'empan testé était de 4 éléments. Quatre séries étaient toujours proposées par longueur et la règle d'arrêt était identique à celle de l'Expérience 7. Un score d'empan fut calculé. Le même magasin était présent dans la condition d'indiciage du but. A l'encodage, les items étaient nommés par l'expérimentateur, tout en étant récupérés d'une boîte opaque. Mais, à la différence de l'Expérience 7, les items étaient ensuite disposés dans un sac transparent identique au sac transparent du rappel de l'Expérience 7 ; ceci de sorte que les sujets pouvaient directement observer le positionnement sériel lors de l'encodage. Ce sac rempli d'items était caché durant le délai, tout comme ce fut le cas durant l'Expérience 7. Les items utilisés pour le rappel étaient également disposés dans une boîte opaque posée sur le magasin, dont ceux-ci n'étaient pas visibles des enfants durant le délai et le rappel en condition de rappel oral, mais visibles des enfants en condition de reconstruction.

Cette expérience proposait un plan mixte. Pour la variable du type de rappel, des groupes indépendants d'enfants prirent part soit à la condition impliquant une tâche de reconstruction, soit à la condition proposant un rappel oral (Tableau 4). Afin de contrôler si les groupes indépendants ne différaient pas significativement en termes de capacités en mémoire de travail, nous avons utilisé le sous-test de la mémoire des chiffres du K-ABC 2 (Kaufman & Kaufman, 1993), tout comme nous l'avons fait dans l'Expérience 6. Pour la variable du type de contexte, des groupes de sujets appariés prirent part aux deux modalités, exercice et jeu, qu'ils réalisaient l'une après l'autre (Tableau 4). Neuf expérimentateurs prirent part aux expérimentations (6 femmes et 3 hommes, 8 étaient naïfs quant aux hypothèses). Les expérimentations avaient toujours lieu en présence de deux expérimentateurs : un présentant les items lors de la phase d'encodage et un autre s'occupant du rappel tout en prenant le rôle de l'employé du magasin en condition d'indiciage du but.

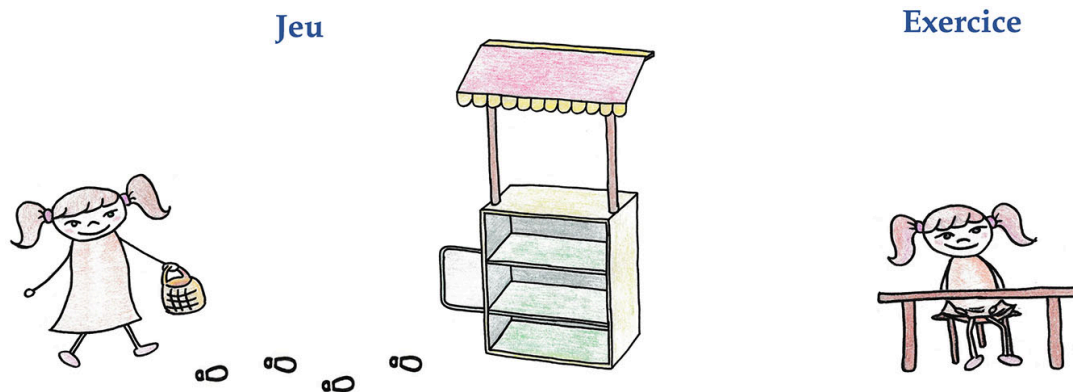
Tableau 4. *Distribution des enfants de 5 ans dans l'Expérience 8 selon un plan mixte en fonction du type de rappel et du type de contexte.*

		Type de contexte
		Exercice et Jeu
Type de rappel	Reconstruction	14
	Oral sériel	15

La condition de jeu impliquait donc que l'activité motrice soit orientée vers le but matérialisé par le magasin ; la condition d'exercice correspondait à une condition sans indice de but ni activité motrice. Ainsi, dans la condition de jeu, les enfants avaient à marcher en direction du magasin pendant un délai de 4 secondes (*Figure 26*). De façon identique à l'Expérience 7, nous avons préalablement mesuré la distance parcourue en 4 secondes, par chaque enfant, lors d'une marche « normale ». La disposition des expérimentateurs et des éléments contextuels était identique à l'expérience précédente. Aussi, les signaux de départ et de fin du délai furent identiques à l'Expérience 7. Dans la condition proposant un rappel oral, la procédure du rappel se déroulait de la même façon que dans la condition avec indiciage et avec motricité de l'Expérience 7. L'enfant disait oralement les items à rappeler que l'expérimentateur, et employé du magasin, disposait un à un dans le sac transparent permettant la visualisation de l'ordre du rappel. Dans la condition de reconstruction, tout comme pour la condition de rappel oral, l'employé apparaissait à son magasin lors du signal sonore et ouvrait la boîte contenant les items en direction de l'enfant. Cependant, dans cette condition de reconstruction, il appartenait à l'enfant de récupérer de façon sérielle les items disposés dans la boîte à des emplacements aléatoires. La boîte contenait, pour toutes les séries, les 5 fruits et légumes constituant le matériel expérimental. L'enfant devait mettre un à un les items dans le sac plastique en respectant l'ordre de présentation des items lors de l'encodage. Ce sac, vide, était d'ailleurs en possession de l'enfant durant l'encodage et la marche vers le magasin. Lors de la reconstruction, l'enfant pouvait librement enlever un item qu'il avait déjà mis dans son sac et le remplacer par un autre. La notation tenait compte de la position finale des items dans le sac des enfants. Les expérimentateurs restaient neutres lors de la phase de reconstruction par l'enfant. Aucun feedback sur la qualité des réponses n'était donné. A la fin de la phase de rappel, les items étaient replacés dans leur boîte

et l'enfant retournait à sa position initiale, vers l'expérimentateur présentant la série suivante.

Dans la condition d'exercice (sans marche et sans indiciage, *Figure 26*), les enfants étaient assis face aux deux expérimentateurs. La phase d'encodage était identique à celle de la condition de jeu. Le délai était identique mais les enfants restaient assis. Enfin, la phase de rappel se déroulait de façon similaire à la condition de jeu. La boîte contenant les items était disposée entre les expérimentateurs et les enfants afin que son accès soit aisé aux enfants assis. Elle demeurait fermée durant les phases d'encodage et de délai, puis était ouverte par l'expérimentateur au moment du rappel. Lors du rappel oral, l'expérimentateur ouvrait la boîte en sa direction de sorte que le couvercle cache les items à l'enfant. L'expérimentateur mettait ensuite les items dans son sac transparent au fur et à mesure du rappel par l'enfant. Dans la condition avec reconstruction, la boîte était ouverte en direction de l'enfant. Le sujet avait également à sa disposition le sac pour récupérer les items durant les phases d'encodage et de délai. La procédure était par la suite identique à celle présente dans la condition de jeu avec reconstruction.



*Figure 26.* Illustration des deux modalités de la variable Type de contexte : Jeu et Exercice de l'Expérience 8. Les sujets réalisent les deux conditions suivant l'une des deux modalités de la variable Type de rappel : Reconstruction ou Rappel oral sériel.

### 7.3.2 Résultats

Trois enfants furent exclus des analyses car deux bénéficiaient d'un suivi par un orthophoniste ou un ergothérapeute, et un n'a pas réussi à rester attentif lors de la seconde condition expérimentale. Les groupes indépendants de sujets étaient

équivalents en termes de performances en mémoire de travail. Aucune différence significative ne fut relevée aux scores bruts du K-ABC 2,  $BF_{01} = 3,64 \pm 0,004 \%$ .

Nous avons ensuite réalisé une ANOVA bayésienne en considérant le type de rappel (reconstruction ou rappel oral), l'ordre des conditions, la liste, l'expérimentateur à la présentation et l'expérimentateur au rappel comme facteurs inter-sujets, et le type de contexte (exercice ou jeu) comme facteur intra-sujets. La variable de l'expérimentateur à la présentation influença significativement les scores d'empan,  $BF_{10} = 2,92 \pm 1,35 \%$ . Cependant, il s'agissait là uniquement d'un effet principal sans interaction avec d'autres variables. De même, la variable de l'expérimentateur à la présentation a eu un effet sur les performances sans interagir avec d'autres variables,  $BF_{10} = 1,31 \pm 1,52 \%$ . C'est pourquoi les deux variables expérimentateur furent retirées des analyses suivantes. La liste n'influença pas les scores d'empan,  $BF_{s01} > 2,9$ , et fut exclue des futures analyses. Enfin, l'ordre de présentation des conditions ayant eu un effet sur les scores d'empan, cette variable est conservée dans l'analyse suivante.

Dans une nouvelle ANOVA bayésienne, nous avons considéré les variables du type de contexte, du type de rappel et de l'ordre de présentation des conditions de la variable du type de contexte. Le modèle favori de l'analyse bayésienne impliquait un effet d'interaction entre le type de contexte et l'ordre de présentation des conditions,  $BF_{10} = 11,4 \pm 2,5 \%$ . La probabilité de ce modèle, pour rendre compte des résultats, était 2,4 fois supérieure à celle du second modèle impliquant une interaction entre le type de contexte et l'ordre des conditions, ainsi qu'une interaction entre le type de rappel et l'ordre des conditions. Seul le modèle favori fut retenu. Les enfants débutant par la condition exercice ( $\bar{x} = 2,32 \sigma = 0,5$ ) avaient un score d'empan significativement plus bas lors de la seconde condition de jeu ( $\bar{x} = 2,04 \sigma = 0,5$ ),  $BF_{10} = 17,0 \pm 1,891 \times 10^{-6} \%$ . Par contre, les enfants commençant l'expérimentation par la condition de jeu ( $\bar{x} = 2,27 \sigma = 0,5$ ) conservaient des performances en mémoire de travail ne différant pas significativement ( $\bar{x} = 2,16 \sigma = 0,5$ ),  $BF_{01} = 3,0 \pm 0,011 \%$ , lors de la seconde condition d'exercice (Figure 27). Enfin, ni effet principal, ni interaction, ne fut relevé lors de l'analyse statistique pour les variables du type de contexte et du type de rappel,  $BF_{s01} > 2,3$  (Figure 28).

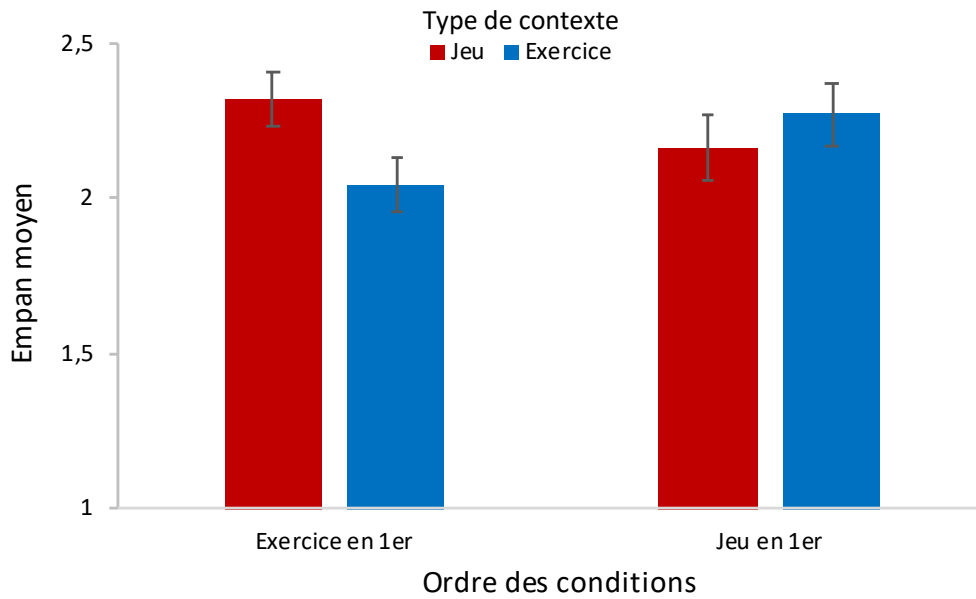


Figure 27. Empan moyen chez les enfants de 5 ans en fonction de l'ordre de présentation des conditions de la variable Type de contexte (Jeu ou Exercice) dans l'Expérience 8. Les barres verticales représentent l'erreur type.

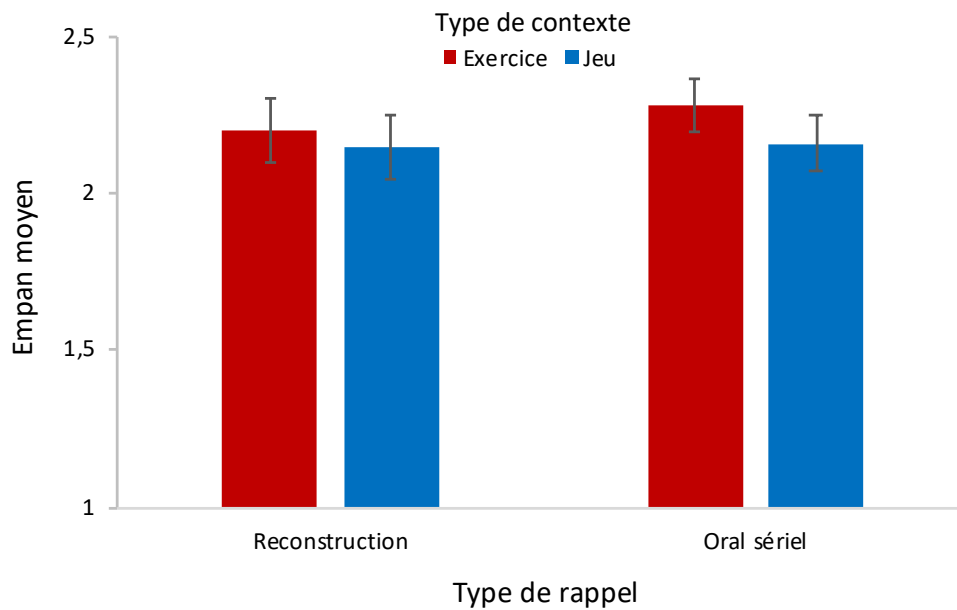


Figure 28. Empan moyen chez les enfants de 5 ans en fonction du type de contexte (Exercice ou Marche) et du type de rappel (Reconstruction ou Oral sériel) dans l'Expérience 8. Les barres verticales représentent l'erreur type.

### 7.3.3 Discussion

Au cours de cette dernière expérience, notre objectif fut de tester l'hypothèse selon laquelle le type de rappel utilisé durant la tâche influencerait la capacité des

enfants à maintenir le but. Le fait d'employer une tâche de reconstruction conduirait à la négligence du but. Cette négligence pourrait alors être contrecarrée grâce à l'utilisation, soit d'une condition expérimentale présentant un indiciage du but, soit en proposant une tâche de rappel oral sériel à la place d'une tâche de reconstruction. Les résultats obtenus dans cette expérience n'ont pas permis de valider notre hypothèse. Aucun effet principal du type de rappel et du type de contexte ne fut rapporté ; tout comme aucun effet d'interaction n'était présent entre ces deux variables. Seul un effet d'interaction entre l'ordre de présentation des conditions et le type de contexte fut présent. Les enfants montraient des performances mnésiques dégradées en seconde condition expérimentale de jeu lorsqu'ils débutaient l'expérience par une condition d'exercice. Cet effet délétère n'était pas observé en seconde condition lorsque la première condition expérimentale proposée aux enfants était celle du jeu de rôle. Cet effet d'interaction, ordre x type de contexte, tout comme l'absence d'effet principal du type de rappel seront discutés plus en détails dans la discussion générale.

### 7.3.4 Discussion générale

Dans ce chapitre, nous avons exploré l'aide au maintien du but que pouvait apporter une situation de jeu de rôle réalisée lors d'une tâche de mémoire de travail verbale. Nous avons émis l'hypothèse qu'une conjonction de facteurs exogènes, endogènes et incarnés via le jeu de rôle permettrait un maintien efficace du but chez de jeunes enfants de 5 à 7 ans. Pour résumer nos résultats, nous avons, lors de l'Expérience 7, observé un effet principal de l'âge où les enfants les plus âgés démontraient de meilleures performances en mémoire de travail que les plus jeunes. Cet effet, en accord avec la littérature (voir Dempster et al., 1981, pour une revue), nous indiqua que notre tâche permettait de mesurer efficacement le développement des capacités en mémoire de travail des enfants.

Le second effet présent dans l'analyse bayésienne de l'Expérience 7 était celui de l'activité motrice. La marche a provoqué une baisse des performances mnésiques dans tous les groupes d'âges, cela contrairement à la littérature qui stipulait un effet bénéfique de la marche sur les performances en mémoire de travail des enfants de 9 ans (Schaefer et al., 2010). Pourtant, de façon identique au travail de Schaefer et collaborateurs (2010), les enfants de notre étude marchaient à leur propre allure grâce

à une adaptation de la distance à parcourir jusqu'au magasin ou par une distance libre dans la condition sans magasin. Schaefer et ses collaborateurs (2010) avaient en effet mis en évidence qu'en imposant une allure de marche plus faible, les enfants présentaient une dégradation des performances en mémoire de travail. Cependant, les procédures divergent entre cette étude et notre expérience. Un paradigme de type n-back test était employé dans l'étude précitée alors qu'il s'agissait d'un paradigme de type Brown-Peterson avec une mémorisation d'items verbaux dans notre étude. Schaefer et ses collaborateurs (2010) expliquèrent leurs résultats par une activation de ressources cognitives grâce à l'activité de marche et pouvant ensuite être recrutées par la tâche de mémoire de travail ; en opposition, nous envisageons, avec l'Expérience 7, une concurrence des activités de marche et de maintien de l'information quant aux ressources attentionnelles pouvant être recrutées. En effet, la marche, même si celle-ci est relativement automatisée chez l'adulte, demande le recrutement de ressources attentionnelles pour que le programme moteur puisse être effectué correctement, afin que l'équilibre soit géré, et que l'ensemble soit coordonné vers une direction donnée (Lajoie, Teasdale, Bard, & Fleury, 1993). Le maintien de l'information en mémoire de travail effectué en parallèle à cette activité motrice peut également recruter des ressources attentionnelles, notamment via la mise en place d'un mécanisme de rafraîchissement attentionnel. Ainsi, d'après le modèle TBRS (Barrouillet et al., 2004), ces ressources attentionnelles devront être partagées alternativement entre le maintien de l'information et la réalisation de la tâche de marche. Ce partage n'a plus lieu d'être lors des conditions ne proposant aucune activité motrice. L'ensemble du délai présent entre l'encodage et le rappel peut être ainsi dévolu au maintien de l'information par une focalisation de l'attention sur les items précédemment mémorisés. Cependant, au mieux de notre connaissance, aucune étude n'a mis en évidence une utilisation du rafraîchissement attentionnel avant l'âge de 6 ans (Barrouillet et al., 2009; Camos & Barrouillet, 2011; Oftinger & Camos, 2016; Tam et al., 2010).

Dans l'étude de Barrouillet et collaborateurs (2009), une chute des performances de rappel fut constatée cependant, chez les enfants de 5 ans, entre une condition d'empan simple avec délai et une condition d'empan complexe présentant deux smileys dont il fallait dénommer la couleur. Les auteurs interprétèrent leurs résultats par une distraction due à la charge de dénomination des couleurs de smileys sans pour



autant que cela n'indique une manifestation de l'utilisation du rafraîchissement attentionnel car, en effet, aucune différence de rappel ne fut rapportée chez les enfants de 5 ans entre la condition affichant deux smileys et celle en présentant quatre à dénommer lors d'un délai identique. Le modèle TBRS stipulant effectivement qu'un déclin des performances en mémoire devrait s'observer si l'attention avait à être partagée entre le traitement des smileys et le maintien en mémoire des items, ce qui fut rapporté dans l'étude chez les enfants de 7 ans. Pour autant, cette théorie de la distraction empêchant de prêter passivement attention aux memoranda avancée par les auteurs fut critiquée dans l'étude de Tam et collaborateurs (2010). Tam et ses collaborateurs (2010) s'interrogeaient sur comment l'effet provoqué par une capture attentionnelle passive pourrait différer du concept de partage des ressources attentionnelles par un rafraîchissement des traces mémorielles. Pour répondre à cette interrogation, Bertrand et Camos (2015) réalisèrent une étude permettant la manipulation du coût cognitif durant un paradigme de type Brown-Peterson, tout en écartant la possibilité de distraction, et donc de capture passive de l'attention, due à l'utilisation d'une tâche concurrente nécessitant le stockage des exigences de la tâche. L'activité de marche permettait de manipuler la demande attentionnelle tout en réduisant le stockage des exigences liées à l'exécution de cette tâche concurrente. La possibilité d'interprétation d'une capture attentionnelle passive écartée, les auteurs obtinrent des résultats en opposition à leurs hypothèses avec la constatation d'une amélioration des performances en mémoire de travail chez des enfants de 4 à 6 ans. Les résultats divergents obtenus dans l'Expérience 7 sont, quant à eux, interprétables via les hypothèses de Tam et collaborateurs (2010) et de Bertrand et Camos (2015). La marche a pu provoquer une capture des ressources attentionnelles dévolues au rafraîchissement de la trace mnésique.

