

# Développement de la mémoire de travail et traitement des phrases complexes : Quelle relation ?

Delage, Hélène & Frauenfelder, Ulrich Hans

Université de Genève, Laboratoire de Psycholinguistique Expérimentale, Suisse  
[helene.delage@unige.ch](mailto:helene.delage@unige.ch) [ulrich.frauenfelder@unige.ch](mailto:ulrich.frauenfelder@unige.ch)

## 1 Introduction

Un champ de plus en plus large de la psycholinguistique développementale relie l'acquisition typique et atypique du langage au développement et à l'intervention d'autres systèmes cognitifs, comme les fonctions exécutives, l'attention, la perception ou bien encore la mémoire (voir par exemple Marton & Schwartz, 2003 ; Hansson et al., 2004 ; Im-Bolter et al., 2006 ; Majerus et al., 2006 ; Delage & Tuller, 2007 ; Houston, 2009 ; Tuller et al., 2011). Cet intérêt est partagé même par des positions modulaires. Ainsi Chomsky considère désormais que le langage n'est pas entièrement isolé des autres mécanismes cognitifs puisqu'il propose, en 2005, l'hypothèse selon laquelle trois facteurs influenceraient le développement du langage : la composante génétique (GU), l'expérience et, ce qui est nouveau dans sa théorie, les facteurs non spécifiques à la faculté de langage. Les questions actuelles portent désormais sur la nature et le poids relatif des différents facteurs cognitifs qui jouent un rôle dans l'acquisition du langage. Nous<sup>1</sup> nous intéressons ici aux capacités de mémoire de travail pour lesquelles de nombreuses études postulent un lien direct avec l'acquisition lexicale (voir Gathercole et al., 1999 ; Majerus et al., 2006 ; Leclercq & Majerus, 2010) et plus récemment avec le développement de la syntaxe. Plus précisément, nous nous proposons ici d'explorer l'hypothèse selon laquelle la mémoire de travail jouerait un rôle direct dans la production et la compréhension de phrases complexes. Ainsi Célia Jakubowicz formule-t-elle l'hypothèse selon laquelle le développement du langage est affecté par des contraintes développementales telles que les capacités de mémoire de travail « that are sensitive to the computational complexity of the derivation » (Jakubowicz, 2011 : 340 ; Jakubowicz & Tuller, 2008). Cette hypothèse nécessite tout d'abord de définir le concept de complexité computationnelle d'une phrase : comment mesurer/tester cette complexité ?

### 1.1 Complexité syntaxique

Afin d'expliquer les limitations syntaxiques observées chez les jeunes enfants mais aussi chez les enfants présentant un développement atypique du langage, Jakubowicz propose d'attribuer un degré de computation syntaxique élevé à certains éléments grammaticaux complexes, ce qui expliquerait l'omission ou l'évitement de ces éléments au cours du développement. Ainsi, la charge cognitive (ou computation) induite par la construction d'un énoncé va dépendre du nombre et de la nature des opérations syntaxiques nécessaires à l'élaboration de cet énoncé, suivant la métrique de complexité dérivationnelle suivante (Jakubowicz, 2005, 2011 ; Jakubowicz & Tuller, 2008) :

- *Fusionner un constituant  $x$   $n$  fois donne lieu à une dérivation moins complexe que fusionner un constituant  $x$   $(n+1)$  fois.* Autrement dit, plus la construction d'un énoncé implique de fusions (assemblages d'éléments grammaticaux), plus l'énoncé est complexe.
- *La fusion interne de  $x$  donne lieu à une dérivation moins complexe que la fusion interne de  $x + y$ .* La fusion interne correspond à un déplacement (ou mouvement) d'éléments grammaticaux. Elle implique la copie d'un élément dans une position autre que sa position initiale dans la structure ainsi que le remplacement de cet élément par une trace à l'endroit de la position initiale. Ainsi, plus la construction d'un énoncé implique d'éléments à déplacer, plus l'énoncé est complexe.

L'enchâssement d'une proposition à l'intérieur d'une autre proposition, même s'il n'entraîne pas nécessairement de fusion interne (comme le mouvement *wh* dans la formulation des questions par exemple), implique une accumulation d'opérations syntaxiques dont le nombre et la nature varient suivant le type de proposition enchâssée. Parmi ces opérations syntaxiques figurent la multiplication des fusions (internes ou non au VP suivant la nature de la subordonnée), la présence (visible ou non) d'un complémenteur, l'ajout de flexions verbales ainsi que des dépendances morphologiques inhérentes à la concordance des temps (Tuller et al., 2006 ; Hamann et al., 2007 ; Delage, 2008 ; Jakubowicz & Tuller, 2008). De plus, par définition, les propositions enchâssées comportent une structure plus profonde que les énoncés simples. Enfin, chaque opération ayant un coût en termes de poids de traitement, lorsque celles-ci sont plus nombreuses ou impliquent un enchâssement profond, la complexité est plus importante. Il est donc logique de supposer que l'enchâssement de subordonnées à l'intérieur même d'autres subordonnées augmente le coût de la computation syntaxique par l'enchâssement plus profond qu'il entraîne. Les exemples suivants illustrent l'accroissement de la complexité d'un énoncé du fait de l'augmentation des opérations de fusions, comprenant notamment des enchâssements multiples.

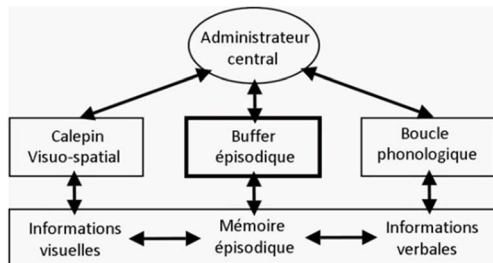
- $DP$ [Un cadeau !]
- $IP$ [Jean veut un cadeau]
- $IP$ [Je pense  $CP$ [que Jean veut un cadeau]]
- $IP$ [Vous imaginez  $CP$ [que je pense  $CP$ [que Jean veut un cadeau]]]

Ces considérations permettent d'attribuer un degré de complexité syntaxique élevé aux énoncés contenant un enchâssement ; ce degré de complexité influence l'acquisition de la syntaxe chez l'enfant puisque les énoncés les plus complexes sont justement ceux qui sont maîtrisés plus tardivement dans le développement typique. Après 6-7 ans, plus que l'apparition de nouvelles structures (déjà quasi toutes maîtrisées), on assiste davantage à une augmentation progressive de la complexité des énoncés, avec notamment un degré d'enchâssement plus profond (Delage, 2008). Ainsi, parmi d'autres, Hass & Wepman (1974) ont souligné la présence d'un effet d'âge significatif sur le taux de subordination mesuré à partir d'échantillons de langage spontané dirigé (récit) chez 167 enfants anglophones entre les âges de 3 et 13 ans (voir aussi Loban, 1976 ; Leadholm & Miller, 1992 ; Scott, 2003 ; Reilly et al., 2004 ou Hamann et al., 2007 qui montrent la même progression avec l'âge de la production d'énoncés complexes). Suivant notamment Jakubowicz (2005, 2011), nous postulons l'hypothèse d'un lien direct entre cette progression dans l'utilisation de la syntaxe complexe et le développement des capacités de mémoire de travail.

## 1.2 Mémoire de travail

Baddeley (1993) définit la mémoire de travail comme un système de maintien temporaire et de manipulation de l'information nécessaire à la réalisation de tâches cognitives complexes liées à l'apprentissage, le raisonnement et la compréhension du langage. Même s'il reste discuté (notamment par les adeptes des conceptions unitaires de la mémoire de travail comme Cowan, 1988 ou Conway & Engle, 1994), le modèle tripartite de la mémoire de travail de Baddeley & Hitch (1974), à composants multiples, reste le modèle le plus influent en psycholinguistique. Ce modèle intègre un système de contrôle attentionnel, l'administrateur central et deux sous-systèmes esclaves : la boucle phonologique qui stocke et manipule les informations acoustiques et verbales et le calepin visuo-spatial qui stocke et manipule les informations visuelles et spatiales. En 2000, Baddeley ajoute une quatrième composante au modèle : le buffer épisodique qui fonctionne comme une interface entre le travail des deux systèmes esclaves et l'activation des informations contenues en mémoire à long terme ; il est également contrôlé par l'administrateur central qui récupère régulièrement des informations au sein de ce buffer (cf. figure 1).