Les résultats de l'Expérience 7 mettraient ainsi en évidence l'utilisation du mécanisme de rafraîchissement attentionnel dès l'âge de 5 ans. Pourtant, malgré une procédure relativement similaire employée dans l'Expérience 7 et dans l'étude de Bertrand et Camos (2015), les résultats obtenus divergent. A l'inverse de Bertrand et Camos qui avaient constaté un effet bénéfique dans une condition demandeuse en ressources attentionnelles, nous avons observé un effet délétère dans cette même condition. Une des interprétations faites par Bertrand et Camos suggérait que cette

condition de jeu pouvait avoir eu un effet d'aide au maintien du but. Après avoir testé cette hypothèse, les résultats de l'Expérience 7 ne nous permettent pas de valider cette interprétation. Cependant, un élément de procédure différait entre les deux expériences. L'étude de Bertrand et Camos (2015) proposait une tâche de reconstruction lors de la phase de rappel alors que l'Expérience 7 impliquait une tâche de rappel oral. Comme discuté précédemment, une telle distinction pouvait mener à mesurer des aspects différents du stockage en mémoire.

Dans l'Expérience 8, l'absence d'effet bénéfique du type de rappel pourrait s'expliquer par le déroulement de la phase d'encodage. En effet, des enfants de 5 ans et 4 mois sont en mesure d'obtenir des performances mnésiques similaires en tâche de reconstruction et en tâche de rappel oral sériel, lorsqu'à l'encodage la représentation de l'ordre temporel est en correspondance directe avec la représentation de l'ordre spatial (Brown, 1975, Exp. 2). Cette correspondance directe était présente dans l'étude de Bertrand et Camos (2015), ainsi que dans l'Expérience 8. A l'encodage, le fait de placer les items un à un dans un fin sac transparent donnait aux enfants une représentation temporelle de l'ordre (un fruit ou légume par seconde placé dans le sac) et une représentation spatiale de l'ordre (étroitesse du sac). Cette aide à l'encodage rendrait compte d'une absence d'effet du type de rappel dans l'Expérience 8. A l'opposé, lorsque l'encodage ne permet pas de réaliser ce lien entre les représentations spatiales et temporelles, les enfants de 5 ans et 6 mois obtiennent de meilleurs résultats en reconstruction dus une dégradation des performances en rappel oral sériel (Brown, 1975, Exp. 1). Ceci pourrait expliquer la divergence observée entre les résultats obtenus dans l'Expérience 7, où l'utilisation d'un sac opaque à l'encodage des fruits et légumes ne permettait pas aux enfants de 5, 6 et 7 ans de faire le lien entre représentations temporelles et spatiales, et les évidences empiriques de Bertrand et Camos (2015). Enfin, cet effet du lien entre représentations temporelles et spatiales n'était plus présent à 7 ans et 7 mois dans l'étude de Brown (1975, Exp. 1) ; les enfants d'âge scolaire présentaient des performances de rappel similaires entre la tâche de reconstruction et celle de rappel oral sériel. La nature du lien entre les représentations temporelles et spatiales lors de l'encodage semble ainsi critique chez les enfants d'âge préscolaire.

L'aide au maintien du but dans l'Expérience 8, semble, quant à elle, ne pas posséder de caractère décisif dans les compétences en mémoire de travail des enfants de 5 ans. En effet, nous avons rapporté une absence d'effet d'interaction entre le type de contexte et le type de rappel. Néanmoins, l'effet d'interaction présent entre l'ordre de présentation des conditions et le type de contexte pourrait nous indiquer qu'effectuer en premier une condition proposant une situation de jeu de rôle a permis aux enfants une gestion efficace du but. La gestion des buts implique une procédure d'identification du but, puis une procédure de maintien du but en mémoire. Nos deux précédentes expériences, mais aussi l'ensemble des expériences présentes dans cette thèse, ont porté sur la partie d'aide au maintien du but. En effet, aucune de nos procédures n'impliquait de devoir alterner à plusieurs reprises entre deux buts, ce qui implique une identification du but à poursuivre, comme cela peut être le cas dans des études du domaine du contrôle exécutif (Chevalier & Blaye, 2008, 2009; Duncan et al., 1996; Towse et al., 2007). Pourtant, par cet effet d'ordre, en présentant en premier une condition qui, en plus d'aider au maintien, pourrait proposer une forte aide à l'identification du but par son caractère hautement signifiant (jeu de rôle), puis en présentant en second une condition dont le but était moins saillant (exercice), les enfants auraient pu tirer parti d'une aide à l'identification du but et ainsi transposer ce but clairement identifié et maintenu à la seconde condition non aidante. Ceci pourrait être nommé un « effet tutoriel » où par diverses étapes clairement porteuses de sens, les enfants auraient pu identifier plus aisément le but dans la condition de jeu que dans la condition d'exercice. Cette meilleure identification aurait entraîné un maintien des performances mnésiques lors de la seconde condition d'exercice alors que celles-ci chutaient en seconde condition de jeu lorsque les enfants débutaient l'expérimentation par la condition d'exercice ne proposant pas cette didactique à l'élaboration du but.

Une autre interprétation des résultats de l'Expérience 8 serait possible par un effet d'éveil. La condition de jeu impliquait une activité de marche, ce que n'avait pas la condition d'exercice. Ainsi, les enfants, en prenant part en premier à la condition de jeu où ils avaient à se déplacer a pu favoriser l'augmentation du niveau d'éveil qui fut conservé similaire en seconde condition, ce qui est favorable aux performances cognitives (Eysenck, 1982). A l'inverse, l'effet délétère de présenter en seconde partie d'expérience cette condition expérimentale impliquant la marche vers le magasin

pourrait être dû à un effet de fatigue provoqué par l'accumulation de plus d'une dizaine de minutes d'expérimentation et une absence d'augmentation de l'éveil lors de la première condition expérimentale. Cependant, deux facteurs différaient entre les deux conditions expérimentales : l'ajout d'une activité de marche et l'ajout d'un indiciage exogène par la présence du magasin. Une telle hypothèse sur un effet de l'éveil demanderait de ne faire varier que la présence de l'activité motrice comme ce fut le cas dans l'Expérience 7. C'est ainsi que cette hypothèse d'éveil a pu être testée *a posteriori* en réexaminant les données de l'Expérience 7. Une analyse bayésienne a pu être réalisée sur les scores d'empan des enfants de 5 ans uniquement, en confondant les modalités de la variable d'indiciage, et en incluant l'activité motrice comme facteur intra-sujet et l'ordre de présentation des conditions motrices comme facteur inter-sujets. Aucun effet d'ordre ne fut mis en évidence dans l'ANOVA bayésienne chez les enfants de 5 ans,  $BF_{S01} > 1,3$ . Le seul effet significatif fut celui d'un effet principal de l'activité motrice comme précédemment rapporté dans la partie résultats de l'Expérience 7. Les évidences empiriques ainsi obtenues dans une expérience proposant un paradigme relativement similaire à celui utilisé dans l'Expérience 8 ne sont pas en faveur d'un effet de l'éveil pouvant expliquer l'effet d'interaction ordre x type de contexte de l'Expérience 8. Nous retenons ici qu'un « effet tutoriel », comme nous l'avons nommé précédemment, aidant à l'identification du but par la présentation en premier d'une condition hautement signifiante dans les liens qu'elle permettrait de faire entre la tâche et son but, est une option à considérer lors de futures expérimentations dans le domaine du développement de la mémoire de travail verbale.

Pour conclure, ces deux dernières expériences ne nous ont pas permis de mettre en évidence qu'une aide au maintien du but, de type jeu de rôle, pourrait être bénéfique aux enfants de 5 à 7 ans dans une tâche de mémoire de travail verbale. Compte tenu des résultats observés dans les Expériences 7 et 8, il semblerait que les enfants ne présentent pas de négligence du but dans de tels paradigmes. En effet, l'activité de marche, lors de l'Expérience 7, a entraîné une baisse des performances de rappel dans tous les groupes d'âges. De tels résultats laissent supposer l'utilisation d'un mécanisme de rafraîchissement attentionnel dès l'âge de 5 ans, ce qui suggérerait que les enfants sont en mesure de maintenir correctement le but durant la tâche.

L'Expérience 8 confirmerait cette hypothèse en indiquant qu'une fois le but clairement identifié grâce à une condition aidante, celui-ci pourrait être maintenu durant la réalisation d'une seconde condition expérimentale ne proposant pas d'aide au maintien du but. Enfin, ces conclusions ne sont à considérer que dans l'environnement répétitif d'une tâche de mémoire de travail et dont le but ne varie pas dans un paradigme de type Brown-Peterson. Autrement dit, si les enfants semblent maintenir efficacement le but lors de ces deux expériences, c'est parce qu'une fois le but principal de mémoriser clairement identifié, celui-ci restera identique et pertinent pour tous les essais de toutes les conditions expérimentales. Chevalier et ses collaborateurs (2014, p. 10) rapportaient dans une revue de littérature qu'une aide à la gestion des buts n'avaient pas lieu d'être dans une tâche où le but ne variait pas. Ainsi, l'étude de l'aide au maintien du but dans le domaine du développement de la mémoire de travail devrait prendre en considération cette variation des buts. Les futures recherches pourraient porter sur d'autres paradigmes d'étude de la mémoire de travail comme celui de l'empan complexe permettant une alternance fréquente entre deux buts.

## RÉSUMÉ

Après avoir associé un indiciage exogène à un indiciage endogène dans les expériences du Chapitre 6, et compte tenu des résultats obtenus mais aussi de ceux d'Istomina (1948/1975) et de Bertrand et Camos (2015), nous avons fait l'hypothèse qu'une situation de jeu de rôle aiderait au maintien du but. Outre la présence d'un indiciage exogène par le magasin et d'un indiciage endogène par la marche, le fait de jouer un rôle permettrait de créer une relation intrinsèque entre l'acte et le but à atteindre (Istomina, 1948/1975, p. 60), facilitant ainsi son maintien. Dans l'Expérience 7, des enfants de 5 à 7 ans devaient faire les courses lors d'une situation de jeu de rôle dans une tâche de type Brown-Peterson. Les indiciages exogène et endogène présents dans cette situation de jeu furent également dissociés afin d'étudier indépendamment leurs effets sur les performances en mémoire de travail des enfants. Seuls les effets principaux de l'âge et de l'activité motrice furent présents. Le fait de marcher était délétère aux performances en mémoire de travail des enfants, dès l'âge de 5 ans. Ces résultats sont contradictoires par rapport à ceux obtenus par Bertrand et Camos (2015) qui avaient observé une amélioration des performances en mémoire de travail dans une situation de jeu. Toutefois, Le type de rappel différait entre notre Expérience 7 et l'étude de Bertrand et Camos (2015). Nous avons émis l'hypothèse que cet élément de méthodologie pouvait être la cause d'une négligence du but exclusivement lorsqu'une tâche de reconstruction est proposée aux enfants, comparé à une tâche de rappel oral. Néanmoins, la situation de jeu de rôle permettrait de maintenir actif le but durant une tâche de reconstruction comparée à une tâche ne proposant pas une telle aide, comme la tâche d'exercice de notre Expérience 8. Dans cette dernière expérience, du fait de l'absence d'effet du type de contexte (jeu ou exercice) durant une tâche de reconstruction, notre hypothèse ne fut pas validée. Cependant, nous avons observé un effet d'interaction entre la variable du type de contexte et la variable d'ordre de présentation des conditions de jeu et d'exercice. Les enfants commençant l'expérimentation par la condition de jeu conservaient des performances similaires en seconde condition d'exercice alors que les enfants débutant par la condition d'exercice montraient un déclin des performances en seconde condition de jeu. Cet effet pourrait être interprété comme une aide à l'identification du but en commençant l'expérimentation par une condition facilitant la compréhension de la tâche en permettant aux enfants de faire le lien entre l'action demandée et le but à atteindre.

# DISCUSSION GÉNÉRALE

---

# Chapitre 8

## Apports, limites et perspectives

La mémoire de travail est un système cognitif dont le développement quantitatif est progressif de la prime enfance à l'âge adulte (voir Dempster et al., 1981; Gathercole, Pickering, Ambridge, et al., 2004, pour des revues). Avec l'avancée en âge, les enfants sont en mesure de mémoriser une quantité plus importante d'informations verbales, ainsi que visio-spatiales (voir Camos & Barrouillet, 2018, Chapitre 5, pour une revue). A cette évolution quantitative des capacités en mémoire de travail s'ajoute un changement qualitatif lors de la transition de la période préscolaire à la période scolaire. Les évidences empiriques sont assez congruentes sur l'âge auquel ce changement qualitatif se produirait. C'est à partir de l'âge de 6 ou 7 ans que les enfants ne seraient plus sensibles aux variations de durées entre l'encodage de l'information et sa restitution. Pour contrecarrer les effets du déclin temporel des traces mnésiques, des mécanismes de maintien de l'information sont ainsi employés dès 6-7 ans (voir par ex. Camos & Barrouillet, 2011; Oftinger & Camos, 2016; Tam et al., 2010). Au cours de ce travail de thèse, nous avons pris en considération deux mécanismes de maintien dont le fonctionnement fut très étudié dans la littérature. Il s'agissait du mécanisme de répétition articulatoire permettant une répétition en boucle de l'information, et du mécanisme de rafraîchissement attentionnel permettant une refocalisation de l'attention sur les traces mnésiques. Partant du constat d'une progression quantitative des capacités en mémoire de travail depuis la prime enfance et d'une évolution qualitative à la fin de la période préscolaire, nous nous sommes interrogés sur quel pouvait être le ou les facteurs influençant une telle distinction dans le développement des parts quantitatives et qualitatives du fonctionnement de la mémoire de travail des enfants de 4 à 9 ans.

Pour élaborer notre hypothèse, nous nous sommes inspirés de la littérature sur le développement du contrôle exécutif qui suggère que la capacité des enfants à maintenir le but d'une tâche exécutive a un impact sur la qualité de leurs réponses d'inhibition et de flexibilité. L'ensemble de la cognition étant dirigée par les buts (Anderson & Lebiere, 2014), leur maintien actif en mémoire est essentiel à la bonne



réalisation d'une tâche mentale ou physique (Altmann & Trafton, 2002). Le phénomène d'altération de ce maintien actif fut nommé la négligence du but. Il caractérise une absence de réponse aux exigences de la tâche malgré un rappel correct des consignes, donc du but, en fin de tâche (Duncan et al., 1996). Ce phénomène est d'autant plus prononcé chez de jeunes enfants (Chevalier & Blaye, 2008; Marcovitch et al., 2010; Yanaoka & Saito, 2017) dont les performances de flexibilité et d'inhibition sont altérées en l'absence d'aide rappelant le but à poursuivre. Lorsqu'une aide est présente, celle-ci peut prendre plusieurs formes. Elle peut être exogène, c'est-à-dire que la présentation d'indices visuels ou auditivo-verbaux ravive le but chez les sujets (Blaye & Chevalier, 2011; Chevalier & Blaye, 2009; Towse et al., 2007). Elle peut également être endogène, dans ce cas les enfants sont en mesure d'identifier le but en se basant sur la rythmicité de la tâche (Dauvier et al., 2012). Cette réactivation du but durant la réalisation d'une tâche exécutive permet un meilleur maintien du but et conduit les enfants à améliorer leurs performances d'inhibition et de flexibilité, en comparaison avec une condition qui ne proposerait pas une telle aide.

La qualité du contrôle exécutif durant l'enfance est donc dépendante de la capacité des enfants à maintenir le but lors de la réalisation de la tâche. Un parallèle peut être ainsi fait entre la dépendance du développement du contrôle exécutif au maintien du but durant la période préscolaire, et le changement qualitatif s'opérant à la fin de l'âge préscolaire dans le fonctionnement de la mémoire de travail. Ainsi, nous proposons, dans ce travail de thèse, que la capacité des jeunes enfants à maintenir un but pourrait influencer l'utilisation de mécanismes de maintien de l'information en mémoire de travail. Nous suggérons que les enfants disposeraient de mécanismes de maintien de l'information avant l'âge de 6 ans, mais ne pourraient les mettre en place lors d'une tâche de mémoire de travail du fait de leur propension à négliger le but. Cette hypothèse fut à la base de nos neuf expériences rapportées dans les Chapitre 5, 6 et 7 de cette thèse. Dans le Chapitre 5, des indices exogènes furent présentés aux enfants durant des tâches de mémoire de travail utilisant des paradigmes de type Brown-Peterson, d'empan simple ou d'empan complexe. Le Chapitre 6 a porté sur l'ajout d'un indiçage endogène à l'indiçage exogène présenté lors de la réalisation d'une tâche de mémoire de travail construite autour d'un paradigme de type Brown-Peterson. L'indiçage endogène correspondait à une activité motrice de gestuelle faite

par les enfants participant aux expériences. Le choix de la gestuelle pour indiquer au maintien du but s'est fait, d'une part, à partir des travaux montrant qu'une gestuelle porteuse de sens a un effet sur le fonctionnement de la mémoire de travail des enfants (voir par ex. Goldin-Meadow et al., 2001; So et al., 2012). D'autre part, ce choix d'un indiçage par la gestuelle fut réalisé suite aux résultats obtenus dans les expériences rapportées dans le Chapitre 6. Enfin, dans le Chapitre 7, une situation de jeu de rôle fut proposée pour aider au maintien du but. Compte tenu des résultats expérimentaux du Chapitre 6, nous avons soulevé l'hypothèse qu'un ensemble de facteurs exogènes, endogènes et incarnés (jeu de rôle) permettrait un maintien efficace du but lors de l'exécution d'une tâche de mémoire de travail par des enfants d'âge préscolaire. Cette hypothèse était soutenue par de précédentes évidences empiriques (Bertrand & Camos, 2015; Istomina, 1948/1975) laissant suggérer qu'impliquer des enfants dans un jeu de rôle leur permettrait d'incarner le but de la tâche, ce qui serait bénéfique au maintien du but, et par conséquent à leurs capacités en mémoire de travail.

Pour résumer nos principaux résultats, un premier point à rapporter concerne la présence d'un effet principal de l'âge sur les performances en mémoire de travail que nous avons toujours observé dans nos expériences, dès lors que nous testions plusieurs groupes d'âges différents. Cet effet, en accord avec la littérature (voir Camos & Barrouillet, 2018; Dempster et al., 1981, pour des revues), permet de mettre en évidence un accroissement des capacités en mémoire de travail durant le développement de l'enfant, suggérant que les épreuves employées présentaient une bonne sensibilité développementale. Toutefois, malgré l'utilisation d'épreuves adéquates au champ étudié, l'ensemble des évidences empiriques obtenues au cours des neuf expériences de cette thèse ne permettent pas de valider notre hypothèse sur le rôle clef du maintien du but dans le développement de la mémoire de travail. Seule une expérience (Exp. 5) a permis de mettre en évidence l'impact positif de l'aide au maintien du but sur les performances en rappel libre des enfants d'âge préscolaire ; néanmoins, cet effet ne fut pas répliqué dans l'expérience suivante (Exp. 6). Il est à noter que dans une autre expérience (Exp. 2a) une fréquence accrue dans l'utilisation d'un mécanisme de répétition fut constatée en présence d'un indiçage visuel chez des enfants de 6 ans. Cependant, cette amélioration qualitative n'a pas entraîné de changement quantitatif des performances. L'aide au maintien du but via un indiçage

auditivo-verbal s'est même montrée avoir un effet négatif sur les performances de rappel d'enfants d'âges préscolaire et scolaire dans l'Expérience 2b. Les Expériences 1, 3, 4, 6 et 7 ne nous ont pas permis de conclure quant à un effet de l'aide au maintien du but sur le développement de la mémoire de travail. Enfin, l'Expérience 8, a permis d'envisager une aide à l'identification du but lors d'une tâche de mémoire de travail. Cette identification correspond à la première étape de la gestion des buts intervenant avant le maintien actif d'un but durant la réalisation d'une tâche. L'apport des évidences empiriques obtenues au cours de ce travail de thèse sur notre connaissance du développement de la mémoire de travail sera développé dans la partie suivante.

## 8.1 Nos apports à la recherche sur le développement de la mémoire de travail

Dans ce point, nous discutons de la capacité des jeunes enfants à négliger le but lors d'une tâche de mémoire de travail. Les enfants négligeraient-ils vraiment le but lors d'une tâche de mémoire de travail, comme ils le font lors d'une tâche de contrôle exécutif ? Ou bien, serait-il possible que le but puisse être maintenu actif dans certains cas particuliers de tâches de mémoire de travail ? Nous discuterons ensuite du lien qu'il y aurait entre les capacités en mémoire de travail des jeunes enfants (faible et fort empan) et leur aptitude à maintenir le but, comme mis en évidence par Marcovitch et ses collaborateurs (2010) dans l'étude du contrôle exécutif d'enfants de 4 à 6 ans. Enfin, nous soulèverons la question d'un âge minimal pour la mise en place et l'utilisation de mécanismes de maintien de l'information.

### 8.1.1 Négligence du but en tâches de mémoire de travail ?

Pour explorer l'aide au maintien du but lors d'une tâche de mémoire de travail, nous avons, dans toutes nos expériences, comparé une condition présentant un indiçage du but à une condition qui n'en possédait pas. Notre hypothèse opérationnelle était qu'en observant l'obtention de meilleures performances en mémoire de travail dans la condition proposant un indiçage comparé à une condition sans indiçage indiquerait que le but tend à être négligé lors d'une tâche de mémoire de travail et que son maintien peut être aidé. Dans nos résultats, l'absence d'effet de

l'indiciage peut donner lieu à deux hypothèses interprétatives : soit l'aide ne fut pas efficace et la négligence a persisté dans les deux conditions, soit le but fut maintenu activement dès l'âge de 4 ans lors d'une tâche de mémoire de travail ce qui a rendu inutile l'indiciage. Ces deux interprétations sont discutées ci-après.