Figure 1. Modèle de la mémoire de travail à composants multiples (Baddeley, 2000)



La capacité de la boucle phonologique est évaluée par des tâches d'empan simples sur du matériel verbal (Barrouillet et Camos, 2007). Ces tâches requièrent un simple maintien de l'information verbale (empan de chiffres endroit, empan de mots et non-mots). La répétition de non-mots est l'une des tâches les plus fréquemment utilisées en clinique comme en recherche : *“Non-word repetition is considered to be a relatively pure measure of the capacity of the component of the working memory system known as the phonological loop”* (Hansson et al., 2007 : 310). Les empan simples progressent fortement avec l'âge, principalement entre deux et neuf ans pour atteindre des valeurs adultes à l'adolescence (Miller, 1956) ; Barrouillet & Camos (2007) évoquent aussi un développement beaucoup plus lent de ces empan simples après l'âge de neuf ans. Les capacités de l'administrateur central, associé à l'un des deux systèmes esclaves, sont mesurées avec des tâches d'empan complexes requérant en plus du stockage de l'information une activité concurrente telle que lire des phrases, dénombrer des collections ou bien encore résoudre des opérations (Barrouillet & Camos, 2007). Rentrent dans cette catégorie l'empan de chiffres envers (ou « à rebours »), les tâches de *listening span* ou bien encore celles de *reading span* (Daneman & Carpenter, 1980). L'augmentation des empan complexes avec l'âge apparaît plus linéaire que celle des empan simples (Siegel, 1994 ; Barrouillet & Camos, 2007). Utilisant les tâches d'empan de chiffres envers, de *listening span* et de *counting span* (ou empan de comptage, Case et al., 1982, épreuve que nous présentons en section 2.2), Gathercole et al. (2004) rapportent ainsi l'augmentation linéaire des empan complexes chez des enfants entre les âges de 6 et 14 ans avec une stabilisation entre 14 et 15 ans.

### 1.3 Syntaxe et mémoire de travail

Cet accroissement avec l'âge des capacités de mémoire de travail permettrait à l'enfant d'effectuer un nombre d'opérations plus important pour traiter un énoncé, et donc de produire et de comprendre davantage de phrases complexes. Suivant la théorie avancée par Gibson chez l'adulte (1998), le traitement des phrases complexes dépendrait fortement des capacités de mémoire de travail : face à une structure complexe, nous traiterions au fur et à mesure les éléments entendus ou lus en anticipant une structure syntaxique adéquate, répondant aux règles de la grammaire cible. Puis nous devrions recalculer ou réévaluer ces traitements en avançant dans la phrase. Pour ce faire, il nous serait essentiel de garder disponibles les informations récoltées lors des premiers traitements pour les mettre ensuite à jour. Les performances en compréhension de phrases complexes seraient donc directement dépendantes des ressources mnésiques disponibles pour effectuer les traitements et réajustements nécessaires. Cette théorie se rapproche très fortement de celle de Jakobowicz (suivie par exemple par Grüter, 2006) qui l'applique chez l'enfant, essentiellement en production. Dans ce cadre théorique, les jeunes enfants, qui ne présentent pas le même niveau de complexité syntaxique qu'un adulte, n'ont pas une grammaire immature ou incomplète, mais plutôt des limitations dans les facteurs de performance qui interagissent avec le langage et sont nécessaires à la computation syntaxique. Dans l'optique d'une limitation des ressources de mémoire de travail, la complexité syntaxique de certains aspects du français (comme l'enchâssement, mais aussi les pronoms clitiques accusatifs qui font partie des acquisitions tardives, cf. Tuller et al., 2011) placerait un « fardeau » (en d'autres mots, constituerait une surcharge) sur une mémoire de travail encore en construction. Cette limitation disparaîtrait avec la maturation normale de la mémoire de travail (et donc avec l'augmentation des empan simples et complexes), libérant les

ressources nécessaires au traitement des phrases complexes. Jakubowicz précise également que cette limitation resterait présente dans le développement atypique du langage, et plus précisément chez les enfants présentant un trouble spécifique du langage (Jakubowicz & Tuller, 2008), ce qui ne rendrait d'ailleurs plus ce trouble si « spécifique au langage ». Des recherches antérieures ont déjà exploré la relation entre mémoire de travail et développement syntaxique. Ainsi, Adams & Gathercole (2000) soutiennent, sur la base d'une étude utilisant des tâches d'empans de mots et de pseudo-mots (avec rappel verbal ou non-verbal) ainsi qu'une analyse de langage spontané, que les enfants de 3 à 5 ans dotés d'une boucle phonologique plus performante produisent des phrases plus longues et plus complexes que les enfants avec une boucle phonologique moins performante. En répétition de phrases, les résultats de Willis & Gathercole (2001) indiquent que les enfants âgés de 4-5 ans présentant des capacités plus faibles au niveau de la boucle phonologique (testée avec les empans simples de répétition de chiffres endroit et de répétition de non-mots) répètent significativement moins de phrases complexes correctes comparativement aux enfants présentant de meilleures performances aux empans simples. Les résultats obtenus par Montgomery et al. (2008) chez des enfants de 6 à 12 ans nous intéressent tout particulièrement car ces auteurs ont comparé le rôle des empans simples (évalués via une épreuve de répétition de pseudo-mots) et celui des empans complexes (évalués via une tâche de *listening span*) sur les performances en compréhension de phrases complexes. Les analyses de corrélations indiquent qu'il y a un lien entre la compréhension de phrases complexes et les empans complexes. Une analyse de régression montre même que ces empans expliquent 30% de la variance des scores obtenus en compréhension syntaxique, résultat qui n'est pas retrouvé pour les empans simples. Notre présente étude est très proche de celle de ces auteurs dans le sens où nous recherchons la part de contribution des empans simples et complexes sur les performances en complexité syntaxique. Cependant, nous abordons cette problématique sous les angles non seulement de la compréhension d'énoncés complexes, mais aussi de la répétition et de la production spontanée de ces énoncés. Nous avons de plus caractérisé cette dite complexité en variant les degrés de complexité des phrases à traiter. L'ensemble de nos tâches est présenté dans la section suivante.

## 2 Méthodologie

### 2.1 Participants

Notre échantillon est composé de 48 enfants âgés de 5;2 ans à 12;9 ans (âge moyen = 9;0 ans ; écart-type = 2;4 ans). Nous avons constitué trois groupes d'âge distincts, détaillés dans le tableau 1 ci-dessous. Tous les sujets sont de langue maternelle française, monolingues et n'ont jamais été suivis pour des troubles du langage.

Tableau 1. Données des groupes expérimentaux

Groupes d'âge (ans)	Nombre	Âge moyen (ans;mois)	Ecart-type (ans;mois)	Sexe
5-6	16	6;0	0;5	9 F et 7 G
8-9	16	9;1	0;5	8 F et 8 G
11-12	16	11;10	0;6	8 F et 8 G

Une population de 20 jeunes adultes (18 femmes et 2 hommes, âge moyen = 20;7 ans ; écart-type = 1;8 ans) francophones monolingues ont également passé les différentes épreuves évaluant la mémoire de travail. Ces données nous permettent, en comparaison avec celles des enfants les plus âgés, d'établir s'il y a encore une évolution développementale des empans simples et complexes après l'âge de 11-12 ans.

## 2.2 Matériel et procédure

Afin d'évaluer les performances en mémoire de travail verbale, nous avons utilisé des tâches d'empans simples et des tâches d'empans complexes. Des critères d'arrêt sont prévus pour l'ensemble de ces épreuves (après deux à trois échecs consécutifs suivant les tâches). Les **tâches d'empans simples** sont les suivantes :

- Empan de chiffres endroit (WISC IV, Weschler, 2005)
- Empan de mots : *la course des animaux* (Majerus et al., 2006, Majerus, 2008). Cette tâche de mémoire sérielle<sup>2</sup> consiste à écouter une énumération d'animaux ayant participé à une course puis à replacer les images représentant ces animaux sur un podium, du premier arrivé au dernier.
- Répétition de pseudo-mots (BELEC, Mousty et al., 1994). Cette tâche est constituée de 40 logatomes de longueur et de complexité phonologique croissantes (structures Consonne-Voyelle et Consonne-Voyelle-Consonne, d'une à cinq syllabes, ex : *moga, juséga, kragrinblan, paniléfèvu, praublifrouklébro*)

Trois **tâches d'empans complexes** font intervenir un double traitement :

- Empan de chiffres envers (WISC IV, Weschler, 2005)
- *Counting span* (empan de comptage, Case et al., 1982). Dans cette tâche, on présente à l'enfant un classeur dans lequel chaque page comporte un nombre différent de points rouges et bleus. L'enfant doit compter sur chaque page le nombre de points rouges, puis, après n pages (chiffre qui augmente progressivement), il doit rappeler le chiffre retenu pour chaque page dans l'ordre de présentation.
- *Running span* (Pross et al., 2008). Cette épreuve permet d'évaluer la taille du focus attentionnel et la mise à jour de la mémoire de travail (hors stratégie de maintien, comme la répétition subvocale). L'enfant entend une liste de mots monosyllabiques (ex : *peau, fil, date, peur, ski, noix*) dont il ignore le nombre ; il a pour consigne de restituer dans l'ordre les deux, trois ou quatre derniers mots entendus lorsque l'expérimentateur interrompt son énumération.