#### 8.1.1.1 Inefficacité de l'indiciage et persistance de la négligence

L'hypothèse de l'inefficacité de l'indiciage utilisé pour étayer le maintien du but est notamment soutenue par la littérature sur le contrôle exécutif qui montre une négligence accrue du but chez les jeunes enfants (Chevalier & Blaye, 2008; Marcovitch et al., 2010; Yanaoka & Saito, 2017) lorsque ceux-ci ne reçoivent pas d'aide adaptée pour gérer les buts. Cette hypothèse est aussi soutenue par les évidences empiriques obtenues lors de ce travail de thèse. L'Expérience 2a répondait à l'absence d'effet de l'indiciage visuel de l'Expérience 1 par un accroissement du délai post-encodage avec une augmentation du temps de présentation de l'indice. L'hypothèse émise était celle de la nécessité de disposer d'un temps supplémentaire lors de ce délai, afin de permettre l'activation de mécanismes de maintien de l'information ainsi que leur utilisation. En effet, nous savons que la répétition requière du temps pour être effectuée (Baddeley et al., 1975). L'observation d'une plus grande fréquence de l'usage de la répétition, lors de la présentation d'un indice visuel, pourrait suggérer le rôle crucial du maintien du but dans le développement de la mémoire de travail des enfants de 6 ans. Cependant, deux arguments s'opposent à cette conclusion. Premièrement, cette progression qualitative n'a pas engendré d'amélioration quantitative sur les capacités en mémoire de travail, mais ceci pourrait être expliqué par la nouvelle utilisation d'une stratégie qui ne saurait impacter les performances mnésiques lors de sa première mise en place (voir Siegler, 1996, pour une revue). Deuxièmement, l'effet présent était relativement faible,  $BF_{10} = 2,14$ , ce qui représente une preuve « anecdotique » selon la classification de Jeffreys (1961). Cet effet n'était également plus présent,  $BF_{01} = 1,26 \pm 1,838 \times 10^{-4} \%$ , si nous prenions en considération uniquement la répétition à haute voix, en excluant l'observation des mouvements de lèvres pouvant être sujets à de mauvaises interprétations, même si un tel indice comportemental fut observé chez des enfants de 7 ans faisant preuve de répétition (Flavell et al., 1966). L'Expérience 2b avait pour objectif de répondre à la potentielle

inefficacité d'un indiçage visuel dans une tâche de mémoire de travail par l'emploi d'un indiçage auditivo-verbal connu pour être le format le plus aidant dans l'aide au maintien du but lors d'une tâche de contrôle exécutif (Chevalier & Blaye, 2009). Les résultats de l'Expérience 2b démontrèrent clairement que ce format d'indiçage ne pouvait être utilisé lors d'une tâche de mémoire de travail verbale du fait de l'interférence qu'il produisait avec le maintien des items de la tâche de mémoire (voir Neath, 2000, pour une revue). Lors d'une des deux expériences contrôles du Chapitre 5, l'absence d'effet de l'indiçage laissait également supposer l'inefficacité du nouveau type d'indiçage mis en place, c'est-à-dire celui de présenter pendant toute la durée d'une tâche d'empan complexe une bandelette de papier représentant le nombre d'items contenus dans la série engagée (Exp. 4).

Dans le Chapitre 6, une nouvelle méthodologie fut développée en associant un indiçage exogène à un indiçage endogène lors du délai d'un paradigme de type Brown-Peterson. Les enfants avaient à déplacer, par une gestuelle, une image de cartable vers un dessin de table, dont les deux éléments étaient affichés sur un écran d'ordinateur. Dans l'Expérience 5, les enfants de 5 ans ont obtenu de meilleures performances en rappel libre lorsqu'ils avaient à déplacer le cartable en direction de la table, comparé à déplacer une forme arbitraire (un rectangle noir) d'un côté à l'autre de l'écran. Ces résultats permettaient de rendre compte d'une aide au maintien du but par l'association d'un indiçage exogène à un indiçage endogène, résultant en une activité orientée vers le but, agissant sur les performances mnésiques des enfants. Toutefois, ces évidences empiriques n'étaient qu'« anecdotique »,  $BF_{10} = 2,25$ , tout comme dans l'Expérience 2a. De plus, cet effet ne fut pas reproduit lors de l'Expérience 6 ayant une méthodologie en grande partie similaire. Outre les hypothèses interprétatives développées dans la discussion générale du Chapitre 6 concernant l'activité gestuelle inconstante de l'Expérience 6 et l'influence d'un type de rappel différent entre les Expériences 5 et 6, nous proposons ici une nouvelle interprétation. Le changement méthodologique principal entre l'Expérience 5 et l'Expérience 6 fut de rendre le déplacement de la forme effective par l'action de l'enfant. Dans le Chapitre 6, il s'agissait ainsi pour les enfants de déplacer une forme (rectangle ou cartable) avec leur doigt, vers un but. L'intérêt était de réduire le coût cognitif engendré par l'activité complexe d'un suivi au doigt pouvant être supérieur

dans l'Expérience 5 que lors de l'activité plus simple du déplacement de la forme dans l'Expérience 6. En effet, le niveau de complexité d'une action motrice, et donc son niveau en demande attentionnelle, est en mesure d'influencer les performances cognitives chez de très jeunes enfants (de 9,5 et 10,5 mois) dans une tâche orientée vers un but (Boudreau & Bushnell, 2000). Cette modification méthodologique a pu également avoir pour effet de simplifier l'interprétation des consignes par les enfants lors de l'Expérience 6. Le feedback visuel que les enfants obtenaient avec l'avancement de la forme était en adéquation avec leur activité motrice. Cela n'engendrait pas les comportements observés d'enfants tentant d'obtenir une interaction avec la forme (par ex. essayer de la faire avancer plus vite) dans l'Expérience 5. Cette simplification de la compréhension de la tâche a pu favoriser le maintien du but chez les enfants participant à l'Expérience 6 ; *a contrario*, la complexité du paradigme de l'Expérience 5 a pu augmenter la négligence du but. Cette hypothèse est soutenue par une étude de Roberts et Anderson (2014) où la complexité d'un plan d'action exigé par une tâche a influencé le maintien du but conduisant à une négligence du but en situation complexe chez des enfants de 7 à 11 ans.

#### 8.1.1.2 Inutilité de l'indication due à un maintien efficace du but

L'adoption de l'hypothèse interprétative précédente concernant le niveau de complexité de la tâche pour expliquer la non-reproduction des résultats de l'Expérience 5 suggèrerait également que le but a pu être maintenu efficacement sans avoir recours à l'aide apportée par l'indication dans l'Expérience 6. Ainsi, la négligence du but pourrait ne pas avoir lieu lors d'une tâche de type Brown-Peterson si celle-ci présente une complexité réduite. De plus, la structure même d'un paradigme de type Brown-Peterson permettrait un maintien du but facilité par une conservation de la pertinence du but principal durant toute la réalisation de la tâche. En effet, malgré la présence d'une tâche concurrente impliquant l'accomplissement d'un nouveau but pendant le délai, le but principal de mémoriser resterait pertinent. Cette caractéristique fait du paradigme de type Brown-Peterson une tâche dont le but ne varie pas si l'on considère que le but principal de mémoriser reste pertinent durant la tâche concurrente, ou varie peu si l'on considère l'unique alternance vers le but de la tâche concurrente avant un retour vers le but de la tâche de mémoire lors du rappel. Selon

le modèle TBRS (Barrouillet et al., 2004; Barrouillet & Camos, 2015), lors de la réalisation d'une tâche concurrente, l'alternance entre les deux buts pourrait se faire plus fréquemment afin de rafraîchir les traces mémorielles. Dans ce cas, l'utilisation du rafraîchissement attentionnel suppose un maintien actif du but de la part des sujets. Ainsi, seuls les enfants de moins de 6-7 ans ne présenteraient pas ou peu d'alternance de but durant un paradigme de type Brown-Peterson car ils n'utiliseraient pas de rafraîchissement attentionnel.

Cette caractéristique particulière est propre au paradigme de type Brown-Peterson et ne se retrouve pas dans une tâche d'empan complexe où l'alternance entre le but de mémoriser les items et celui de traiter la tâche concurrente se fait plus fréquemment. Cette alternance entre les buts ferait de l'identification et du maintien du but des étapes cruciales à la bonne exécution d'une tâche d'empan complexe. C'est ce fonctionnement d'alternance fréquente entre les buts qui est retrouvé dans une tâche telle que celle du tri de cartes (DCCS) couramment utilisée pour étudier l'impact du maintien du but lors du contrôle exécutif. La négligence du but dans ce type de tâches serait imputée à cette complexité des plans d'actions dans la gestion des buts rendant l'aide au maintien du but pertinente. A l'opposé, une tâche dont le but ne varierait pas réduirait l'incertitude quant au but à poursuivre rendant de fait inutile le traitement de l'indice (Chevalier et al., 2014, p. 10). Cette hypothèse provient de l'observation d'une absence d'effet de la manipulation de la transparence et du format de l'indice lors d'essais d'un bloc simple (« simple block ») dans l'étude de Chevalier et Blaye (2009). Durant les essais d'un bloc simple d'un paradigme du type DCCS, les enfants devaient trier les cartes toujours selon le même critère. Le but ne variait donc pas durant les essais d'un bloc simple. La précision des réponses au tri de cartes restait forte quel que soit le type d'indice proposé. Ceci suggère une identification et un maintien actif du but, chez des enfants de 5 ans et plus, sans nécessiter d'aide extérieure. Nous pouvons ainsi rapprocher le fonctionnement d'un paradigme de type Brown-Peterson au déroulement des essais de type bloc simple du DCCS. La progression d'une tâche d'empan complexe serait similaire à la succession d'essais d'alternance (« switch ») ou de non alternance (« no switch ») du DCCS nécessitant une aide à la gestion des buts. De plus, les tâches d'empan complexe et les paradigmes d'alternance de tâche (« task switching ») partageraient des ressources communes

selon Lehto (1996), rapportant dans son étude une forte corrélation entre les performances au Wisconsin Card Sorting Test et les performances obtenues lors de tâches d'empan de lecture et d'empan de calcul, toutes deux des tâches d'empan complexe. Aussi, selon Liefoghe, Barrouillet, Vandierendonck, et Camos (2008), le paradigme d'empan complexe exigerait un coût cognitif dévolu à l'alternance de tâche entre la tâche de mémoire et la tâche concurrente. L'ensemble de ces points ferait du paradigme d'empan complexe une situation dans laquelle la négligence du but pourrait avoir lieu, tout comme lors d'un paradigme d'alternance de tâches. L'emploi d'une tâche d'empan complexe se révélerait ainsi pertinent pour étudier l'impact du maintien du but dans le développement de la mémoire de travail des enfants.

La facilité à maintenir le but lors d'un paradigme de type Brown-Peterson pourrait rendre compte des résultats de l'Expérience 7, où nous avons observé un effet délétère de l'activité motrice sur les performances en mémoire de travail. Ces résultats indiqueraient une utilisation du mécanisme de rafraîchissement attentionnel dès l'âge de 5 ans dans toutes les conditions expérimentales. Le rafraîchissement serait perturbé par l'activité de marche, demandeuse en attention, durant le délai post-encodage comme développé en discussion générale du Chapitre 7. Un tel emploi de mécanismes de maintien de l'information suppose que le but puisse être maintenu activement durant la tâche. Or, nous n'avons observé aucun effet de l'indiçage lors de l'Expérience 7. Ainsi, en plus de l'observation d'un effet de charge attentionnelle et de l'hypothèse qu'un seul but principal resterait pertinent lors d'un paradigme de type Brown-Peterson, l'absence d'effet de l'indiçage suggérerait que le but ait été maintenu actif par les enfants sans avoir recours à l'aide au maintien proposée par l'indiçage. L'Expérience 8 confirmerait cette hypothèse en précisant qu'une fois le but clairement identifié, celui-ci pourrait être efficacement maintenu lors de la réalisation d'une seconde condition expérimentale ne proposant ni aide à l'identification ni aide au maintien.

#### *8.1.1.2.1 Capacités en mémoire de travail et maintien du but*

Un lien corrélationnel serait présent entre les capacités en mémoire de travail des enfants et leur propension à négliger le but. D'après une étude de Marcovitch et collaborateurs (2010) testant des enfants de 4 à 6 ans, ce sont les enfants à faibles



capacités en mémoire de travail qui faisaient le plus d'erreurs de tri de cartes dans une tâche de type DCCS. Les auteurs attribuèrent l'accroissement de ces erreurs au fait que les enfants à faibles capacités en mémoire de travail seraient plus susceptibles d'être confrontés au phénomène de négligence du but que les enfants à fortes capacités en mémoire de travail. Suite à cette conclusion, nous proposons que les enfants à faible empan (c.-à-d., faibles capacités en mémoire de travail) bénéficieraient le plus d'un indiçage du but lors d'une tâche de mémoire de travail, alors que l'indiçage ne présenterait pas d'intérêt pour les enfants à fort empan du fait de leur maintien efficace du but. Afin de déterminer si un tel effet a pu se produire lors de nos expériences, nous avons ré-analysé l'ensemble de nos données (voir en Annexe) en considérant l'effet d'interaction entre les capacités en mémoire de travail des enfants et l'impact de l'indiçage du but sur les scores d'empan. Quatre de nos expériences (Exp. 1, 2a, 2b, 3) présentaient un effet d'interaction entre ces deux variables. Deux d'entre elles (Exp. 1 et 2b) affichaient un effet délétère de l'indiçage sur les scores d'empan des enfants à fort empan et aucun effet n'était présent chez les enfants à faible empan. Cet effet délétère reste néanmoins minime et ne nous permet de porter aucune conclusion dans l'Expérience 1 où les enfants de 6 ans à fort empan montrèrent une dégradation de leurs performances de rappel dans la condition impliquant un indiçage visuel du but,  $BF_{10} = 1,02$ . Dans l'Expérience 2b, l'effet délétère de l'indiçage sur les scores d'empan des enfants de 6 ans à fort empan est quant à lui fort,  $BF_{10} = 11,69$ , et aucun effet de l'indiçage ne fut rapporté chez les enfants à faible empan. Cette détérioration des performances mnésiques chez les enfants à fort empan dans l'Expérience 2b peut être attribuée à l'effet d'interférence entre le code verbal des items et le code verbal de l'indiçage (voir Neath, 2000, pour une revue). L'absence d'effet chez les enfants à faible empan suggère l'inutilisation du mécanisme de répétition alors que celui-ci serait présent, mais perturbé par l'indiçage, chez les enfants à fort empan. Une telle distinction entre enfants à faible et fort empan dans la mise en place d'un mécanisme de répétition serait en accord avec l'idée qu'un tel mécanisme apparaît à 6 ans. Certains enfants auraient pu mettre en place ce mécanisme avant d'autres enfants, faisant d'eux des enfants catégorisés comme « à fort empan ».

Cet effet d'interaction entre les capacités en mémoire de travail des enfants et l'indiçage du but fut également présent chez les enfants de 6 ans de l'Expérience 2a,

$BF_{10} = 1,66$  ; mais aucun effet principal de l'indiciage ne fut mis en évidence, que ce soit chez les enfants à faible empan et ceux à fort empan. Aussi, dans l'Expérience 2a, un effet principal de l'indiciage sur la fréquence de répétition fut précédemment rapporté. Toutefois, aucun effet d'interaction des variables du niveau d'empan et de l'indiciage ne fut observé sur la fréquence de répétition (Annexe). Enfin, dans l'Expérience 3, un effet d'interaction fut observé chez les enfants de 5 ans entre la variable du niveau d'empan et celle de l'indiciage,  $BF_{10} = 4,3$ , où les enfants à faible empan présentaient un effet principal bénéfique de l'indiciage,  $BF_{10} = 1,41$ , alors qu'aucun effet principal de l'indiciage ne fut mis en évidence chez les enfants à fort empan. Aussi, cet effet d'indiciage du but sur les scores d'empan des enfants à faible empan reste faible<sup>7</sup>. De plus, cet effet bénéfique fut seulement présent dans l'Expérience 3. Ainsi, l'ensemble des éléments évoqués ne permettent pas de conclure en la présence d'un effet bénéfique significatif de l'indiciage qui serait uniquement présent chez les enfants à faible empan. L'absence d'effet trouverait une interprétation dans le fait que, contrairement aux évidence obtenues par Marcovitch et ses collaborateurs (2010) dans l'étude du développement du contrôle exécutif, les enfants ne négligeraient pas le but lors d'une tâche de mémoire de travail. Le but serait tout autant maintenu actif par des enfants à faible empan que par ceux à fort empan. Nous venons ainsi de développer plusieurs points défendant la théorie d'une absence de négligence du but lors de l'exécution d'une tâche de mémoire de travail. Mais alors, si le but n'est pas négligé, comment interpréter l'absence d'utilisation de mécanismes de maintien de l'information avant l'âge de 6-7 ans ? Nous apportons des éléments de réponse à cette question dans le point suivant.

#### 8.1.1.2.2 Age minimal pour l'apparition des mécanismes de maintien de l'information ?

En se plaçant sous notre hypothèse interprétative d'un maintien actif du but dès l'âge préscolaire lors d'une tâche de mémoire de travail, pour quelles raisons les

<sup>7</sup> Un test de robustesse confirma la faiblesse du  $BF_{10} = 1,41$  par une réduction de la valeur du  $BF$  lorsque le prior est élargi (Annexe, Fig. 29). L'analyse séquentielle (Annexe, Fig. 30) illustra également une fluctuation de l'évidence, soit orientée vers l'hypothèse nulle, soit vers l'hypothèse alternative mais tout en restant qu'une preuve « anecdotique » de l'aide au maintien du but chez les enfants à faible empan.

mécanismes de maintien de l'information ne seraient-ils pas utilisés durant la période préscolaire ? De nombreuses évidences empiriques s'accordent à démontrer que de tels mécanismes de répétition et de rafraîchissement apparaissent à partir de 6 ans comme mis en évidence dans nos Expériences 2a, 2b et 4, mais aussi lors de précédentes études développementales (voir Camos & Barrouillet, 2018, Chapitre 5, pour une revue). Notre hypothèse selon laquelle la négligence du but serait responsable d'une non-utilisation de tels mécanismes avant l'âge de 6 ans n'a pas été validée empiriquement. Toutefois, la mise en place de tels mécanismes de maintien de l'information est-elle envisageable chez des enfants de moins de 6 ans ? Car, même un entraînement à l'utilisation du mécanisme de répétition articulatoire chez des enfants de 5 ans n'impacte pas leurs performances de rappel. De plus, les enfants n'étaient pas en mesure d'utiliser ce mécanisme lorsqu'ils n'étaient pas invités explicitement à le faire (Naus, Ornstein, & Aivano, 1977; Ornstein, Naus, & Liberty, 1975). L'une des hypothèses interprétatives pour une apparition des mécanismes de maintien de l'information qu'à partir de 6 ans résiderait dans le fait que l'apprentissage de tels mécanismes serait façonné par l'environnement culturel dans lequel évoluent les enfants, mais aussi par les savoirs qu'ils y acquièrent. Le développement des mécanismes de maintien de l'information pourrait ainsi se faire par leurs instructions et leurs entraînements (Geary, 1995, cité dans Camos et Barrouillet, 2018, Chapitre 7) ; malgré cela, ils ne pourraient être utilisés avant l'âge de 6 ans comme suggéré par les évidences précédemment exposées. Au-delà de la difficulté à enseigner à de jeunes enfants l'emploi d'un mécanisme de répétition et de l'hypothèse de l'acquisition de cette habileté dans un contexte culturel donné tout en nécessitant un entraînement, l'immaturation du cortex préfrontal pourrait être un frein au développement de tels mécanismes, comme elle l'est dans le développement du contrôle exécutif (Diamond, 2002). Répéter serait également coûteux pour des jeunes enfants. En effet, il a été mis en évidence que la fréquence de tapping sur un pad diminuait lorsque des enfants de 7 à 9 ans (grades 2 and 3) avaient à faire preuve de répétition dans un même temps ; ce ralentissement ne fut pas mis en évidence chez des enfants de 11-12 ans (grade 6) (Guttentag, 1984). Ainsi, les éléments discutés dans ce point dépeignent un tableau nous indiquant la difficulté à mettre en évidence l'apparition de mécanismes de maintien de l'information durant l'âge préscolaire. Outre cette difficulté, nous nous

sommes heurtés à la complexité de transférer une méthodologie classiquement employée pour l'étude au maintien du but lors du contrôle exécutif vers l'étude du développement de la mémoire de travail ; ceci constitue le sujet de discussion du point suivant.

## 8.2 Limites du transfert d'une méthode d'un champ à un autre

Étudier le fonctionnement de la mémoire de travail ou celui du contrôle exécutif se fait habituellement par l'utilisation de paradigmes différents. Cette distinction provient de ce sur quoi portent les mesures. Lorsqu'il s'agit principalement de mesurer les capacités de maintien d'items lors de tâches de mémoire de travail, la mesure du contrôle exécutif peut, quant à elle, porter sur les compétences à alterner entre deux tâches ou à inhiber une réponse prépotente. Ainsi, lorsqu'il est pertinent d'utiliser un indice auditivo-verbal de but dans l'étude du contrôle exécutif, l'application d'une telle méthodologie dans l'étude du fonctionnement de la mémoire de travail verbale s'est révélée être contre-productive (Exp. 2b). L'indice auditivo-verbal est le format d'indice permettant un maintien optimal du but lors de tâches de contrôle exécutif. La raison provient du fait que le but est directement présenté dans le format avec lequel il est stocké en mémoire de travail durant la réalisation de la tâche (Gruber & Goschke, 2004). Ceci fut notamment démontré chez des adultes par la manipulation de la transparence de l'indice lorsque des adultes étaient placés en situation où la boucle phonologique était saturée par une suppression articulatoire (Miyake et al., 2004). Les indices les plus transparents, ceux qui demandaient le moins de traitement pour être maintenus (par ex. un mot écrit pour indiquer le but à suivre), réduisaient le coût d'alternance dans une tâche où les participants devaient soit indiquer la couleur soit la forme d'un item. Par contre, les performances d'alternance étaient grevées par le coût cognitif supplémentaire nécessaire à la traduction d'indices moins transparents (par ex. une lettre pour indiquer le but à suivre) vers un code verbal. L'utilisation d'indices verbaux sont ainsi ceux conduisant aux meilleures performances de flexibilité (Chevalier & Blaye, 2009).