La **syntaxe** a été évaluée en répétition, compréhension et production de phrases complexes :

- Répétition de phrases complexes (Delage, version expérimentale). L'enfant doit répéter des énoncés dans lesquels la complexité des structures syntaxiques, impliquant des subordinées relatives, varie (ex : « *Voilà une petite fille que je connais depuis longtemps* » ; « *La dame regarde le garçon qu'elle a invité chez elle* » ; « *Je crois qu'il dit que l'ours mord le chien que promène la fille* »). L'énoncé répété est considéré comme correct si la structure visée est produite (ex : une relative objet avec inversion sujet-verbe : *que promène la fille*) avec le degré d'enchâssement attendu (ici, un niveau 3 : *Je crois [qu'il dit [que l'ours mord le chien [que promène la fille]]]*). L'épreuve est constituée de 8 phrases contrôles (sans enchâssement) et de 16 phrases complexes, toutes de longueur égale (14 syllabes par phrase).
- Compréhension de phrases complexes (ECOSSE, Lecocq, 1996). Dans cette épreuve standardisée que nous avons raccourcie de moitié (ne gardant que les énoncés complexes), l'enfant doit désigner l'image correspondant à un énoncé entendu. Les énoncés sont regroupés en blocs de complexité syntaxique graduelle (ex : *La vache que le chien poursuit est marron ; Le cercle dans lequel il y a une étoile est rouge*).
- Analyse syntaxique d'échantillons de langage spontané. A partir d'un recueil de langage spontané constitué d'une soixantaine d'énoncés par enfant, nous avons procédé aux mesures suivantes : longueur moyenne des énoncés ou 'LME' (nombre total de mots / nombre total d'énoncés), taux de subordination (nombre de subordinées / nombre d'énoncés verbaux) et taux d'enchâssement profond (nombre de subordinées enchâssées dans une autre subordinée / nombre d'énoncés verbaux). L'exemple suivant illustre un enchâssement profond produit par un enfant de 12 ans : « *et puis enfin y a [PR] les animaux qui peuvent parler [SUB1] parce que dans leur réseau au départ on leur a donné [SUB2] une petite machine qui leur permet [SUB3] de parler [SUB4] [NF]* » (PR = proposition

principale ; SUB = proposition subordonnée ; NF = proposition non-finie ; 1-2-3-4 = degré d'enchâssement de la subordonnée).

Enfin, l'épreuve des matrices progressives colorées de Raven (Raven et al., 1998) nous a permis de tester le **raisonnement non-verbal** des participants<sup>3</sup>.

Pour l'analyse des résultats, nous avons calculé des scores composites (sur la base des scores centrés réduits) pour les empanns simples et pour les empanns complexes à partir des données obtenues aux épreuves évaluant respectivement chaque domaine<sup>4</sup>. Les mesures retenues sont synthétisées dans le tableau 2.

Tableau 2. Liste des tâches et des mesures retenues

Domaines	Epreuves	Mesures retenues
<b>Empans simples</b> (=boucle phonologique)	Empan de chiffres endroit	Nombre d'items réussis
	Empan de mots	Nombre de séquences réussies
	Répétition de pseudo-mots	Nombre de syllabes correctement répétées
<b>Empans complexes</b> (=boucle phonologique +administrateur central)	Empan de chiffres envers	Nombre d'items réussis
	<i>Counting span</i>	Nombre de rappels corrects
	<i>Running span</i>	Score global
<b>Syntaxe</b>	Répétition de phrases complexes	Respect de la structure et de l'enchâssement
	Compréhension de phrases complexes	Nombre total de réponses correctes
	Analyse syntaxique d'échantillons de langage spontané	Longueur moyenne d'énoncés (LME) Taux de subordination Taux d'enchâssement profond
<b>Raisonnement non-verbal</b>	Matrices progressives	Nombre de réponses correctes

## 2.3 Problématique

### 2.3.1 Hypothèses générales

Nous postulons en premier lieu que l'ensemble des performances obtenues par les enfants aux différentes épreuves évaluant la mémoire de travail et la syntaxe complexe devrait augmenter significativement avec l'âge. En ce qui concerne plus précisément la mémoire, nous nous attendons à ce que l'évolution des empanns simples soit plus importante entre les âges de 5-6 ans et 8-9 ans qu'entre 8-9 ans et 11-12 ans. En effet, Barrouillet et Camos (2007) relèvent dans leur revue de littérature que les empanns simples verbaux

augmentent principalement entre 2 et 9 ans alors que les empan complexes suivent un développement plus régulier jusqu'à la fin de l'adolescence.

Notre **hypothèse principale** postule ensuite qu'il existe un **lien entre les capacités en mémoire de travail et les performances syntaxiques**. Nous devrions ainsi observer des corrélations significatives fortes entre les scores obtenus aux tâches d'empan simples et complexes et ceux aux tâches testant la complexité syntaxique. Selon Jakubowicz (Jakubowicz & Tuller, 2008), les capacités de mémoire de travail prédiraient directement les compétences syntaxiques des enfants. Nous chercherons à démontrer cette **relation prédictive** au sein de nos analyses de régression multiple, c'est-à-dire que les scores des épreuves mnésiques devraient expliquer une part de variance significative des scores aux épreuves évaluant la complexité syntaxique. Jakubowicz n'a toutefois pas précisé dans sa théorie quelle composante de la mémoire de travail devrait spécifiquement prédire les compétences syntaxiques des enfants, autrement dit si les empan simples ou complexes concourraient de manière égale ou non à l'amélioration des compétences syntaxiques. Si nous nous appuyons sur les travaux de Montgomery et al. (2008), nous nous attendons à observer davantage la participation des empan complexes que celle des empan simples. Pour rappel, ces auteurs avaient en effet démontré que les épreuves d'empan complexes (évaluées à l'aide du *listening span*) prédisaient une part de variance significative des capacités en compréhension syntaxique d'enfants âgés de 6 à 12 ans, ce qui n'était pas le cas des tâches d'empan simples (évalués via une tâche de répétition de non-mots), et ce chez les enfants tout-venant comme chez les enfants présentant un trouble spécifique du langage oral (Montgomery & Evans, 2009).

### 2.3.2 Hypothèses spécifiques

Nous nous intéresserons ensuite, dans des analyses supplémentaires, au statut et à la pertinence des tâches d'empan complexes que nous avons utilisées. Le *counting span* est clairement une tâche qui exige un stockage et un traitement interférent précédant le rappel ; en revanche, l'empan de chiffres envers et le *running span* sont d'une nature quelque peu différente. St-Clair Thompson (2010) s'est déjà interrogée sur la nature réelle de la tâche d'empan de chiffres envers. Certes cette tâche diffère d'une tâche d'empan simples par la transformation de l'ordre des chiffres à rappeler et donc par la présence d'un traitement supplémentaire, mais elle se différencie également des tâches d'empan complexes (comme le *counting span*) car tous les items à rappeler sont présentés de manière successive, sans tâche interférente entre les items. St-Clair Thompson a comparé la part explicative de cette tâche sur d'autres tâches d'empan simples (empan de mots et de chiffres endroit) et complexes (*reading span* et *counting span*) chez des enfants de 7 ans et des adultes. Les résultats montraient que l'épreuve d'empan de chiffres envers prédisait les autres résultats d'empan complexes chez les enfants alors qu'elle prédisait les résultats des empan simples chez les adultes. La même tâche pouvait donc impliquer différents mécanismes selon le niveau cognitif des sujets. Nous procéderons au même type d'analyse afin de confirmer ou de relativiser le statut d'empan complexe de cette tâche pourtant très utilisée en clinique pour l'évaluation de la mémoire de travail. Nous nous interrogerons également sur le statut du *running span* qui n'implique pas non plus de traitement interférent à proprement parler, mais davantage une mise à jour des informations stockées afin de ne rappeler que les deux, trois ou quatre derniers mots d'une liste (Pross et al., 2008). Nous émettons l'hypothèse selon laquelle ces deux tâches (empan envers et *running span*) auront une valeur prédictive moins forte que le *counting span* sur les performances en syntaxe, de par leur statut intermédiaire entre empan simples et empan complexes.

Dans un second temps, nous porterons plus spécifiquement notre attention sur l'épreuve de répétition de phrases complexes. Si nous observons effectivement un lien prédictif entre les empan simples et/ou complexes et les résultats obtenus à cette épreuve, nous pourrions pousser plus loin l'analyse en manipulant davantage le degré de complexité syntaxique. En effet, les phrases complexes construites pour cette épreuve varient en termes de degré d'enchâssement. Si les phrases les plus complexes nécessitent un traitement plus important, il serait possible d'observer une implication plus forte des empan complexes pour ces phrases comparativement aux phrases comportant un degré de complexité moindre. De cette manière, nous pourrions mettre davantage en évidence des performances directement reliées à la complexité syntaxique des phrases à répéter.