C'est en référence à ces évidences que nous avons présenté à des enfants de 6 ans un indiçage auditivo-verbal lors de l'Expérience 2b. Les résultats obtenus ont été les seuls de nos neuf expériences à montrer une chute des performances de rappel en présence d'un indice de but. Il semblerait que le code verbal de l'indice soit venu interférer avec le code verbal des items à maintenir en mémoire. Ainsi, le format d'indice le plus efficace dans l'étude du contrôle exécutif s'est avéré être délétère aux performances mnésiques dans nos tâches. Alors, l'emploi d'un indiçage visuel pourrait-il être de meilleur aloi pour aider au maintien du but durant une tâche de mémoire de travail verbale ? Rien n'est moins sûr. Comme indiqué précédemment, le but est traduit vers un code verbal pour être maintenu actif lors de la réalisation de la tâche. De ce fait, une interférence entre items verbaux à maintenir et but à maintenir sous forme verbale pourrait conduire une nouvelle fois vers la dégradation des performances de rappel. L'utilisation, dans les expériences du Chapitre 7, d'une nouvelle forme d'indiçage par l'incarnation du but lors d'un jeu de rôle pourrait lever ce conflit de modalités entre le maintien du but et le maintien des items verbaux. Toutefois, aucun effet significatif de l'aide au maintien du but ne fut observé dans les deux expériences du Chapitre 7. Lors de futures expérimentations, il pourrait être bénéfique d'étudier une autre modalité d'items à maintenir en mémoire de travail, comme une information visio-spatiale où le maintien des items ne devrait pas interférer avec le maintien verbal du but.

Une autre dissimilitude de méthodologie fut en mesure d'impacter nos résultats expérimentaux de façon différente que ceux provenant de l'étude du maintien du but en contrôle exécutif. Si le traitement de l'indice lors d'une tâche de tri de cartes peut se faire de façon réactive (voir Braver, 2012; Braver et al., 2007, pour la théorie des deux mécanismes de contrôle), c'est-à-dire en mettant en place un comportement en réaction à l'apparition du stimulus, lors d'un paradigme de type Brown-Peterson ce type de traitement de l'indice peut conduire les enfants à ne pas répondre à l'indiçage par l'activation de mécanismes de maintien de l'information. En effet, lorsqu'il est présenté aux enfants, par exemple, un ruban de plusieurs couleurs entourant la carte à trier par la couleur, le lien entre ce type d'indiçage et l'action à réaliser est facilité par la présence dans l'environnement de tous les éléments nécessaires à la compréhension de l'indice et à l'exécution de la réponse. Par contre, lors de la présentation de l'indice

visuel durant le délai d'un paradigme de type Brown-Peterson, l'environnement de la tâche concurrente (par ex. nommer des couleurs) n'est pas en lien avec le traitement attendu de l'indice (mémoriser les items préalablement présentés). En utilisant un tel indice de façon réactive, et en supposant que les enfants traitent celui-ci comme demandé (« bien garder dans ta tête les images »), les jeunes enfants pourraient ne pas parvenir à faire le lien entre ce à quoi réfère l'indice (garder les images en tête), ce qui est attendu d'eux (répéter ou rafraîchir les traces mémorielles), et la tâche proposée par l'environnement (nommer des couleurs). Ce sont justement les enfants d'âge préscolaire qui ont le plus de difficultés dans ce type de situation, car employant majoritairement un traitement réactif plutôt que proactif (Chevalier et al., 2015). Un traitement proactif permet aux sujets de préparer le contrôle exécutif en vue de l'interférence à venir (Braver, 2012). Un contrôle proactif, dans le cadre d'un indiçage du but lors d'une tâche de mémoire de travail, pourrait se manifester par la mise en place des mécanismes de maintien de l'information pour qu'elle soit rappelée ultérieurement. Ainsi, pour aider les enfants utilisant majoritairement un contrôle réactif à faire le lien entre la demande de l'indiçage et l'action à réaliser, nous avons élaboré une nouvelle méthodologie d'indiçage du but dans le Chapitre 6. Les enfants étaient impliqués dans la réalisation d'une gestuelle orientée vers le but durant le délai d'un paradigme de type Brown-Peterson. Les résultats obtenus de l'Expérience 5 pourraient indiquer que ce type d'indiçage aurait un effet bénéfique chez des enfants de 5 ans. Présenter un indiçage durant tout le délai d'un paradigme de type Brown-Peterson serait aidant au maintien du but. Ces éléments, quant à la pertinence de l'indiçage du but et l'augmentation du temps de présentation des indices, seront à considérer lors de la construction de futurs paradigmes expérimentaux ayant pour objectif d'explorer l'aide au maintien du but dans le développement de la mémoire de travail.

### 8.3 Perspectives

Ce travail de thèse ouvre la voie à l'étude du rôle du maintien du but dans le développement de la mémoire de travail des jeunes enfants. De nombreux aspects restent à explorer. En effet, nous avons, lors de nos recherches, uniquement porté notre attention sur le développement de la mémoire de travail verbale. Outre cette

focalisation sur la mémoire verbale, dans huit expériences sur neuf, l'indiciage était présenté lors du délai soit de paradigmes de type Brown-Peterson soit d'une tâche d'empan simple avec délai. Également, aucune variation de la durée du délai ne fut employée. Une telle variation du délai permettrait d'analyser l'impact de l'indiciage sur la mise en place de mécanismes de maintien de l'information, tout comme le permettrait une variation du coût cognitif qui ne fut que peu manipulée dans nos expériences (voir Barrouillet et al., 2004, 2007, 2009; Camos & Barrouillet, 2011, pour l'impact de la manipulation du temps et du coût cognitif sur l'utilisation du rafraichissement attentionnel). Chez des enfants étant à l'âge charnière dans le développement des mécanismes de maintien de l'information, par l'absence de condition manipulant la durée du délai ou la charge cognitive (Exp. 1, 2a, 2b, 3), il était ainsi difficile de rapporter si les enfants utilisaient déjà des mécanismes de maintien de l'information ou si ces mécanismes n'avaient pu être mis en place en présence d'une aide au maintien du but.

Comme relevé précédemment, sept de nos expériences sur neuf étaient construites sur le format d'un paradigme de type Brown-Peterson. Nous l'avons discuté dans le point 8.1.1.2 « Inutilité de l'indiciage due à un maintien efficace du but », ce type de paradigme n'entraînerait que peu ou pas d'alternance de but et ne conduirait à aucune négligence du but, cela même chez les plus jeunes. Cette hypothèse est notamment soutenue par Smith (2008) indiquant que le maintien du but « n'est pas un facteur majeur dans une tâche simple de mémoire de travail [mais pourrait être] un facteur majeur dans une tâche de mémoire de travail qui requière des processus de contrôle comme dans une tâche d'empan complexe ». Pour de futures expériences, nous proposons d'employer une tâche d'empan complexe qui permettrait une alternance fréquente entre les buts à suivre. A cela, il faudra tenir compte de l'interférence que provoque l'utilisation d'un matériel verbal à mémoriser avec le maintien du but, lui aussi sous modalité verbale. L'utilisation d'une tâche visio-spatiale devrait résoudre cette problématique car le maintien à court terme d'informations verbales (ici le but) et d'informations visio-spatiales (les items) se fait de façon indépendante (voir Logie, 2014, pour une revue). Enfin, comme discuté dans le point antérieur, la conservation de l'indiciage durant un temps important pendant la

réalisation de la tâche de mémoire de travail est un facteur pouvant être crucial dans l'aide au maintien du but.

Dans cette optique, nous menons actuellement une nouvelle expérience. Compte tenu des éléments précédemment abordés, une tâche d'empan complexe visio-spatiale est présentée à des enfants de 3 à 5 ans. Elle est inspirée de la tâche de mémoire spatiale de Morey et collaborateurs (2018). Un dessin d'ourson apparaît successivement à l'écran à des emplacements différents représentés par des maisons. Les enfants ont à mémoriser le parcours de l'ourson et doivent également juger si l'ourson apparaît debout ou la tête en bas. Après le jugement de l'orientation, il est proposé aux enfants soit un écran poursuivant l'affichage en continu des maisons ayant servies de localisation à l'ourson, soit les maisons ne sont plus affichées. Avant de procéder au rappel sériel, cette procédure est répétée le même nombre de fois qu'une longueur comportera de localisations différentes. Lors du rappel, les enfants touchent dans l'ordre chaque maison où l'ourson est passé. Les maisons, en restant affichées durant 2 000 ms entre chaque localisation de l'ourson, pourraient constituer un indigage visuel rappelant le but de la tâche ; mais aussi, elles pourraient être utilisées par les enfants comme un élément permettant une répétition visuelle du parcours de l'ourson. La répétition visuelle ne serait pas employée de façon spontanée par les enfants avant l'âge de 5 ans (Hayes & Schulze, 1977; Morey, Mareva, Lelonkiewicz, & Chevalier, 2017). Ainsi, quelle que soit leur fonction, aide au maintien du but ou aide à la répétition visuelle, nous nous attendons à observer un effet bénéfique de la présentation des maisons sur les performances en mémoire de travail des enfants d'âge préscolaire, ceci comparé à une condition où de tels éléments ne seraient plus affichés à l'écran.



# CONCLUSION

---

Le rôle de la gestion des buts, notamment celui du maintien du but, est étudié depuis plus de deux décennies dans le domaine du contrôle exécutif. Avec ce travail de thèse, nous ouvrons un nouveau champ d'étude de la gestion des buts en proposant l'idée que la capacité à maintenir le but pourrait être un élément clef quant à l'apparition et l'utilisation des mécanismes de maintien de l'information durant l'enfance. Suite à la réalisation de neuf expériences où plus de huit cents enfants furent testés, la question du rôle du maintien du but dans le développement de la mémoire de travail verbale des enfants de 4 à 9 ans demeure. Le but serait-il maintenu sans difficulté dès l'âge préscolaire ? Les mécanismes de maintien de l'information peuvent-ils être utilisés avant un âge charnière dans le développement de l'enfant ?

A la première interrogation, nous pouvons répondre que cela pourrait dépendre du type de paradigme utilisé lors d'une tâche de mémoire de travail, où un paradigme de type Brown-Peterson favoriserait le maintien du but alors qu'une tâche d'empan complexe pourrait induire une négligence du but. A la seconde question, nous espérons pouvoir apporter des éléments de réponse grâce à la manipulation conjointe de l'aide au maintien du but et de l'aide à l'utilisation d'un mécanisme de répétition visuelle dans notre nouvelle expérience. L'exploration du rôle de la gestion des buts dans le développement de la mémoire de travail n'en est qu'à ses balbutiements. Si la mémoire de travail est une entité faisant partie du contrôle exécutif ou impliquant la mise en œuvre d'une part exécutive dans le déroulement de ses processus, il ne fait aucun doute quant à l'importance de bénéficier d'une gestion efficace des buts dans son fonctionnement

# Références

- Adam, J. J., Teeken, J. C., Ypelaar, P. J. C., Verstappen, F. T. J., & Paas, F. G. W. (1997). Exercise-induced arousal and information processing. *International Journal of Sport Psychology*.
- Adams, J. W., & Hitch, G. J. (1997). Working Memory and Children's Mental Addition. *Journal of Experimental Child Psychology*, 67(1), 21–38. <https://doi.org/10.1006/jecp.1997.2397>
- Allik, J. P., & Siegel, A. W. (1976). The use of the cumulative rehearsal strategy: A developmental study. *Journal of Experimental Child Psychology*, 21(2), 316–327.
- Alloway, T. P. (2009). Working memory, but not IQ, predicts subsequent learning in children with learning difficulties. *European Journal of Psychological Assessment*, 25(2), 92–98. <https://doi.org/10.1027/1015-5759.25.2.92>
- Alloway, T. P., & Alloway, R. G. (2010). Investigating the predictive roles of working memory and IQ in academic attainment. *Journal of Experimental Child Psychology*, 106(1), 20–29. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2009.11.003>
- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., Kirkwood, H. J., & Elliott, J. G. (2009). The cognitive and behavioral characteristics of children with low working memory. *Child Development*, 80(2), 606–621. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2009.01282.x>
- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., Willis, C., & Adams, A.-M. (2004). A structural analysis of working memory and related cognitive skills in young children. *Journal of Experimental Child Psychology*. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2003.10.002>
- Altmann, E. M., & Trafton, J. G. (2002). Memory for Goals: An Activation-Based Model. *Cognitive Science*, 26(1), 39–83. [https://doi.org/10.1016/S0364-0213\(01\)00058-1](https://doi.org/10.1016/S0364-0213(01)00058-1)
- Anderson, J. (1996). A simple theory of complex cognition. *American Psychologist*, 51(4), 355–365. <https://doi.org/10.1037//0003-066X.51.4.355>
- Anderson, J. R. (1983). Cognitive science series. The architecture of cognition. Hillsdale, NJ, US. Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Anderson, J. R. (1993). Rules of the Mind (Hillside NJ. Lawrence Erlbaum Associates.
- Anderson, J. R., Bothell, D., Byrne, M. D., Douglass, S., Lebiere, C., & Qin, Y. (2004). An Integrated Theory of the Mind. *Psychological Review*, 111(4), 1036–1060. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.111.4.1036>
- Anderson, J. R., & Lebiere, C. J. (2014). *The atomic components of thought*. Psychology Press.

- Anderson, V., Levin, H. S., & Jacobs, R. (2002). Executive functions after frontal lobe injury: A developmental perspective.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human Memory: A Proposed System and its Control Processes. *Psychology of Learning and Motivation - Advances in Research and Theory*, 2(C), 89–195. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60422-3](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60422-3)
- Baddeley, A. D. (1966). Short-term memory for word sequences as a function of acoustic, semantic and formal similarity. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 18(4), 362–365.
- Baddeley, A. D. (1986). Oxford psychology series, No. 11. Working memory. New York: Clarendon Press/Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01538-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01538-2)
- Baddeley, A. D. (2002). Is working memory still working? *European Psychologist*, 7(2), 85–97. <https://doi.org/10.1027//1016-9040.7.2.85>
- Baddeley, A. D. (2012). Working Memory: Theories, Models, and Controversies. *Annual Review of Psychology*, 63, 1–29. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100422>
- Baddeley, A. D., Chincotta, D., & Adlam, A. (2001). Working memory and the control of action: evidence from task switching. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(4), 641.
- Baddeley, A. D., Gathercole, S. E., & Papagno, C. (1998). The phonological loop as a language learning device. *Psychological Review*, 105(1), 158–173. Retrieved from <http://doi.apa.org/journals/rev/105/1/158.html>
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In *Recent advances in learning and motivation* (Vol. 8, pp. 47–87). <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.12.014>
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1977). Recency re-examined. *Attention and Performance VI*, 647–667.
- Baddeley, A. D., Lewis, V., & Vallar, G. (1984). Exploring the articulatory loop. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 36A(2), 233–252. <https://doi.org/10.1080/14640748408402157>
- Baddeley, A. D., & Logie, R. H. (1999). Working Memory: The Multiple-Component Model. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of Working Memory* (pp. 28–61). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139174909.005>
- Baddeley, A. D., Thomson, N., & Buchanan, M. (1975). Word length and the structure of short

- term memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 15(6), 575–589.
- Bailey, C. E. (2007). Cognitive accuracy and intelligent executive function in the brain and in business. *Annals of the New York Academy of Sciences*.  
<https://doi.org/10.1196/annals.1412.011>
- Baker-Ward, L., Ornstein, P. A., & Holden, D. J. (1984). The expression of memorization in early childhood. *Journal of Experimental Child Psychology*, 37(3), 555–575.
- Baler, R. D., & Volkow, N. D. (2006). Drug addiction: the neurobiology of disrupted self-control. *Trends in Molecular Medicine*, 12(12), 559–566.  
<https://doi.org/10.1016/j.molmed.2006.10.005>
- Barch, D. M. (2005). The Cognitive Neuroscience of Schizophrenia. *Annual Review of Clinical Psychology*, 1, 321–353. <https://doi.org/10.1146/annurev.clinpsy.1.102803.143959>
- Barch, D. M., Carter, C. S., Arnsten, A., Buchanan, R. W., Cohen, J. D., Geyer, M., ... Heinsen, R. (2009). Selecting paradigms from cognitive neuroscience for translation into use in clinical trials: Proceedings of the Third CNTRICS meeting. *Schizophrenia Bulletin*.  
<https://doi.org/10.1093/schbul/sbn163>
- Barker, J. E., & Munakata, Y. (2015). Time isn't of the essence: Activating goals rather than imposing delays improves inhibitory control in children. *Psychological Science*, 26(12), 1898–1908. <https://doi.org/10.1177/0956797615604625>
- Barkley, R. A. (2012). *Executive functions: What they are, how they work, and why they evolved*. Guilford Press.
- Barrouillet, P., Bernardin, S., & Camos, V. (2004). Time Constraints and Resource Sharing in Adults' Working Memory Spans. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133(1), 83–100. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.133.1.83>
- Barrouillet, P., Bernardin, S., Portrat, S., Vergauwe, E., & Camos, V. (2007). Time and Cognitive Load in Working Memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 33(3), 570–585. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.33.3.570>
- Barrouillet, P., & Camos, V. (2007). Le développement de la mémoire de travail. In J. Lautrey (Ed.), *Psychologie du développement et de l'éducation* (pp. 51–86). PUF.
- Barrouillet, P., & Camos, V. (2012). As Time Goes By: Temporal Constraints in Working Memory. *Current Directions in Psychological Science*, 21(6), 413–419.  
<https://doi.org/10.1177/0963721412459513>
- Barrouillet, P., & Camos, V. (2015). *Working Memory: Loss and Reconstruction*. Psychology

Press.

- Barrouillet, P., Camos, V., Morlaix, S., & Suchaut, B. (2008). Progressions scolaires, mémoire de travail et origine sociale : quels liens à l'école élémentaire ? *Revue Française de Pédagogie*, (162), 5–14. Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/41202579>
- Barrouillet, P., Gavens, N., Vergauwe, E., Gaillard, V., & Camos, V. (2009). Working memory span development: a time-based resource-sharing model account. *Developmental Psychology*, 45(2), 477–490. <https://doi.org/10.1037/a0014615>
- Barrouillet, P., & Lépine, R. (2005). Working memory and children's use of retrieval to solve addition problems. *Journal of Experimental Child Psychology*, 91(3), 183–204.
- Bayliss, D. M., Jarrold, C., Baddeley, A. D., Gunn, D. M., & Leigh, E. (2005). Mapping the developmental constraints on working memory span performance. *Developmental Psychology*, 41(4), 579.
- Bertrand, R., & Camos, V. (2015). The role of attention in preschoolers' working memory. *Cognitive Development*, 33, 14–27. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2014.10.002>
- Best, J. R., Miller, P. H., & Jones, L. L. (2009). Executive functions after age 5: Changes and correlates. *Developmental Review*. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2009.05.002>
- Betts, J., McKay, J., Maruff, P., & Anderson, V. (2006). The development of sustained attention in children: The effect of age and task load. *Child Neuropsychology*, 12(3), 205–221. <https://doi.org/10.1080/09297040500488522>
- Blackwell, K. A., & Munakata, Y. (2014). Costs and benefits linked to developments in cognitive control. *Developmental Science*, 17(2), 203–211.
- Blair, C., & Razza, R. P. (2007). Relating Effortful Control, Executive Function, and False Belief Understanding to Emerging Math and Literacy Ability in Kindergarten. *Child Development*, 78(2), 647–663. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2007.01019.x>
- Blaye, A., & Chevalier, N. (2011). The role of goal representation in preschoolers' flexibility and inhibition. *Journal of Experimental Child Psychology*, 108(3), 469–483. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2010.09.006>
- Borella, E., Carretti, B., & Pelegrina, S. (2010). The Specific Role of Inhibition in Reading Comprehension in Good and Poor Comprehenders. *Journal of Learning Disabilities*, 43(6), 541–552. <https://doi.org/10.1177/0022219410371676>
- Boudreau, J. P., & Bushnell, E. W. (2000). Spilling thoughts: configuring attentional resources in infants' goal-directed actions. *Infant Behavior and Development*, 23(3–4), 543–566.