### 3 Résultats

#### 3.1 Données descriptives

Le tableau 3 présente les moyennes et les écarts-types des performances des trois groupes d'âge aux épreuves évaluant les empan simples et les empan complexes. Les résultats des adultes aux mêmes tâches ont été ajoutés au sein de ce tableau, à titre comparatif. Les scores maximaux pour chaque épreuve sont les suivants : 16 pour l'empan de chiffres endroit ; 81 pour l'empan de mots ; 120 pour la répétition de pseudo-mots ; 16 pour l'empan de chiffres envers ; 81 pour le *counting span* ; 12 pour le *running span*.

Tableau 3. Moyennes (M) et écarts-types (ET) pour l'ensemble des scores de mémoire

		5-6		8-9		11-12		Adultes	
		M	ET	M	ET	M	ET	M	ET
<b>Empan simples</b>	Empan chiffres endroit	<b>5.9</b>	2	<b>7.8</b>	1.4	<b>9.1</b>	1.7	<b>10.8</b>	1.6
	Empan de mots	<b>25.7</b>	10.9	<b>36.9</b>	9	<b>47.7</b>	11.5	<b>56.7</b>	12.8
	Répétition de pseudo-mots	<b>98</b>	7.5	<b>101.4</b>	7	<b>105.2</b>	4.7	<b>103.6</b>	6.5
<b>Empan complexes</b>	Empan chiffres envers	<b>4.8</b>	1.2	<b>6.1</b>	1.2	<b>8.6</b>	2.2	<b>10.2</b>	2.3
	<i>Counting span</i>	<b>9.1</b>	4.1	<b>26.9</b>	15.2	<b>38.6</b>	16.1	<b>48.5</b>	15.3
	<i>Running span</i>	<b>3.9</b>	1.9	<b>5.6</b>	1	<b>6.3</b>	0.6	<b>7.5</b>	1.8

Le tableau 4 présente les moyennes et les écarts-types des performances des trois groupes d'âge pour les différentes mesures de syntaxe. Les scores maximaux sont les suivants : 15 pour la répétition de phrases complexes ; 44 pour la compréhension de phrases complexes. Les mesures de langage spontané ne présentent pas, pour des raisons évidentes, de notes maximales.

Tableau 4. Moyennes (M) et écarts-types (ET) pour l'ensemble des scores de syntaxe

	5-6		8-9		11-12	
	M	ET	M	ET	M	ET
Répétition de phrases complexes	<b>9.5</b>	3.2	<b>12.4</b>	2.3	<b>14.1</b>	1
Compréhension de phrases complexes	<b>34.5</b>	2.9	<b>38</b>	4.1	<b>41.1</b>	1.6
Longueur moyenne d'énoncés (LME)	<b>6.9</b>	0.9	<b>7.8</b>	0.9	<b>8.4</b>	1.1
Taux de subordination	<b>31.2</b>	9.4	<b>37.9</b>	13.7	<b>42.9</b>	12.3
Taux d'enchâssement profond	<b>4.4</b>	3.8	<b>6.4</b>	6.7	<b>10.2</b>	6.3

#### 3.2 Hypothèses générales

Comme attendu, les performances langagières et mnémoniques augmentent avec l'âge des enfants. Ainsi un effet d'âge significatif est observé pour les empan simples ( $F(2,45) = 17.7, p < .001$ ) et complexes ( $F(2,45) = 35.1, p < .001$ ), de même que pour l'ensemble des performances syntaxiques<sup>5</sup>. Afin de déterminer plus précisément les différences entre les groupes d'âge, nous avons procédé à des comparaisons inter-groupes, présentées dans le tableau 5. Les distributions des différentes variables n'étant pas similaires, nous avons procédé à ces analyses sur la base de notes centrées réduites. De plus, les seuils de significativité ont été corrigés à l'aide de la correction de Bonferroni, du fait de nos



comparaisons multiples (seuil corrigé à  $p < .017$ ). Il apparaît dès lors que les empanns simples, comme les empanns complexes, progressent significativement entre les trois groupes d'âge. Les mêmes résultats sont observés pour la répétition et la compréhension de phrases complexes ainsi que pour la longueur moyenne des énoncés. Quant aux autres mesures de complexité syntaxique en production spontanée, seules les mesures liées à l'enchaînement (i.e. taux de subordination et taux d'enchaînement profond) montrent une évolution plus lente puisqu'elles ne diffèrent pas significativement entre les groupes d'âge intermédiaires (5-6 vs. 8-9 ; 8-9 vs. 11-12), mais seulement entre les enfants les plus jeunes (5-6 ans) et les plus âgés (11-12 ans).