- Brainerd, C. J., & Reyna, V. F. (2002). Fuzzy-trace theory and false memory. *Current Directions in Psychological Science*, 11(5), 164–169.
- Brainerd, C. J., & Reyna, V. F. (2005). *The science of false memory*. Oxford University Press.
- Braver, T. S. (2001). The role of the prefrontal cortex in cognitive control: A cognitive neuroscience perspective. In *Brain and Cognition* (Vol. 47, pp. 6–7).
- Braver, T. S. (2012). The variable nature of cognitive control: a dual mechanisms framework. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(2), 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.12.010>
- Braver, T. S., Gray, J. R., & Burgess, G. C. (2007). Explaining the many varieties of working memory variation: Dual mechanisms of cognitive control. *Variation in Working Memory*, 76–106.
- Broidy, L. M., Tremblay, R. E., Brame, B., Fergusson, D. M., Horwood, J. L., Laird, R. D., ... Vitaro, F. (2003). Developmental trajectories of childhood disruptive behaviors and adolescent delinquency: A six-site, cross-national study. *Developmental Psychology*, 39(2), 222–245. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.39.2.222>
- Brown, A. L. (1975). Recognition, Reconstruction, and Recall of Narrative Sequences by Preoperational Children. *Child Development*, 46(1), 156–166. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.1975.tb03286.x>
- Brown, J. (1958). Some tests of the decay theory of immediate memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 10(1), 12–21. <https://doi.org/10.1080/17470215808416249>
- Brown, T. E., & Landgraf, J. M. (2010). Improvements in executive function correlate with enhanced performance and functioning and health-related quality of life: evidence from 2 large, double-blind, randomized, placebo-controlled trials in ADHD. *Postgraduate Medicine*, 122(5), 42–51.
- Bull, R., Johnston, R. S., & Roy, J. A. (1999). Exploring the roles of the visual-spatial sketch pad and central executive in children's arithmetical skills: Views from cognition and developmental neuropsychology. *Developmental Neuropsychology*, 15(3), 421–442. <https://doi.org/10.1080/87565649909540759>
- Bull, R., & Scerif, G. (2001). Executive Functioning as a Predictor of Children's Mathematics Ability: Inhibition, Switching, and Working Memory. *Developmental Neuropsychology*, 19(3), 273–293.
- Burgess, P. W., & Simons, J. S. (2005). 18 Theories of frontal lobe executive function: clinical applications. *The Effectiveness of Rehabilitation for Cognitive Deficits*, 211.

- Cain, K. (2006). Children's reading comprehension: The role of working memory in normal and impaired development. *Working Memory and Education, 3*, 61–91.
- Cain, K., Oakhill, J., & Bryant, P. (2004). Children's Reading Comprehension Ability: Concurrent Prediction by Working Memory, Verbal Ability, and Component Skills. *Journal of Educational Psychology*. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.96.1.31>
- Camos, V. (2008). Low working memory capacity impedes both efficiency and learning of number transcoding in children. *Journal of Experimental Child Psychology, 99*(1), 37–57.
- Camos, V., & Barrouillet, P. (2011). Developmental change in working memory strategies: from passive maintenance to active refreshing. *Developmental Psychology, 47*(3), 898–904. <https://doi.org/10.1037/a0023193>
- Camos, V., & Barrouillet, P. (2018). *Working Memory in Development*. Routledge.
- Camos, V., Mora, G., & Oberauer, K. (2011). Adaptive choice between articulatory rehearsal and attentional refreshing in verbal working memory. *Memory and Cognition, 39*(2), 231–244. <https://doi.org/10.3758/s13421-010-0011-x>
- Cannard, C., Bonthoux, F., Blaye, A., Scheuner, N., Schreiber, A.-C., & Trinquart, J. (2006). BD2I : Normes sur l'identification de 274 images d'objets et leur mise en relation chez l'enfant français de 3 à 8 ans. *L'Année Psychologique, 106*, 375–396. <https://doi.org/10.4074/S0003503306003034>
- Carlson, S. M. (2005). Developmentally sensitive measures of executive function in preschool children. *Developmental Neuropsychology, 28*(2), 595–616.
- Carlton, M. M. P., & Winsler, A. (1998). Fostering intrinsic motivation in early childhood classrooms. *Early Childhood Education Journal, 25*(3), 159–166. <https://doi.org/10.1023/A:1025601110383>
- Carretti, B., Cornoldi, C., De Beni, R., & Romanò, M. (2005). Updating in working memory: A comparison of good and poor comprehenders. *Journal of Experimental Child Psychology, 91*(1), 45–66. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2005.01.005>
- Case, R. (1985). *Intellectual development: Birth to adulthood*. Orlando: Academic Pr.
- Case, R., Kurland, D. M., & Goldberg, J. (1982). Operational efficiency and the growth of short-term memory span. *Journal of Experimental Child Psychology, 33*(3), 386–404.
- Cepeda, N. J., Kramer, A. F., & Gonzalez de Sather, J. C. (2001). Changes in executive control across the life span: examination of task-switching performance. *Developmental Psychology, 37*(5), 715–730. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.37.5.715>

- Chatham, C. H., Frank, M. J., & Munakata, Y. (2009). Pupillometric and behavioral markers of a developmental shift in the temporal dynamics of cognitive control. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *106*(14), 5529–5533. <https://doi.org/10.1073/pnas.0810002106>
- Chatham, C. H., Yerys, B. E., & Munakata, Y. (2012). Why won't you do what I want? The informative failures of children and models. *Cognitive Development*, *27*(4), 349–366.
- Chen, Z., & Cowan, N. (2009). Core verbal working-memory capacity: The limit in words retained without covert articulation. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *62*(7), 1420–1429. <https://doi.org/10.1080/17470210802453977>
- Cherng, R. J., Liang, L. Y., Chen, Y. J., & Chen, J. Y. (2009). The effects of a motor and a cognitive concurrent task on walking in children with developmental coordination disorder. *Gait and Posture*, *29*(2), 204–207. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.08.003>
- Cherng, R. J., Liang, L. Y., Hwang, I. S., & Chen, J. Y. (2007). The effect of a concurrent task on the walking performance of preschool children. *Gait and Posture*, *26*(2), 231–237. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2006.09.004>
- Chevalier, N. (2010). Les fonctions exécutives chez l'enfant: Concepts et développement. *Canadian Psychology/Psychologie Canadienne*, *51*(3), 149–163. <https://doi.org/10.1037/a0020031>
- Chevalier, N. (2015). Executive Function Development: Making Sense of the Environment to Behave Adaptively. *Current Directions in Psychological Science*, *24*(5), 363–368. <https://doi.org/10.1177/0963721415593724>
- Chevalier, N., & Blaye, A. (2008). Cognitive flexibility in preschoolers: The role of representation activation and maintenance: Paper. *Developmental Science*, *11*(3), 339–353. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2008.00679.x>
- Chevalier, N., & Blaye, A. (2009). Setting goals to switch between tasks: effect of cue transparency on children's cognitive flexibility. *Developmental Psychology*, *45*(3), 782–797. <https://doi.org/10.1037/a0015409>
- Chevalier, N., & Blaye, A. (2016). Metacognitive Monitoring of Executive Control Engagement During Childhood. *Child Development*, *87*(4), 1264–1276. <https://doi.org/10.1111/cdev.12537>
- Chevalier, N., Blaye, A., & Maintenant, C. (2014). La représentation du but dans le contrôle exécutif chez l'enfant. *Psychologie Française*, *59*(1), 5–20.



- <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2013.09.002>
- Chevalier, N., Dauvier, B., & Blaye, A. (2009). Preschoolers' use of feedback for flexible behavior: Insights from a computational model. *Journal of Experimental Child Psychology*, *103*(3), 251–267. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2009.03.002>
- Chevalier, N., Dauvier, B., & Blaye, A. (2018). From prioritizing objects to prioritizing cues: A developmental shift for cognitive control. *Developmental Science*, *21*(2), 1–8. <https://doi.org/10.1111/desc.12534>
- Chevalier, N., Martis, S. B., Curran, T., & Munakata, Y. (2015). Metacognitive Processes in Executive Control Development: The Case of Reactive and Proactive Control. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *27*(6), 1125–1136. [https://doi.org/10.1162/jocn\\_a\\_00782](https://doi.org/10.1162/jocn_a_00782)
- Chevalier, N., Wiebe, S. A., Huber, K. L., & Espy, K. A. (2011). Switch detection in preschoolers' cognitive flexibility. *Journal of Experimental Child Psychology*, *109*(3), 353–370. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2011.01.006>
- Chow, T. W., & Cummings, J. L. (1999). Frontal-subcortical circuits. *The Human Frontal Lobes: Functions and Disorders*, 3–26.
- Cianchetti, C., Corona, S., Foscoliano, M., Contu, D., & Sannio-Fancello, G. (2007). Modified Wisconsin Card Sorting Test (MCST, MWCST): Normative data in children 4–13 years old, according to classical and new types of scoring. *The Clinical Neuropsychologist*, *21*(3), 456–478.
- Cole, M. W., & Schneider, W. (2007). The cognitive control network: Integrated cortical regions with dissociable functions. *NeuroImage*, *37*(1), 343–360. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.03.071>
- Conrad, R. (1964). Acoustic confusions in immediate memory. *British Journal of Psychology*, *55*(1), 75–84.
- Conway, A. R. A., Cowan, N., & Bunting, M. F. (2001). The cocktail party phenomenon revisited: The importance of working memory capacity. *Psychonomic Bulletin and Review*, *8*(2), 331–335. <https://doi.org/10.3758/BF03196169>
- Cook, S. W., & Goldin-Meadow, S. (2006). The Role of Gesture in Learning: Do Children Use Their Hands to Change Their Minds? *Journal of Cognition and Development*, *7*(2), 211–232. [https://doi.org/10.1207/s15327647jcd0702\\_4](https://doi.org/10.1207/s15327647jcd0702_4)
- Cook, S. W., Yip, T. K., & Goldin-Meadow, S. (2012). Gestures, but not meaningless movements, lighten working memory load when explaining math. *Language and*

- Cognitive Processes*. <https://doi.org/10.1080/01690965.2011.567074>
- Cooley, E. L., & Morris, R. D. (1990). Attention in children: A neuropsychologically based model for assessment.
- Cooper, R. P., & Shallice, T. (2006). Hierarchical schemas and goals in the control of sequential behavior.
- Cowan, N. (1992). Verbal memory span and the timing of spoken recall. *Journal of Memory and Language*, *31*(5), 668–684. [https://doi.org/10.1016/0749-596X\(92\)90034-U](https://doi.org/10.1016/0749-596X(92)90034-U)
- Cowan, N. (1995). Attention and memory: An integrated framework New York: Oxford University Press. *Google Scholar*.
- Cowan, N. (1999). An embedded-processes model of working memory. *Models of Working Memory: Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control*, *20*, 506.
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, *24*(1), 87–114. <https://doi.org/10.1017/S0140525X01003922>
- Cowan, N. (2014). Working Memory Underpins Cognitive Development, Learning, and Education. *Educational Psychology Review*. <https://doi.org/10.1007/s10648-013-9246-y>
- Cowan, N. (2016). The Many Faces of Working Memory and Short-term Storage. *Psychonomic Bulletin & Review*.
- Cowan, N., Nugent, L. D., Elliott, E. M., & Saults, J. S. (2000). Persistence of Memory for Ignored Lists of Digits: Areas of Developmental Constancy and Change. *Journal of Experimental Child Psychology*, *76*(2), 151–172. <https://doi.org/10.1006/jecp.1999.2546>
- Cowan, N., Rouder, J. N., Blume, C. L., & Scott Saults, J. (2012). Models of verbal working memory capacity: What does it take to make them work? *Psychological Review*, *119*(3), 480–499. <https://doi.org/10.1037/a0027791>
- Cowan, N., Saults, J. S., & Elliott, E. M. (2002). The search for what is fundamental in the development of working memory. In *Advances in child development and behavior* (Vol. 29, pp. 1–49). Elsevier.
- Cowan, N., Wood, N. L., Wood, P. K., Keller, T. A., Nugent, L. D., & Keller, C. V. (1998). Two separate verbal processing rates contributing to short-term memory span. *Journal of Experimental Psychology: General*, *127*(2), 141–160.
- Cragg, L., & Nation, K. (2007). Self-ordered pointing as a test of working memory in typically developing children Self-ordered pointing as a test of working memory in typically

- developing children. *Memory*, 15(5), 526–535.  
<https://doi.org/10.1080/09658210701390750>
- Craik, F. I. M., & Levy, B. A. (1970). Semantic and acoustic information in primary memory. *Journal of Experimental Psychology*, 86(1), 77.
- Crescioni, W. A., Ehrlinger, J., Alquist, J. L., Conlon, K. E., Baumeister, R. F., Schatschneider, C., & Dutton, G. R. (2011). High trait self-control predicts positive health behaviors and success in weight loss. *Journal of Health Psychology*, 16(5), 750–759.  
<https://doi.org/10.1177/1359105310390247>
- Crone, E. A., Richard Ridderinkhof, K., Worm, M., Somsen, R. J. M., & Van Der Molen, M. W. (2004). Switching between spatial stimulus–response mappings: a developmental study of cognitive flexibility. *Developmental Science*, 7(4), 443–455.
- Cunningham, W. A., Zelazo, P. D., Packer, D. J., & Van Bavel, J. J. (2007). The iterative reprocessing model: A multilevel framework for attitudes and evaluation. *Social Cognition*, 25(5), 736–760.
- Damasio, H. (1995). *Human brain anatomy in computerized images*. Oxford university press.
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19(4), 450–466.
- Dauvier, B., Chevalier, N., & Blaye, A. (2012). Using finite mixture of GLMs to explore variability in children’s flexibility in a task-switching paradigm. *Cognitive Development*, 27(4), 440–454. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2012.07.004>
- Davidson, M. C., Amso, D., Anderson, L. C., & Diamond, A. (2006). Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia*, 44(11), 2037–2078.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.02.006>
- Davis, J. C., Marra, C. A., Najafzadeh, M., & Liu-Ambrose, T. (2010). The independent contribution of executive functions to health related quality of life in older women. *BMC Geriatrics*, 10. <https://doi.org/10.1186/1471-2318-10-16>
- De Jong, R., Berendsen, E., & Cools, R. (1999). Goal neglect and inhibitory limitations: dissociable causes of interference effects in conflict situations. *Acta Psychologica*, 101(2–3), 379–394. [https://doi.org/10.1016/S0001-6918\(99\)00012-8](https://doi.org/10.1016/S0001-6918(99)00012-8)
- De Smedt, B., Janssen, R., Bouwens, K., Verschaffel, L., Boets, B., & Ghesquière, P. (2009). Working memory and individual differences in mathematics achievement: A longitudinal

- study from first grade to second grade. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103(2), 186–201. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2009.01.004>
- Dempster, F. N., Case, R., Jensen, A. R., Kirschner, F. E., & Rohwer, W. D. (1981). Memory span: Sources of individual and developmental differences. *Psychological Bulletin*, 89(1), 63.
- Denson, T. F., Pedersen, W. C., Friese, M., Hahm, A., & Roberts, L. (2011). Understanding impulsive aggression: Angry rumination and reduced self-control capacity are mechanisms underlying the provocation-aggression relationship. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 37(6), 850–862. <https://doi.org/10.1177/0146167211401420>
- Diamond, A. (1985). Development of the ability to use recall to guide action, as indicated by infants' performance on AB. *Child Development*, 56(4), 868–883. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.1985.tb00160.x>
- Diamond, A. (2001). A Model System for Studying the Role of Dopamine in the Prefrontal Cortex during Early Development in Humans: Early and Continuously Treated Phenylketonuria. In *Handbook of Developmental Cognitive Neuroscience* (pp. 433–472).
- Diamond, A. (2002). Normal Development of Prefrontal Cortex from Birth to Young Adulthood: Cognitive Functions, Anatomy, and Biochemistry. In *Principles of Frontal Lobe Function* (pp. 466–503). <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195134971.003.0029>
- Diamond, A. (2005). Attention-deficit disorder (attention-deficit/hyperactivity disorder without hyperactivity): A neurobiologic ally and behaviorally distinct disorder from attention-deficit/hyperactivity disorder (with hyperactivity). *Development and Psychopathology*, 17(3), 807–825. <https://doi.org/10.1017/s0954579405050388>
- Diamond, A. (2006). The early development of executive functions. *Lifespan Cognition: Mechanisms of Change*, 210, 70–95.
- Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annu. Rev. Psychol*, 64, 135–68. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Diamond, A. (2014). Want to Optimize Executive Functions and Academic Outcomes?: Simple, Just Nourish the Human Spirit. *Progress in Brain Research*.
- Duncan, G. J., Dowsett, C. J., Claessens, A., Magnuson, K., Huston, A. C., Klebanov, P., ... Zill, N. (2007). School Readiness and Later Achievement. *Developmental Psychology*, 43(6), 1428.
- Duncan, J. (1986). Disorganisation of behaviour after frontal lobe damage. *Cognitive Neuropsychology*, 3(3), 271–290.

- Duncan, J., Emslie, H., Williams, P., Johnson, R., & Freer, C. (1996). Intelligence and the frontal lobe: the organization of goal-directed behavior. *Cognitive Psychology, 30*(3), 257–303. <https://doi.org/10.1006/cogp.1996.0008>
- Eakin, L., Minde, K., Hechtman, L., Ochs, E., Krane, E., Bouffard, R., ... Looper, K. (2004). The marital and family functioning of adults with ADHD and their spouses. *Journal of Attention Disorders, 8*(1), 1–10.
- Ebbinghaus, H. (1913). *Memory: A Contribution to Experimental Psychology*. New York: Columbia University, Teachers College. <https://doi.org/10.5214/ans.0972.7531.200408>
- Einstein, G. O., & McDaniel, M. A. (1990). Normal aging and prospective memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 16*(4), 717.
- Einstein, G. O., & McDaniel, M. A. (2005). Prospective memory: Multiple retrieval processes. *Current Directions in Psychological Science, 14*(6), 286–290.
- Elisa, R. N., Balaguer-Ballester, E., & Parris, B. A. (2016). Inattention, Working Memory, and Goal Neglect in a Community Sample. *Frontiers in Psychology, 7*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01428>
- Emerson, M. J., & Miyake, A. (2003). The role of inner speech in task switching: A dual task investigation. *Journal of Memory and Language, 48*(1), 148–168. [https://doi.org/10.1016/S0749-596X\(02\)00511-9](https://doi.org/10.1016/S0749-596X(02)00511-9)
- Engle, R. W., Laughlin, J. E., Tuholski, S. W., & Conway, A. R. A. (1999). Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: A latent-variable approach. *Journal of Experimental Psychology: General, 128*(3), 309–331. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.128.3.309>
- Ernst, G. W., & Newell, A. (1969). *GPS: A case study in generality and problem solving*. Academic Pr.
- Espy, K. A., Kaufmann, P. M., McDiarmid, M. D., & Glisky, M. L. (1999). Executive functioning in preschool children: Performance on A-Not-B and other delayed response format tasks. *Brain and Cognition, 41*, 178–199. Retrieved from <https://digitalcommons.unl.edu/dcnlfacpub/22>
- Eysenck, M. W. (1982). Theories of Arousal and Performance. In *Attention and Arousal* (pp. 47–66). Springer.
- Fallon, A. B., Mak, E., Tehan, G., & Daly, C. (2005). Lexicality and phonological similarity: A challenge for the retrieval-based account of serial recall? *Memory, 13*(3), 349–356.

- <https://doi.org/10.1080/09658210344000215>
- Fitamen, C., Blaye, A., & Camos, V. (2018). *The Role of Goal Cueing in Kindergarteners' Working Memory*. Manuscript submitted for publication.
- Flavell, J. H., Beach, D. H., & Chinsky, J. M. (1966). Spontaneous verbal rehearsal in a memory task as a function of age. *Child Development, 37*(2), 283–299.  
<https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2007.01019.x>
- Floden, D., Stuss, D. T., & Craik, F. I. M. (2000). Age differences in performance on two versions of the Brown-Peterson task. *Aging Neuropsychology & Cognition, 7*(4), 245–259.  
<https://doi.org/10.1076/anec.7.4.245.795>
- Fuster, J. M. (1997). *The Prefrontal Cortex Anatomy, Physiology and Neuropsychology of the Frontal Lobe*. Lippincott-Raven. Retrieved from  
<https://www.researchgate.net/publication/274384343>
- Fuster, J. M., & Bressler, S. L. (2012). Cognit activation: A mechanism enabling temporal integration in working memory. *Trends in Cognitive Sciences*.  
<https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.03.005>
- Garon, N., Bryson, S. E., & Smith, I. M. (2008). Executive Function in Preschoolers: A Review Using an Integrative Framework. *Psychological Bulletin, 134*(1), 31–60.  
<https://doi.org/10.1037/0033-2909.134.1.31>
- Gathercole, S. E., & Adams, A.-M. (1993). Phonological working memory in very young children. *Developmental Psychology, 29*, 770.
- Gathercole, S. E., & Adams, A.-M. (1994). Children' s phonological working memory: Contributions of long-term knowledge and rehearsal. *Journal of Memory and Language, 33*(5), 672–688.
- Gathercole, S. E., Adams, A.-M., & Hitch, G. J. (1994). Do young children rehearse? An individual-differences analysis. *Memory & Cognition, 22*(2), 201–207.  
<https://doi.org/10.3758/BF03208891>
- Gathercole, S. E., & Alloway, T. P. (2004). Working memory and classroom learning. *Dyslexia Review, 17*, 1–41.
- Gathercole, S. E., & Alloway, T. P. (2008). *Working memory and learning: A practical guide for teachers*. Sage.
- Gathercole, S. E., & Baddeley, A. D. (1993). Phonological working memory: A critical building block for reading development and vocabulary acquisition? *European Journal of*

- Psychology of Education*, 8(3), 259–272. <https://doi.org/10.1007/BF03174081>
- Gathercole, S. E., Lamont, E., & Alloway, T. P. (2006). Working Memory in the Classroom. In *Working Memory and Education* (pp. 219–240). <https://doi.org/10.1016/B978-012554465-8/50010-7>
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B., & Wearing, H. (2004). The Structure of Working Memory From 4 to 15 Years of Age. *Developmental Psychology*, 40(2), 177–190. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.40.2.177>
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Knight, C., & Stegmann, Z. (2004). Working memory skills and educational attainment: Evidence from national curriculum assessments at 7 and 14 years of age. *Applied Cognitive Psychology*, 18(1), 1–16. <https://doi.org/10.1002/acp.934>
- Gathercole, S. E., Woolgar, F., Kievit, R. A., Astle, D., Manly, T., & Holmes, J. (2016). How Common are WM Deficits in Children with Difficulties in Reading and Mathematics? *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 5(4), 384–394. <https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2016.07.013>
- Gavens, N., & Barrouillet, P. (2004). Delays of retention, processing efficiency, and attentional resources in working memory span development. *Journal of Memory and Language*, 51(4), 644–657. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2004.06.009>
- Geary, D. C. (1995). Reflections of evolution and culture in children's cognition: Implications for mathematical development and instruction. *American Psychologist*, 50(1), 24.
- Geary, D. C., Hoard, M. K., Byrd-Craven, J., & Catherine DeSoto, M. (2004). Strategy choices in simple and complex addition: Contributions of working memory and counting knowledge for children with mathematical disability. *Journal of Experimental Child Psychology*, 88(2), 121–151. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2004.03.002>
- Gerstadt, C. L., Hong, Y. J., & Diamond, A. (1994). The relationship between cognition and action: performance of children 3 1/2-7 years old on a Stroop-like day-night test. *Cognition*, 53(2), 129–153. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(94\)90068-X](https://doi.org/10.1016/0010-0277(94)90068-X)
- Gioia, G. A., Isquith, P. K., & Guy, S. C. (2001). Assessment of executive functions in children with neurological impairment. In *Psychological and developmental assessment: Children with disabilities and chronic conditions*. (pp. 317–356). New York, NY, US: Guilford Press.
- Glanzer, M., Koppenaal, L., & Nelson, R. (1972). Effects of relations between words on short-term storage and long-term storage. *Journal of Memory and Language*, 11(4), 403.
- Goldin-Meadow, S. (2011). What modern-day gesture can tell us about language evolution. In

*The Oxford handbook of language evolution.*

- Goldin-Meadow, S., Nusbaum, H., Kelly, S. D., & Wagner, S. (2001). Explaining Math: Gesturing Lightens the Load. *Psychological Science, 12*(6), 516–522. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00395>
- Gonthier, C., Zira, M., Colé, P., & Blaye, A. (2019). Evidencing the developmental shift from reactive to proactive control in early childhood and its relationship to working memory. *Journal of Experimental Child Psychology, 177*, 1–16.
- Grant, D. A., & Berg, E. (1948). A behavioral analysis of degree of reinforcement and ease of shifting to new responses in a Weigl-type card-sorting problem. *Journal of Experimental Psychology, 38*(4), 404.
- Gruber, O., & Goschke, T. (2004). Executive control emerging from dynamic interactions between brain systems mediating language, working memory and attentional processes. *Acta Psychologica, 115*(2–3), 105–121. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2003.12.003>
- Guajardo, N. R., & Best, D. L. (2000). Do preschoolers remember what to do? Incentive and external cues in prospective memory. *Cognitive Development, 15*(1), 75–97. [https://doi.org/10.1016/S0885-2014\(00\)00016-2](https://doi.org/10.1016/S0885-2014(00)00016-2)
- Guttentag, R. E. (1984). The mental effort requirement of cumulative rehearsal: A developmental study. *Journal of Experimental Child Psychology, 37*(1), 92–106.
- Guttentag, R. E. (1989). Age differences in dual-task performance: Procedures, assumptions, and results. *Developmental Review, 9*(2), 146–170.
- Haberlandt, K. (1997). *Cognitive psychology*. Allyn & Bacon.
- Hala, S., & Russell, J. (2001). Executive control within strategic deception: A window on early cognitive development? *Journal of Experimental Child Psychology, 80*(2), 112–141.
- Halliday, M. S., Hitch, G. J., Lennon, B., & Pettipher, C. (1990). Verbal short-term memory in children: The role of the articulator loop. *European Journal of Cognitive Psychology, 2*(1), 23–38.
- Hayes, D. S., & Schulze, S. A. (1977). Visual encoding in preschoolers' serial retention. *Child Development, 1066–1070*.
- Hecht, S. A., Torgesen, J. K., Wagner, R. K., & Rashotte, C. A. (2001). The relations between phonological processing abilities and emerging individual differences in mathematical computation skills: A longitudinal study from second to fifth grades. *Journal of Experimental Child Psychology, 79*(2), 192–227. <https://doi.org/10.1006/jecp.2000.2586>



- Henry, L. A., Messer, D., Luger-Klein, S., & Crane, L. (2012). Phonological, visual, and semantic coding strategies and children's short-term picture memory span. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *65*(10), 2033–2053. <https://doi.org/10.1080/17470218.2012.672997>
- Hitch, G. J., & Halliday, M. S. (1983). Working Memory in Children. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, *302*(1110), 325–340. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/2395997>
- Hitch, G. J., Halliday, M. S., Schaafstal, A. M., & Heffernan, T. M. (1991). Speech, “inner speech,” and the development of short-term memory: Effects of picture-labeling on recall. *Journal of Experimental Child Psychology*, *51*(2), 220–234.
- Holmes, J., & Adams, J. W. (2006). Working Memory and Children's Mathematical Skills: Implications for mathematical development and mathematics curricula. *Educational Psychology*, *26*(3), 339–366. <https://doi.org/10.1080/01443410500341056>
- Hongwanishkul, D., Happaney, K. R., Lee, W. S. C., & Zelazo, P. D. (2005). Assessment of hot and cool executive function in young children: age-related changes and individual differences. *Developmental Neuropsychology*, *28*(2), 617–644. [https://doi.org/10.1207/s15326942dn2802\\_4](https://doi.org/10.1207/s15326942dn2802_4)
- Hughes, C. (1998). Executive function in preschoolers: Links with theory of mind and verbal ability. *British Journal of Developmental Psychology*, *16*(2), 233–253. <https://doi.org/10.1111/j.2044-835X.1998.tb00921.x>
- Hughes, C. (2011). Changes and challenges in 20 years of research into the development of executive functions. *Infant & Child Development*, *20*(3), 251–271 21p. <https://doi.org/10.1002/icd.736>
- Huizinga, M., Dolan, C. V., & van der Molen, M. W. (2006). Age-related change in executive function: Developmental trends and a latent variable analysis. *Neuropsychologia*, *44*(11), 2017–2036. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.01.010>
- Huizinga, M., & van der Molen, M. W. (2007). Age-group differences in set-switching and set-maintenance on the Wisconsin Card Sorting Task. *Developmental Neuropsychology*, *31*(2), 193–215.
- Hulme, C., Thomson, N., Muir, C., & Lawrence, A. (1984). Speech rate and the development of short-term memory span. *Journal of Experimental Child Psychology*, *38*(2), 241–253.
- Igualada, A., Esteve-Gibert, N., & Prieto, P. (2017). Beat gestures improve word recall in 3-to 5-year-old children. *Journal of Experimental Child Psychology*, *156*, 99–112.

- <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2016.11.017>
- Istomina, Z. M. (1975). The development of voluntary memory in preschool-age children. *Soviet Psychology*, 5751(August), 5–64. <https://doi.org/10.2753/RPO1061-040513045>
- Jacoby, L. L. (1991). A process dissociation framework: Separating automatic from intentional uses of memory. *Journal of Memory and Language*, 30(5), 513–541.
- Jacques, S., & Zelazo, P. D. (2005). Language and the development of cognitive flexibility: implications for theory of mind. In *Why Language Matters for Theory of Mind, Apr, 2002, University of Toronto, Toronto, ON, Canada; This chapter originated from the aforementioned conference*. Oxford University Press.
- Jarrold, C., & Citroën, R. (2013). Reevaluating key evidence for the development of rehearsal: phonological similarity effects in children are subject to proportional scaling artifacts. *Developmental Psychology*, 49(5), 837.
- Jarrold, C., Hewes, A. K., & Baddeley, A. D. (2000). Do two separate speech measures constrain verbal short-term memory in children? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 26(6), 1626.
- Jarrold, C., & Tam, H. (2011). Rehearsal and the development of working memory. *Cognitive Development and Working Memory: A Dialogue between Neo-Piagetian Theories and Cognitive Approaches*, 177–199.
- JASP, T. (2018). JASP (Version 0.8.6)[Computer software]. Retrieved from <https://jasp-stats.org/>
- Jeffreys, H. (1961). *Theory of probability* (3rd ed.). Oxford university press. Oxford.
- Johnson, M. K. (1992). MEM: Mechanisms of Recollection. *Journal of Cognitive Neuroscience*. <https://doi.org/10.1162/jocn.1992.4.3.268>
- Kahneman, D. (1975). Attention and Effort. *The American Journal of Psychology*, 88(2), 339. <https://doi.org/10.2307/1421603>
- Kail, R. (2002). Developmental change in proactive interference. *Child Development*, 73(6), 1703–1714. <https://doi.org/10.1111/1467-8624.00500>
- Kane, M. J., Bleckley, M. K., Conway, A. R. A., & Engle, R. W. (2001). A Contolled-Attention View of Working Memory Capacity. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(2), 169–183. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.130.2.169>
- Kane, M. J., Brown, L. H., McVay, J. C., Silvia, P. J., Myin-Germeys, I., & Kwapil, T. R. (2007). For whom the mind wanders, and when: An experience-sampling study of working memory

- and executive control in daily life. *Psychological Science*, 18(7), 614–621.
- Kane, M. J., & Engle, R. W. (2003). Working-memory capacity and the control of attention: The contributions of goal neglect, response competition, and task set to Stroop interference. *Journal of Experimental Psychology: General*, 132(1), 47–70. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Kaufman, A. S., & Kaufman, N. L. (1993). Batterie pour l'examen psychologique de l'enfant. ECPA.
- Kibbe, M. M., & Leslie, A. M. (2011). What do infants remember when they forget? location and identity in 6-month-olds' memory for objects. *Psychological Science*, 22(12), 1500–1505. <https://doi.org/10.1177/0956797611420165>
- Kibbe, M. M., & Leslie, A. M. (2013). What's the object of object working memory in infancy? Unraveling "what" and "how many." *Cognitive Psychology*, 66(4), 380–404. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2013.05.001>
- King, J., & Just, M. A. (1991). Individual differences in syntactic processing: The role of working memory. *Journal of Memory and Language*, 30, 580–602. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0749596X9190027H>
- Kirkham, N. Z., Cruess, L., & Diamond, A. (2003). Helping children apply their knowledge to their behavior on a dimensional-switching task. *Developmental Science*, 6, 449–476. <https://doi.org/10.1111/1467-7687.00300>
- Kliegel, M., & Jäger, T. (2007). The effects of age and cue-action reminders on event-based prospective memory performance in preschoolers. *Cognitive Development*, 22(1), 33–46. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2006.08.003>
- Kray, J., Eber, J., & Lindenberger, U. (2004). Age differences in executive functioning across the lifespan: The role of verbalization in task preparation. *Acta Psychologica*, 115(2–3), 143–165. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2003.12.001>
- Kwon, M. K., Luck, S. J., & Oakes, L. M. (2014). Visual Short-Term Memory for Complex Objects in 6- and 8-Month-Old Infants. *Child Development*, 85(2), 564–577. <https://doi.org/10.1111/cdev.12161>
- La Pointe, L. B., & Engle, R. W. (1990). Simple and complex word spans as measures of working memory capacity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16(6), 1118.
- Lajoie, Y., Teasdale, N., Bard, C., & Fleury, M. (1993). Attentional demands for static and

- dynamic equilibrium. *Experimental Brain Research*, 97(1), 139–144.  
<https://doi.org/10.1007/BF00228824>
- Lehto, J. (1996). Are executive function tests dependent on working memory capacity? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A*, 49(1), 29–50.
- Lehto, J. E., Juujärvi, P., Kooistra, L., & Pulkkinen, L. (2003). Dimensions of executive functioning: Evidence from children. *British Journal of Developmental Psychology*, 21, 59–80. <https://doi.org/10.1348/026151003321164627>
- Lépine, R., Barrouillet, P., & Camos, V. (2005). What makes working memory spans so predictive of high-level cognition? *Psychonomic Bulletin and Review*, 12(1), 165–170.  
<https://doi.org/10.3758/BF03196363>
- Levy, B. A. (1971). Role of articulation in auditory and visual short-term memory. *Journal of Memory and Language*, 10(2), 123.
- Levy, F. (1980). The development of sustained attention (vigilance) and inhibition in children: Some normative data. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 21(1), 77–84.
- Liefooghe, B., Barrouillet, P., Vandierendonck, A., & Camos, V. (2008). Working Memory Costs of Task Switching. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*.  
<https://doi.org/10.1037/0278-7393.34.3.478>
- Locke, E. A., Shaw, K. N., Saari, L. M., & Latham, G. P. (1981). Goal setting and task performance: 1969–1980. *Psychological Bulletin*, 90(1), 125–152.
- Logie, R. H. (2014). *Visuo-spatial working memory*. Psychology Press.
- Lucenet, J., & Blaye, A. (2014). Age-related changes in the temporal dynamics of executive control: a study in 5- and 6-year-old children. *Frontiers in Psychology*, 5(July), 1–11.  
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00831>
- Lucenet, J., Blaye, A., Chevalier, N., & Kray, J. (2014). Cognitive control and language across the life span: does labeling improve reactive control? *Developmental Psychology*, 50(5), 1620–7. <https://doi.org/10.1037/a0035867>
- Lui, M., & Tannock, R. (2007). Working memory and inattentive behaviour in a community sample of children. *Behavioral and Brain Functions*, 3(12). <https://doi.org/10.1186/1744-9081-3-12>
- Luna, B., Garver, K. E., Urban, T. A., Lazar, N. A., & Sweeney, J. A. (2004). Maturation of cognitive processes from late childhood to adulthood. *Child Dev.*, 75(5), 1357–1372.  
<https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2004.00745.x>

- Luria, A. R. (1973). The working brain: An introduction to neuro-psychology. *Basic Books*.
- Luria, A. R., Karpov, B. A., & Yarbuss, A. L. (1966). Disturbances of active visual perception with lesions of the frontal lobes. *Cortex*, 2(2), 202–212.
- MacDonald, M. C., Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1992). Working memory constraints on the processing of syntactic ambiguity. *Cognitive Psychology*, 24(1), 56–98.
- Majerus, S., Poncelet, M., Greffe, C., & Van der Linden, M. (2006). Relations between vocabulary development and verbal short-term memory: The relative importance of short-term memory for serial order and item information. *Journal of Experimental Child Psychology*, 93(2), 95–119. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2005.07.005>
- Malmberg, K. J. (2008). Recognition memory: A review of the critical findings and an integrated theory for relating them. *Cognitive Psychology*, 57(4), 335–384.
- Mandler, G. (1980). Recognizing: The judgment of previous occurrence. *Psychological Review*, 87(3), 252.
- Marcovitch, S., Boseovski, J. J., & Knapp, R. J. (2007). Use it or lose it: Examining preschoolers' difficulty in maintaining and executing a goal: REPORT. *Developmental Science*, 10(5), 559–564. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2007.00611.x>
- Marcovitch, S., Boseovski, J. J., Knapp, R. J., & Kane, M. J. (2010). Goal Neglect and Working Memory Capacity in 4- to 6-Year-Old Children. *Child Development*, 81(6), 1687–1695. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01503.x>
- Marstaller, L., & Burianová, H. (2013). Individual differences in the gesture effect on working memory. *Psychonomic Bulletin and Review*, 20, 496–500. <https://doi.org/10.3758/s13423-012-0365-0>
- McCabe, D. P., Henry L. Roediger III, McDaniel, M. A., Balota, D. A., & Hambrick, D. Z. (2010). The Relationship Between Working Memory Capacity and Executive Functioning: Evidence for a Common Executive Attention Construct. *Neuropsychology*, 24(2), 222–243. <https://doi.org/10.1037/a0017619>
- Mclean, J. F., & Hitch, G. J. (1999). Working Memory Impairments in Children with Specific Arithmetic Learning Difficulties. *Journal of Experimental Child Psychology*, 74, 240–260. Retrieved from <http://www.idealibrary.com>
- Mcvay, J. C., & Kane, M. J. (2009). Conducting the train of thought: Working memory capacity, goal neglect, and mind wandering in an executive-control task. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 35(1), 196–204.

- <https://doi.org/10.1037/a0014104>
- McVay, J. C., & Kane, M. J. (2012). Why does Working Memory Capacity Predict Variation in Reading Comprehension? On the Influence of Mind Wandering and Executive Attention. *Journal of Experimental Psychology: General*, *141*(2), 302–320. <https://doi.org/10.1037/a0025250>
- Meacham, J. A. (1977). Soviet Investigations of Memory Development. In R. V. Kail & J. W. Hagen (Eds.), *Perspectives on the development of memory and cognition* (pp. 273–295). Lawrence Erlbaum. Retrieved from [https://www.researchgate.net/profile/Jack\\_Meacham/publication/264120596\\_Soviet\\_investigations\\_of\\_memory\\_development/links/55f9dbb408ae07629df02bc5/Soviet-investigations-of-memory-development.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jack_Meacham/publication/264120596_Soviet_investigations_of_memory_development/links/55f9dbb408ae07629df02bc5/Soviet-investigations-of-memory-development.pdf)
- Meiran, N. (1996). Reconfiguration of processing mode prior to task performance. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *22*(6), 1423.
- Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, *24*(1), 167–202. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.24.1.167>
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Brain Physiology & Psychology*, 175. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.101.2.343>
- Miller, G. A., Galanter, E., & Pribram, K. H. (1960). *Plans and the structure of behavior*. New York, NY, US: Henry Holt and Co.
- Miller, H. V., Barnes, J. C., & Beaver, K. M. (2011). Self-control and health outcomes in a nationally representative sample. *American Journal of Health Behavior*, *35*(1), 15–27.
- Milner, B. (1963). Effects of different brain lesions on card sorting: The role of the frontal lobes. *Archives of Neurology*, *9*(1), 90–100.
- Mischel, W., Ebbsen, E. B., & Zeiss, A. R. (1972). Cognitive and attentional mechanisms in delay of gratification. *Journal of Personality and Social Psychology*, *21*(2), 204–218.
- Miyake, A., Emerson, M. J., Padilla, F., & Ahn, J. C. (2004). Inner speech as a retrieval aid for task goals: The effects of cue type and articulatory suppression in the random task cuing paradigm. *Acta Psychologica*, *115*(2–3), 123–142. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2003.12.004>
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000).

- The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex “Frontal Lobe” Tasks: A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49–100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Monette, S., & Bigras, M. (2008). La mesure des fonctions exécutives chez les enfants d’âge préscolaire. *Canadian Psychology/Psychologie Canadienne*, 49(4), 323–341. <https://doi.org/10.1037/a0014000>
- Moray, N. (1959). Attention in dichotic listening: Affective cues and the influence of instructions. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 11(1), 56–60. <https://doi.org/10.1080/17470215908416289>
- Morey, C. C., Hadley, L. V., Buttelmann, F., Könen, T., Meaney, J.-A., Auyeung, B., ... Chevalier, N. (2018). The effects of verbal and spatial memory load on children’s processing speed. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1–14. <https://doi.org/10.1111/nyas.13653>
- Morey, C. C., Mareva, S., Lelonkiewicz, J. R., & Chevalier, N. (2017). based rehearsal in children under 7 : a developmental investigation of eye movements during a serial spatial memory task. *Developmental Science*, (January), 1–8. <https://doi.org/10.1111/desc.12559>
- Morrison, F. J., Ponitz, C. C., & McClelland, M. M. (2010). Self-regulation and academic achievement in the transition to school. In *Child development at the intersection of emotion and cognition*. (pp. 203–224). <https://doi.org/10.1037/12059-011>
- Morton, B. J., & Munakata, Y. (2002). Active versus latent representations: A neural network model of perseveration, dissociation, and decalage. *Developmental Psychobiology*, 40(3), 255–265. <https://doi.org/10.1002/dev.10033>
- Munakata, Y. (1998). Infant perseveration and implications for object permanence theories: A PDP model of the AB task. *Developmental Science*, 1(2), 161–211.
- Munakata, Y. (2001). Graded representations in behavioral dissociations. *Trends in Cognitive Sciences*. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01682-X](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01682-X)
- Munakata, Y., Herd, S., Chatham, C. H., Depue, B. E., Banich, M. T., & O’Reilly, R. C. (2011). A unified framework for inhibitory control. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(10), 453–459. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.07.011.A>
- Munakata, Y., Snyder, H. R., & Chatham, C. H. (2012). Developing Cognitive Control: Three Key Transitions. *Current Directions in Psychological Science*, 21(2), 71–77. <https://doi.org/10.1177/0963721412436807>
- Murdock Jr, B. B. (1962). The serial position effect of free recall. *Journal of Experimental*

- Psychology*, 64(5), 482.
- Naus, M. J., Ornstein, P. A., & Aivano, S. (1977). Developmental changes in memory: The effects of processing time and rehearsal instructions. *Journal of Experimental Child Psychology*, 23(2), 237–251.
- Neath, I. (2000). Modeling the effects of irrelevant speech on memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 7(3), 403–423. <https://doi.org/10.3758/BF03214356>
- Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving* (Vol. 104). Prentice-Hall Englewood Cliffs, NJ.
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action. In *Consciousness and self-regulation* (pp. 1–18). Springer.
- Oakes, L. M., Baumgartner, H. A., Barrett, F. S., Messenger, I. M., & Luck, S. J. (2013). Developmental changes in visual short-term memory in infancy: Evidence from eye-tracking. *Frontiers in Psychology*, 4(October). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00697>
- Oakes, L. M., Hurley, K. B., Ross-Sheehy, S., & Luck, S. J. (2011). Developmental changes in infants' visual short-term memory for location. *Cognition*, 118(3), 293–305. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2010.11.007>
- Oberauer, K. (2008). How to say no: Single-and dual-process theories of short-term recognition tested on negative probes. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 34(3), 439.
- Oftinger, A.-L., & Camos, V. (2016). Maintenance Mechanisms in Children ' s Verbal Working Memory Maintenance Mechanisms in Children ' s Verbal Working Memory. *Journal of Educational and Developmental Psychology*, 6(1), 16–28. <https://doi.org/10.5539/jedp.v6n1px>
- Oftinger, A.-L., & Camos, V. (2017). Phonological similarity effect in children's working memory: Do maintenance mechanisms matter? *Journal of Child Psychology*, 1(1).
- Oftinger, A.-L., & Camos, V. (2018). Developmental improvement in strategies to maintain verbal information in working memory. *International Journal of Behavioral Development*, 42(2), 182–191.
- Ornstein, P. A., Naus, M. J., & Liberty, C. (1975). Rehearsal and organizational processes in children's memory. *Child Development*, 818–830.
- Papagno, C., & Vallar, G. (1992). Phonological Short-Term Memory and the Learning of Novel Words: The Effects of Phonological Similarity and Item Length. *Quarterly Journal of*



- Experimental Psychology*, 44A(1), 47–67. <https://doi.org/10.1080/14640749208401283>
- Pennington, B. F. (1994). The working memory function of the prefrontal cortices: Implications for developmental and individual differences in cognition. In *The development of future-oriented processes*. (pp. 243–289). Chicago, IL, US: University of Chicago Press.
- Peterson, L., & Peterson, M. J. (1959). Short-term retention of individual verbal items. *Journal of Experimental Psychology*, 58(3), 193.
- Petrides, M., & Milner, B. (1982). Deficits on subject-ordered tasks after frontal-and temporal-lobe lesions in man. *Neuropsychologia*, 20(3), 249–262.
- Piaget, J. (1936). *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*. Neuchâtel: Delachaux et Niestlé.
- Piaget, J. (1937). *La construction du réel chez l'enfant*. Neuchâtel: Delachaux et Niestlé.
- Portrat, S., Barrouillet, P., & Camos, V. (2008). Time-Related Decay or Interference-Based Forgetting in Working Memory? *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 34(6), 1561–1564. <https://doi.org/10.1037/a0013356>
- Portrat, S., Camos, V., & Barrouillet, P. (2010). Motor programming disrupt verbal maintenance. *Revista Portuguesa de Pedagogia*, 75–84.
- Pribram, K. H. (1973). The primate frontal cortex - Executive of the brain. In K. H. Pribram & A. R. Luria (Eds.) *Psychophysiology of the frontal lobes* (pp. 293–314). New York, NY, US: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-564340-5.50019-6>
- Pribram, K. H. (1976). Executive functions of the frontal lobes. In T. Desiraju (Ed.) *Mechanisms in transmission of signals for conscious behaviour* (pp. 303–320). Amsterdam: Elsevier.
- Psychology Software Tools, Inc. [E-Prime 2.0]. (2012). Retrieved from <https://www.pstnet.com>
- Raye, C. L., Johnson, M. K., Mitchell, K. J., Greene, E. J., & Johnson, M. R. (2007). Refreshing : a Minimal Executive Function. *Cortex*, 43(1), 135–145. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70451-9](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70451-9)
- Reese, H. W., Bebko, J. M., Paris, S. G., Rogoff, B., & Schneider, W. (1999). Strategies for Replication Research Exemplified by Replications of the Istimina Study. *Developmental Review*, 19, 1–30. <https://doi.org/10.1006/drev.1998.0473>
- Richardson, J. T. E., & Baddeley, A. D. (1975). The effect of articulatory suppression in free recall. *Journal of Memory and Language*, 14(6), 623.
- Riggs, N. R., Spruijt-Metz, D., Sakuma, K. L., Chou, C. P., & Pentz, M. A. (2010). Executive cognitive function and food intake in children. *Journal of Nutrition Education & Behavior*,

- 42(6), 398–403. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jneb.2009.11.003>
- Roberts, G., & Anderson, M. (2014). Task structure complexity and goal neglect in typically developing children. *Journal of Experimental Child Psychology, 120*(1), 59–72. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2013.11.003>
- Ross-sheehy, A. S., Oakes, L. M., & Luck, S. J. (2003). The Development of Visual Short-Term Memory Capacity in Infants, *74*(6), 1807–1822.
- Rossion, B., & Pourtois, G. (2004). Revisiting Snodgrass and Vanderwart’s object pictorial set: The role of surface detail in basic-level object recognition. *Perception, 33*(2), 217–236.
- Rueda, M. R., Posner, M. I., & Rothbart, M. K. (2005). *The Development of Executive Attention: Contributions to the Emergence of Self-Regulation. Developmental neuropsychology* (Vol. 28).
- Salame, P., & Baddeley, A. D. (1982). Disruption of short-term memory by unattended speech: Implications for the structure of working memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 21*(2), 150–164.
- Savage, C. R., Deckersbach, T., Heckers, S., Wagner, A. D., Schacter, D. L., Alpert, N. M., ... Rauch, S. L. (2001). Prefrontal regions supporting spontaneous and directed application of verbal learning strategies evidence from PET. *Brain, 124*(1), 219–231. <https://doi.org/10.1093/brain/124.1.219>
- Schaefer, S., Lövdén, M., Wieckhorst, B., & Lindenberger, U. (2010). Cognitive performance is improved while walking: Differences in cognitive–sensorimotor couplings between children and young adults. *European Journal of Developmental Psychology, 7*(3), 371–389. <https://doi.org/10.1080/17405620802535666>
- Schneider, W., & Brun, H. (1987). The role of context in young children’s memory performance: Istomina revisited. *British Journal of Developmental Psychology, 0*(5), 333–341.
- Shallice, T. (1982). Specific Impairments of Planning. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, 209*, 199–209. <https://doi.org/10.1098/rstb.1982.0082>
- Shallice, T. (2002). Fractionation of the supervisory system. *Principles of Frontal Lobe Function, 261–277*.
- Shoda, Y., & Mischel, W. (1990). Predicting adolescent cognitive and self-regulatory competencies from preschool delay of gratification: identifying diagnostic conditions.

- Developmental Psychology*, 26(6), 978–986.
- Siegler, R. S. (1996). *Emerging minds: The process of change in children's thinking*. Oxford University Press.
- Simpson, A., & Riggs, K. J. (2007). Under what conditions do young children have difficulty inhibiting manual actions? *Developmental Psychology*, 43(2), 417.
- Smith, E. E. (2008). Working Memory (Goal Maintenance and Interference Control). Oral presentation at the Third CNTRICS meeting.
- Smyth, M. M., & Scholey, K. A. (1992). Determining spatial span: The role of movement time and articulation rate. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A*, 45(3), 479–501.
- Snodgrass, J. G., & Vanderwart, M. (1980). A standardized set of 260 pictures: Norms for name agreement, image agreement, familiarity, and visual complexity. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning & Memory*, 6(2), 174–215. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.6.2.174>
- So, W. C., Sim Chen-Hui, C., & Low Wei-Shan, J. (2012). Mnemonic effect of iconic gesture and beat gesture in adults and children: Is meaning in gesture important for memory recall? *Language and Cognitive Processes*, 27(5), 665–681.
- Somsen, R. J. M. (2007). The development of attention regulation in the Wisconsin Card Sorting Task. *Developmental Science*, 10(5), 664–680.
- Sowell, E. R., Thompson, P. M., Homes, C. J., Jernigan, T. L., & Toga, A. W. (1999). In vivo evidence for post adolescent brain maturation in frontal and striatal regions. *Nature Neuroscience*, 2, 859–861. <https://doi.org/10.1038/13154>
- Spearman, C. (1904). "General Intelligence," Objectively Determined and Measured. *The American Journal of Psychology*, 15(2), 201. <https://doi.org/10.2307/1412107>
- Speer, N. K., Jacoby, L. L., & Braver, T. S. (2003). Strategy-dependent changes in memory: effects on behavior and brain activity. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 3(3), 155–67. <https://doi.org/10.3758/cabn.3.3.155>
- Stevanoni, E., & Salmon, K. (2005). Giving memory a hand: Instructing children to gesture enhances their event recall. *Journal of Nonverbal Behavior*, 29(4), 217–233. <https://doi.org/10.1007/s10919-005-7721-y>
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 643–662. <https://doi.org/10.1037/h0054651>

- Stuss, D. T., Alexander, M. P., Floden, D., Binns, M. A., Levine, B., McIntosh, A. R., ... Hevenor, S. J. (2002). Fractionalization and localization of distinct frontal lobe processes: Evidence from focal lesions in humans.
- Swanson, H. L. (1996). Individual and age-related differences in children's working memory. *Memory & Cognition*, *24*(1), 70–82.
- Swanson, H. L. (1999). What develops in working memory? A life span perspective. *Developmental Psychology*, *35*(4), 986.
- Swanson, H. L. (2017). Verbal and visual-spatial working memory: What develops over a life span? *Developmental Psychology*, *53*(5), 971.
- Swanson, H. L., & Sachse-Lee, C. (2001). Mathematical problem solving and working memory in children with learning disabilities: Both executive and phonological processes are important. *Journal of Experimental Child Psychology*, *79*(3), 294–321.
- Swanson, L., & Kim, K. (2007). Working memory, short-term memory, and naming speed as predictors of children's mathematical performance. *Intelligence*, *35*(2), 151–168.
- Tam, H., Jarrold, C., Baddeley, A. D., & Sabatos-DeVito, M. (2010). The development of memory maintenance: Children's use of phonological rehearsal and attentional refreshment in working memory tasks. *Journal of Experimental Child Psychology*, *107*(3), 306–324. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2010.05.006>
- Taylor Tavares, J. V., Clark, L., Cannon, D. M., Erickson, K., Drevets, W. C., & Sahakian, B. J. (2007). Distinct Profiles of Neurocognitive Function in Unmedicated Unipolar Depression and Bipolar II Depression. *Biological Psychiatry*, *62*(8), 917–924. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2007.05.034>
- Tiberghien, G., & Lecocq, P. (1983). *Rappel et reconnaissance: encodage et recherche en mémoire* (Vol. 2). Presses Univ. Septentrion.
- Tomprowski, P. D. (2003). Effects of acute bouts of exercise on cognition. *Acta Psychologica*. [https://doi.org/10.1016/S0001-6918\(02\)00134-8](https://doi.org/10.1016/S0001-6918(02)00134-8)
- Towse, J. N., & Hitch, G. J. (1995). Is there a Relationship between Task Demand and Storage Space in Tests of Working Memory Capacity? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *48A*(1), 108–124. <https://doi.org/10.1080/14640749508401379>
- Towse, J. N., Lewis, C., & Knowles, M. (2007). When knowledge is not enough: The phenomenon of goal neglect in preschool children. *Journal of Experimental Child Psychology*, *96*(4), 320–332. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2006.12.007>

- Tsujimoto, S. (2008). The Prefrontal Cortex: Functional Neural Development During Early Childhood. *The Neuroscientist*, *14*(4), 345–358. <https://doi.org/10.1177/1073858408316002>
- Tulving, E. (1985). Memory and consciousness. *Canadian Psychology/Psychologie Canadienne*, *26*(1), 1.
- Turner, M. L., & Engle, R. W. (1989). Is working memory capacity task dependent? *Journal of Memory and Language*, *28*(2), 127–154. [https://doi.org/10.1016/0749-596X\(89\)90040-5](https://doi.org/10.1016/0749-596X(89)90040-5)
- Underwood, B. J. (1957). Interference and forgetting. *Psychological Review*, *64*(1), 49.
- Unsworth, N. (2016). The Many Facets of Individual Differences in Working Memory Capacity. In *Psychology of Learning and Motivation* (pp. 1–46). <https://doi.org/10.1016/bs.plm.2016.03.001>
- Unsworth, N., Fukuda, K., Awh, E., & Vogel, E. K. (2014). Working memory and fluid intelligence: Capacity, attention control, and secondary memory retrieval. *Cognitive Psychology*, *71*, 1–26. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2014.01.003>
- Unsworth, N., Redick, T. S., Spillers, G. J., & Brewer, G. A. (2012). Variation in working memory capacity and cognitive control: Goal maintenance and microadjustments of control. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *65*(2), 326–355. <https://doi.org/10.1080/17470218.2011.597865>
- Unsworth, N., Schrock, J. C., & Engle, R. W. (2004). Working memory capacity and the antisaccade task: Individual differences in voluntary saccade control. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, *30*(6), 1302–1321. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.30.6.1302>
- Vaughan, L. (2010). Executive function in daily life: Age-related influences of executive processes on instrumental activities of daily living. *Psychology and Aging*, *25*(2), 343–355.
- Vaz, I. A., Cordeiro, P. M., Macedo, E. C., & Lukasova, K. (2010). Working memory in children assessed by the Brown-Peterson Task. *Pro Fono*, *22*(2), 95–100. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20640371>
- Vergauwe, E., Camos, V., & Barrouillet, P. (2014). The impact of storage on processing: How is information maintained in working memory? *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, *40*(4), 1072–1095. <https://doi.org/10.1037/a0035779>
- Ward, H., Shum, D., McKinlay, L., Baker-Tweney, S., & Wallace, G. (2005). Development of prospective memory: Tasks based on the prefrontal-lobe model. *Child Neuropsychology*,

- 11(6), 527–549.
- Waterman, A. H., Atkinson, A. L., Aslam, S. S., Holmes, J., Jaroslawska, A., & Allen, R. J. (2017). Do actions speak louder than words? Examining children's ability to follow instructions. *Memory & Cognition*, 45(6), 877–890. <https://doi.org/10.3758/s13421-017-0702-7>
- Wechsler, D. (2008). *Wechsler Adult Intelligence Scale—Fourth Edition (WAIS–IV)*. San Antonio: TX: The Psychological Corporation.
- Wechsler, D. (2014). *Wechsler Intelligence Scale for Children—Fifth Edition (WISC-V)*. San Antonio: TX: NCS Pearson.
- Whitall, J. (1991). The developmental effect of concurrent cognitive and locomotor skills: Time-sharing from a dynamical perspective. *Journal of Experimental Child Psychology*, 51(2), 245–266.
- Wickens, C. D. (1991). Processing Resources in Attention. *Multiple-Task Performance*, 61. <https://doi.org/R.Parasuraman,R.Davies>
- Wiebe, S. A., Sheffield, T., Nelson, J. M., Clark, C. A. C. C., Chevalier, N., & Espy, K. A. (2011). The structure of executive function in 3-year-olds. *Journal of Experimental Child Psychology*, 108(3), 436–452. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2010.08.008>
- Wippich, W. (1981). Verbessert eine Einkaufssituation die Vorhersage der eigenen Behaltensleistungen im Vorschulalter? *Zeitschrift Für Entwicklungspsychologie Und Pädagogische Psychologie*.
- Yanaoka, K., & Saito, S. (2017). Developing control over the execution of scripts: The role of maintained hierarchical goal representations. *Journal of Experimental Child Psychology*, 163, 87–106. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2017.06.008>
- Yonelinas, A. P. (1994). Receiver-operating characteristics in recognition memory: evidence for a dual-process model. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 20(6), 1341.
- Yonelinas, A. P. (2002). The nature of recollection and familiarity: A review of 30 years of research. *Journal of Memory and Language*. <https://doi.org/10.1006/jmla.2002.2864>
- Zelazo, P. D. (2006). The Dimensional Change Card Sort (DCCS): a method of assessing executive function in children. *Nat Protoc*, 1(1), 297–301. <https://doi.org/10.1038/nprot.2006.46>
- Zelazo, P. D. (2015). Executive function: Reflection, iterative reprocessing, complexity, and the developing brain. *Developmental Review*. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2015.07.001>

- 
- Zelazo, P. D., & Carlson, S. M. (2012). Hot and Cool Executive Function in Childhood and Adolescence: Development and Plasticity. *Child Development Perspectives, 6*(4), 354–360. <https://doi.org/10.1111/j.1750-8606.2012.00246.x>
- Zelazo, P. D., Carter, A., Reznick, J. S., & Frye, D. (1997). Early development of executive function: A problem-solving framework. *Review of General Psychology, 1*(2), 198–226. <https://doi.org/10.1037/1089-2680.1.2.198>
- Zelazo, P. D., & Frye, D. (1998). Cognitive Complexity and Control: II. The Development of Executive Function in Childhood. *Current Directions in Psychological Science, Vol. 7*(No. 4), 121–126.
- Zelazo, P. D., Frye, D., & Rapus, T. (1996). An age-related dissociation between knowing rules and using them. *Cognitive Development, 11*(1), 37–63. [https://doi.org/10.1016/S0885-2014\(96\)90027-1](https://doi.org/10.1016/S0885-2014(96)90027-1)
- Zelazo, P. D., Müller, U., Frye, D., & Marcovitch, S. (2003). The development of executive function in early childhood. *Monographs of the Society for Research in Child Development, 68*(3), 1–151.

## Annexe

### Analyses statistiques complémentaires : Influence de l'indication en fonction des capacités en mémoire de travail des enfants

Sont présentées dans cette annexe, des analyses complémentaires (voir Tableau 5, ci-après) aux neuf expériences de cette thèse. Elles concernent l'analyse de l'influence de l'indication du but sur les performances de rappel des enfants en fonction de leurs capacités en mémoire de travail (faible ou fort empan). Pour classer les enfants comme étant à faible ou à fort empan mnésique, nous nous sommes basés sur la médiane de leurs scores moyens de rappel à l'épreuve contrôle de chaque expérience, si celle-ci en possédait une. Dans le cas contraire, cette médiane fut obtenue à partir des scores moyens de rappel à la condition sans indication de but. La condition ayant servi à classer les enfants est indiquée dans le Tableau 5. Les enfants ayant obtenu un score inférieur à la médiane furent classés comme « à faible empan » et les enfants avec un score supérieur à la médiane furent classés comme « à fort empan ». Les enfants qui avaient un score équivalent à la médiane ont été exclus des analyses. La répartition des enfants dans chacun des deux groupes est indiquée dans le Tableau 5. Les analyses concernent l'effet d'interaction entre la variable d'indication (sans ou avec indice) et la variable des capacités en MDT (Mémoire de Travail, faible et fort empan) des enfants. Lorsqu'un effet en faveur de l'hypothèse alternative est présent, celui-ci est rapporté en rouge. Dans ce cas, des analyses descriptives sont rapportées ainsi qu'une analyse bayésienne d'un effet principal de l'indication dans chaque groupe d'empan. Pour les Expériences 5 à 8, d'autres variables ont été ajoutées lors des analyses bayésiennes (voir Tableau 5).



Tableau 5. Analyses statistiques complémentaires pour les Exp. 1 à 8 : influence de l'indiciage sur les performances de rappel des enfants en fonction de leurs capacités en mémoire de travail.

Exp.	Âges (ans)	Nbr. d'enf. à faible empan	Nbr. d'enf. à fort empan	Variable de tri des enfants	Enf. à faible empan : Moy., Écart-type, Effet principal de l'indiciage	Enf. à fort empan : Moy., Écart-type, Effet principal de l'indiciage	Indiciage x Capacités MDT	Indiciage x Capacités MDT x Activité motrice	Type de contexte x Capacités MDT	Type de contexte x Capacités MDT x Type de rappel
1	6	9	9	Condition sans indiciage	sans indice $\bar{x} = 1,37 \sigma = 0,2$ avec indice $\bar{x} = 1,55 \sigma = 0,3$ $BF_{01} = 1,68 \pm 0,02 \%$	sans indice $\bar{x} = 2,62 \sigma = 0,3$ avec indice $\bar{x} = 2,29 \sigma = 0,5$ $BF_{10} = 1,02 \pm 0,005 \%$	$BF_{10} = 2,81 \pm 1,5 \%$			
	9	11	10				$BF_{01} = 1,1 \pm 1,2 \%$			
2a <sup>i</sup>	6	8	12		sans indice $\bar{x} = 1,66 \sigma = 0,4$ avec indice $\bar{x} = 2,04 \sigma = 0,6$ $BF_{01} = 1,15 \pm 0,005 \%$	sans indice $\bar{x} = 2,89 \sigma = 0,3$ avec indice $\bar{x} = 2,69 \sigma = 0,7$ $BF_{01} = 2,16 \pm 0,02 \%$	$BF_{10} = 1,66 \pm 0,95 \%$			
2b	6	17	10		sans indice $\bar{x} = 1,58 \sigma = 0,5$ avec indice $\bar{x} = 1,57 \sigma = 0,6$ $BF_{01} = 3,99 \pm 0,007 \%$	sans indice $\bar{x} = 2,76 \sigma = 0,4$ avec indice $\bar{x} = 2,13 \sigma = 0,5$ $BF_{10} = 11,69 \pm 4,966 \times 10^5 \%$	$BF_{10} = 4,79 \pm 1,6 \%$			
							$BF_{01} = 1,67 \pm 1,8 \%$			
3	4	8	10		sans indice $\bar{x} = 2,13 \sigma = 0,4$ avec indice $\bar{x} = 2,43 \sigma = 0,5$ $BF_{10} = 1,41 \pm 0,004 \%$ Figures 29 et 30	sans indice $\bar{x} = 3,19 \sigma = 0,2$ avec indice $\bar{x} = 2,92 \sigma = 0,4$ $BF_{01} = 1,30 \pm 0,004 \%$	$BF_{10} = 4,30 \pm 1,0 \%$			
	5	10	10							
4	6	18	17				$BF_{01} = 2,05 \pm 1,07 \%$			
	5	Analyse infaisable <sup>ii</sup>								
5	4	30	36		Epreuv.			$BF_{S01} > 2,03 \pm 2,3 \%$		
	5	34	35	Contrôl.			$BF_{S01} > 2,28 \pm 2,4 \%$			
6	4	13	13	KABC-2			$BF_{S01} > 1,47 \pm 1,9 \%$			
	5	14	20				$BF_{S01} > 2,14 \pm 1,3 \%$			
7	5	75	64	Score 1			$BF_{S01} > 2,02 \pm 1,4 \%$			
	6	29	36	Course des animaux			$BF_{S01} > 1,81 \pm 2,4 \%$			
	7	24	29				$BF_{S01} > 2,27 \pm 2,3 \%$			
8	5	25	20	KABC-2					$BF_{S01} > 2,32 \pm 1,8 \%$	

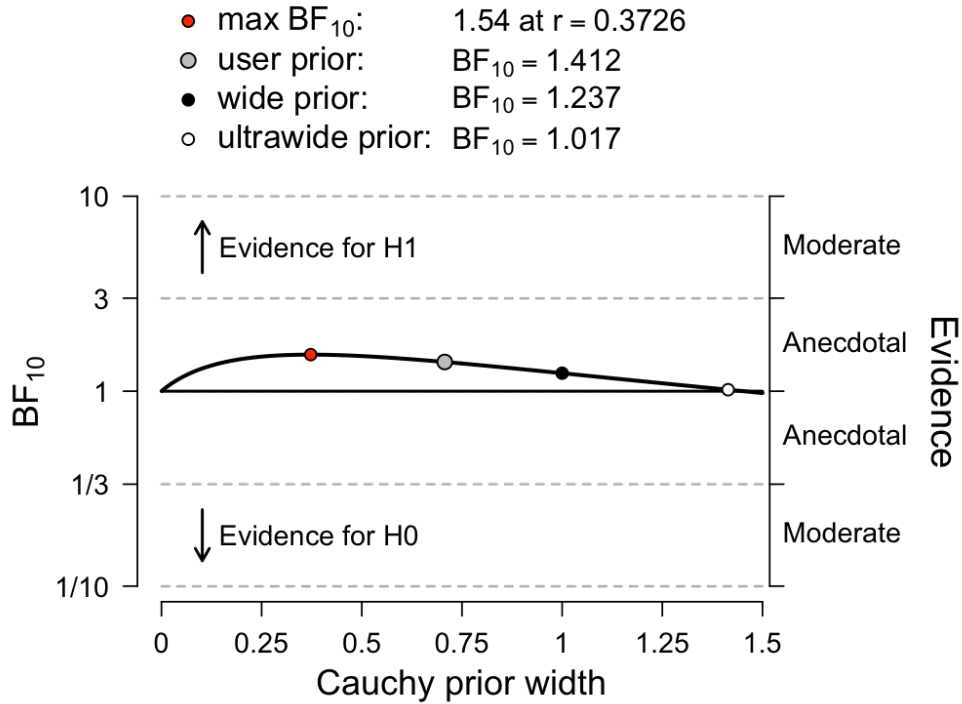


Figure 29. Contrôle de la robustesse du Bayes Factor de l'effet principal bénéfique de l'indiçage sur les scores d'empan des sujets à faible empan de l'Expérience 3.

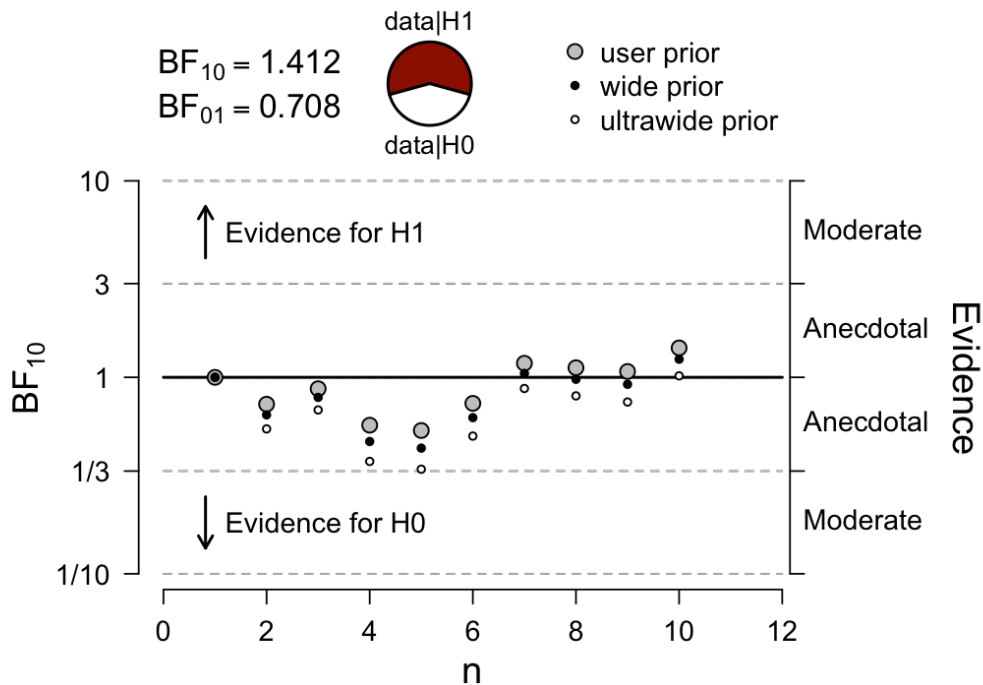


Figure 30. Analyse séquentielle avec contrôle de la robustesse de l'effet principal bénéfique de l'indiçage sur les scores d'empan des sujets à faible empan de l'Expérience 3.

- i Sur les scores de répétition, absence d'effet d'interaction Indichage x Capacités en mémoire de travail,  $BF_{01} = 2,31 \pm 2,4 \%$ .
- ii Pour les enfants de 5 ans, l'analyse était infaisable dû à l'absence d'épreuve contrôle mesurant les capacités en mémoire de travail des enfants provenant de l'étude de Barrouillet et al. (2009, Exp. 3) et ceux provenant de notre expérimentation. Les enfants que nous avons testés ont de meilleurs scores d'empan que ceux de l'étude à Barrouillet et al. (2009, Exp. 3). Et les enfants provenant de notre échantillon font partie du groupe recevant un indichage alors que ceux de Barrouillet et al. (2009, Exp. 3) n'ont pas reçu d'indichage.



# Curriculum Vitæ

Novembre 2018

## Formations / Expériences professionnelles

---

Depuis septembre 2015	<b>Doctorat</b> en cours 2015-2018 Doctorant FNS 2018-2019 Assistant diplômé	« Développement de la mémoire de travail et aide au maintien du but : Investigation du rôle joué par l'indiciage du but dans le fonctionnement de la mémoire de travail verbale des enfants de 4 à 9 ans » <i>Cotutelle : Pr. Valérie Camos et Pr. Agnès Blaye</i>	Universités de Fribourg (Suisse) et d'Aix-Marseille (France)
Février 2018	 Formations en management	« La boîte à outils du manager » (21h), <i>PhD CNRS M. Michel Paul Dumitrescu, UMR 7260</i> « Management des hommes et relations de travail » (24h), <i>Pr. Associé M. Jean-Christophe Klein, Grenoble INP</i>	Formation doctorale Université d'Aix-Marseille
Octobre 2016 et février 2017	 Formations : analyses statistiques	« Méthodes d'analyse des comparaisons multiples et des contrastes avec SPSS » (8h). « Introduction à l'approche statistique bayésienne » (8h).	Programme doctoral romand en Psychologie
2014-2015	DU Stage professionnalisant en psychologie	<b>Titre de Psychologue</b> obtenu le 15/05/15 218h - Consultation Mémoire (Beaune, Bourgogne) 306h - Institut Médico-Éducatif (Moulins, Auvergne)	Université de Bourgogne (Dijon, France)
2014-2015	 Ingénieur d'étude	Thématique : la détection de la nouveauté dans la maladie d'Alzheimer <i>Sous la direction du Pr. Chris Moulin</i>	LEAD Université de Bourgogne
2014	 Master <i>Mention bien</i>	<b>Diplôme de Psychologie, parcours mix orienté recherche.</b> « Ingénierie cognitive des apprentissages et technologies pour la formation professionnelle »	Université de Bourgogne
2013	 Maîtrise <i>Mention bien</i>	Psychologie	Université de Bourgogne
2012	 Licence <i>Mention assez bien</i>	Psychologie	Université de Bourgogne
2011	 DEUG	Psychologie	Université de Bourgogne

2008-2010	 Employé de commerce	Employé polyvalent (drive, caisse, mise en rayon) en grande distribution	Leclerc Dijon
2006-2007	1 <sup>ère</sup> année de BTS	Gestion et Protection de la Nature (GPN)	Lycée agricole de Sartène (Corse)
2006	 Bac STAE	Baccalauréat technologique en Sciences et Technologies de l'Agronomie et de l'Environnement	Lycée agricole de Marseille : « Lycée des Calanques »

### Stages recherches et professionnels

Fin mai - début juin 2015	<b>Stage recherche</b> à l'étranger	School of Psychology, Faculty of Medicine and Health (Leeds, UK) <b>Études en ligne : bilinguisme et mémoire.</b> <i>Sous l'encadrement du Dr. Jelena Havelka</i>
Début 2015 (306h)	<b>Stage professionnalisant</b> Psychologie	Institut Médico Educatif, La Clarté (Moulins, Auvergne) <b>Évaluation des capacités intellectuelles, mnésiques, et remédiation cognitive</b> <i>Sous l'encadrement de Mme Séverine Sauzède-Bourdin</i>
Fin 2014 (218h)	<b>Stage professionnalisant</b> Neuropsychologie	Consultation mémoire à l'hôpital Philippe le Bon (Beaune, Bourgogne) <b>Aide au diagnostic, remédiation cognitive.</b> <i>Sous l'encadrement de M. Jonathan Meyer</i>
2013 - 2014	Stage recherche pour le <b>Mémoire de M2</b> <i>Mention très bien</i> LEAD - CNRS	« <b>Approche neuropsychologique des effets survie et animé en mémoire adaptative : une étude SPIRf</b> » <i>Sous la direction du Pr. Patrick Bonin et du Dr. Aurélia Bugajska</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'enjeu, à travers 4 expériences, était de démontrer si la mémoire à long-terme s'est développée dans un but adaptatif et, si tel est le cas, de mettre en évidence les mécanismes neurologiques du CPFDL (cortex préfrontal dorso latéral) impliqués dans l'obtention des effets survie et animé.</li> </ul>
2013 - Juillet	Stage recherche LEAD - CNRS Université de Bourgogne	Formation à la SPIRf - Conception d'expérience sur la mémoire adaptative et scénario de survie
2012 - 2013	Stage recherche pour le <b>Mémoire de M1</b> <i>Mention très bien</i> LEAD - CNRS	« <b>La musique, moteur d'un meilleur encodage en mémoire verbale ? Une étude SPIRf (fNIRS)</b> » <i>Sous la direction du Pr. Emmanuel Bigand et du Dr. Aurélia Bugajska</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sous la codirection de Laura Ferreri (doctorante), l'objectif était d'étudier l'effet d'un contexte musical sur les performances en mémoire à long-terme de populations jeunes, âgées saines, et Alzheimer tout en mesurant le niveau d'activation du CPFDL.</li> </ul>
2012 - Juin	Stage recherche LEAD - CNRS Université de Bourgogne	Conception d'expérience - « Mémoire, musique, vieillissement et neuroimagerie »

Été 2007 Stage de BTS GPN au Village des tortues de Gonfaron Suivi de population par radiotracking et relevés de points GPS des tortues d'Hermann endémiques du massif des Maures, Var, France.

### Compétences techniques en psychologie

<b>Neuro-imagerie</b>	<b>SPIRf</b> (fNIRS en anglais : spectroscopie en proche infrarouge fonctionnelle)	Acquisition et traitement du signal
<b>Programmation</b>	<b>E-prime, Psyscope</b>	Réalisations d'expériences
<b>Traitements statistiques</b>	<b>JASP</b> (Bayésiens), <b>Statistica</b> , <b>SPSS</b>	
<b>Tests psychométriques</b>	<b>CMS, WAIS, WISC, batterie du GREFEX, etc.</b>	Évaluations du fonctionnement mnésique, niveaux d'intelligences et fonctions exécutives

### Enseignements

Avril- Mai 2018	<b>10h de TD en Master 1 : « Déficience motrice »</b> <b>8h de CM en Licence 1 : « Psychologie du développement »</b> : dont « Les relations entre pairs » et « Le développement de la morale ».	Université de Fribourg
Avril 2017	<b>7h de TD en Master 1 : « Développement du contrôle exécutif »</b> : dont « Les prédicteurs de la réussite scolaire », « Les méthodes d'entraînement du contrôle exécutif » et « Contrôle exécutif et maintien du but ».	Université de Fribourg

### Co-encadrements d'étudiants

2015- 2018	<p><b>Licences 3</b> pour leur travail de recherche :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mélanie Caloz, Charlotte Crisci, Antoine Wuilleret (2015-2016).</li> <li>- Mathieu Bach, Felicie Corminboeuf, Antoine Despond, Sarah Despont, Helin Hazal, Chloé de Martino, Mathilda Stritt, (2017-2018).</li> <li>- Delphine Genoud, Philomène Gentner, Auriane Joly, Romane Pegaitaz, Sarah Tanner (2018-2019)</li> </ul> <p><b>Licences 3</b> pour leur stage :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diana dos Santos Sanches, Carine Valnet, Albertine Corthay, Kim Hirsbrunner (2016-2017).</li> <li>- Mathilda Stritt, Felicie Corminboeuf, Antoine Despond (2017-2018).</li> </ul> <p><b>Masters 2</b> pour leur mémoire de recherche :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Muriel Arrigoni (2015-2016)</li> <li>- Manon Ngoy, Delphine Berard (2016-2017)</li> </ul> <p><b>Master 2</b> pour son stage :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Clarisse Niçaise (2017-2018)</li> </ul>	Université de Fribourg
---------------	--	------------------------

## Réalisations scientifiques

---

- Article** **Fitamen, C., Blaye, A., Camos, V.** (2018). *The Role of Goal Cueing in Kindergarteners' Working Memory*. Manuscript submitted for publication.
- Dubourg, L., Silva, A. R., **Fitamen, C.**, Moulin, C. J. A., & Souchay, C. (2016). SenseCam: A new tool for memory rehabilitation? *Revue Neurologique*, 172, 735–747. <http://doi.org/10.1016/j.neurol.2016.03.009>
- Chapitre de livre** Bonin, P., Ferreri, L., Gelin, M., **Fitamen, C.**, Bard, P., & Bugaiska, A. (2016). Spotlight on the Survival Processing Advantage: An fNIRS Study on Adaptive Memory. Forthcoming. In E. A. Thayer (Ed.), *Spatial, Long- and Short-Term Memory: Functions, Differences and Effects of Injury*. New York: NOVA Science Publishers.
- Communications** **Fitamen, C., Camos, V., Blaye, A.** (2018, August). *Concurrent motor activity is detrimental to 5-year-olds' WM in oral recall but not in recognition*. Poster session at the 9<sup>th</sup> European Working Memory Symposium, Pavia, Italy. <http://doi.org/10.13140/RG.2.2.13994.47045>
- Fitamen, C., Camos, V., Blaye, A.** (2018, June). *Playing first helps 5-year-olds to perform well in a subsequent working memory task*. Poster session at the 3<sup>rd</sup> Jean Piaget conferences: The origins of number, Geneva, Switzerland. <http://doi.org/10.13140/RG.2.2.29328.10245>
- Fitamen, C., Blaye, A., Camos, V.** (2018, May). *What role does goal maintenance play in verbal working memory development?* Oral presentation at the 48<sup>th</sup> Jean Piaget Society annual conference, Amsterdam, Netherlands.
- Fitamen, C.** (2018, Mars). *Développement de la mémoire de travail et aide au maintien du but : investigation du rôle joué par l'indication du but dans le fonctionnement de la mémoire de travail des enfants de 3 à 9 ans*. Présentation orale à Ma Thèse en 180 secondes, Fribourg, Suisse. <https://youtu.be/5t7YzxcPRno?t=12m5s>
- Fitamen, C., Blaye, A., Camos, V.** (2017, November). *Do goal cue or goal oriented activity improve preschoolers' working memory?* Poster session at the 58<sup>th</sup> annual meeting of the Psychonomic Society, Vancouver, British Columbia, Canada. <http://doi.org/10.13140/RG.2.2.13029.91362>
- Fitamen, C., Blaye, A., Camos, V.** (2017, October). *Le contexte de jeu comme aide à la mémorisation*. Oral presentation at the colloquium "Jeu et Apprentissage", Fribourg, Switzerland.
- Fitamen, C., Camos, V., Blaye, A.** (2017, October). *Goal cues impact in a different way verbal working memory and executive control in kindergarteners*. Oral presentation at the Fribourg day of Cognition, Fribourg, Switzerland.

- Fitamen, C., Camos, V., Blaye, A.** (2017, September). *How goal cues impact verbal working memory in kindergarteners?* Poster session at the 20<sup>th</sup> Conference of the European Society for Cognitive Psychology, Potsdam, Germany. <http://doi.org/10.13140/RG.2.2.36670.79684>
- Fitamen, C., Camos, V., Blaye, A.** (2017, June). *Does motor activity influence goal maintenance in preschoolers' verbal working memory?* Oral presentation at the workshop: attention in working memory, Ovronnaz, Switzerland.
- Fitamen, C., Blaye, A., Camos, V.** (2016, October). *A visual goal cue and an oriented motor activity improve 5-year-olds' working memory: What's next?* Oral presentation at the 1<sup>st</sup> Swiss Working Memory Meeting, Fribourg, Switzerland.
- Fitamen, C., Blaye, A., Camos, V.** (2016, October). *Preschoolers' working memory: Could cueing reduce goal neglect and improve performance?* Oral presentation at the Fribourg day of Cognition, Fribourg, Switzerland.
- Fitamen, C., Blaye, A., Camos, V.** (2016, September). *Goal maintenance and working memory in preschoolers. Can goal cueing improve their performance and under what conditions?* Poster session presented at the 8<sup>th</sup> European Working Memory Symposium, Liège, Belgium.
- Fitamen, C., Blaye, A., Camos, V.** (2016, July). *Goal maintenance and working memory in preschoolers. Can goal cueing improve their performance and under what conditions?* Poster session presented at the 6<sup>th</sup> International Conference On Memory, Budapest, Hungary. <http://doi.org/10.13140/RG.2.2.10525.92642>
- Moulin, C.J.A., **Fitamen, C.**, Barbeau, E., Meyer, J. (2016, July). *Novelty and recognition memory in Alzheimer's disease.* Oral presentation at the 6<sup>th</sup> International Conference On Memory, Budapest, Hungary.
- Fitamen, C., Blaye, A., Camos, V.** (2016, June). *Goal maintenance and working memory in preschoolers. Can goal cueing improve their performance and under what conditions?* Poster session presented at the 2<sup>nd</sup> Jean Piaget conferences: Infant development from Piaget to today, Geneva, Switzerland.

### Financements obtenus

2018	Académie Suisse des Sciences Humaines et Sociales ( <b>ASSH</b> )	Participation aux frais du 9 <sup>ème</sup> EWOMS (European Working Memory Symposium, Liège, Belgium) à hauteur de 498 CHF.
2018	Fonds d'Action Facultaire ( <b>FAF</b> ) de l'Université de Fribourg	Participation aux frais de la 48 <sup>ème</sup> conférence annuelle de la société Jean Piaget à Amsterdam (Hollande) à concurrence de 1'567 CHF.



---

2017	Subside de cotutelle <b>swissuniversities</b>	Financement cotutelle de thèse à concurrence de 10'000 CHF.
2016	Académie Suisse des Sciences Humaines et Sociales ( <b>ASSH</b> )	Participation aux frais du 8ème EWOMS (European Working Memory Symposium, Liège, Belgium) à hauteur de 489 CHF.
2016	Fonds d'Action Facultaire ( <b>FAF</b> ) de l'Université de Fribourg	Participation aux frais du 6ème ICOM (International Conference On Memory, Budapest, Hungary) à concurrence de 1'243 CHF.

### Passions

---

**Photographie** : Paysages, Astrophotographie, Orages  
Edition d'un site web en HTML et traitement de l'image sous Photoshop CS6

**Musique** : Pratique de la guitare en groupe

**Sports** : VTT (trial, all mountain, downhill), Snowboarding

Je déclare sur mon honneur que ma thèse est une œuvre personnelle,  
composée sans concours extérieur non autorisé,  
et qu'elle n'a pas été présentée devant une autre Faculté.