Tableau 5. Comparaison inter-groupes (tests t) pour l'ensemble des scores de mémoire et de syntaxe (Taux de significativité corrigé à  $p < .017$ )

	Groupes d'âge		
	5-6 vs 8-9	8-9 vs 11-12	5-6 vs 11-12
Empanns simples	<b>t(30) = -3.1, p &lt;.01</b>	<b>t(30) = -3, p &lt;.001</b>	<b>t(30) = -5.7, p &lt;.001</b>
Empanns complexes	<b>t(30) = -4.7, p &lt;.001</b>	<b>t(30) = -3.7, p &lt;.001</b>	<b>t(30) = -8.4, p &lt;.001</b>
Répétition de phrases complexes <sup>6</sup>	<b>t(29) = -2.9, p &lt;.01</b>	<b>t(30) = -2.6, p &lt;.017</b>	<b>t(29) = -5.4, p &lt;.001</b>
Compréhension de phrases complexes	<b>t(30) = -2.6, p &lt;.017</b>	<b>t(30) = -2.8, p &lt;.01</b>	<b>t(30) = -7.7, p &lt;.001</b>
LME	<b>t(30) = -2.8, p &lt;.01</b>	t(30) = -1.5, p = 0.13 ns	<b>t(30) = -4, p &lt;.001</b>
Taux de subordination	t(30) = -1.6, p = 0.11 ns	t(30) = -1.1, p = 0.3 ns	<b>t(30) = -3, p &lt;.01</b>
Taux d'enchaînement profond	t(30) = -1, p = 0.31 ns	t(30) = -1.7, p = 0.11 ns	<b>t(30) = -3.1, p &lt;.01</b>

A titre indicatif, des tests t ont également été effectués afin de comparer les performances mnésiques des enfants âgés de 11-12 ans et celles des adultes, et ce sur les six épreuves testant les empanns simples et complexes. L'ensemble de ces analyses montre des différences significatives entre ces deux groupes, excepté pour la répétition de pseudo-mots et le *counting span*<sup>7</sup>. Notons cependant que la différence observée pour le *counting span* approche du seuil de significativité ( $p = 0.07$ ).

Observant maintenant les liens existant entre d'une part les empanns simples et complexes et d'autre part l'ensemble des variables de complexité syntaxique, nous avons procédé à des analyses corrélationnelles (R de Pearson), présentées dans le tableau 6. Ces analyses révèlent que les empanns simples et complexes corrélaient avec toutes les mesures de complexité syntaxique, quelle que soit leur modalité (répétition/compréhension/production).

Tableau 6. Corrélations entre les épreuves mnésiques et les épreuves évaluant la syntaxe complexe

	Répétition de phrases complexes	Compréhension de phrases complexes	LME	Taux de subordination	Taux d'enchaînement profond
<b>Empanns simples</b>	<b>.71***</b>	<b>.66***</b>	<b>.33*</b>	<b>.31*</b>	<b>.29*</b>
<b>Empanns complexes</b>	<b>.59***</b>	<b>.71***</b>	<b>.56***</b>	<b>.42**</b>	<b>.44**</b>

\*\*\*p <.001 ; \*\*p <.01 ; \*p <.05

Des corrélations partielles ont également été effectuées afin de s'assurer que le niveau non-verbal des sujets n'influence pas significativement les résultats précédents. Dans ce but, nous avons donc contrôlé la variable des matrices progressives de Raven en « ôtant » des analyses la part de variance expliquée par le raisonnement non-verbal. Les résultats de ces corrélations partielles sont présentés dans le tableau 7. Il apparaît qu'une majorité des corrélations obtenues précédemment reste significative. Seules les mesures de langage spontané ne sont plus corrélées avec les empanns simples. Pour les empanns complexes, toutes les corrélations restent significatives, mis à part la mesure du taux de subordination pour laquelle on approche tout de même du seuil de significativité ( $p = 0.07$ ).

Tableau 7. Corrélations partielles entre les épreuves mnésiques et les épreuves évaluant la syntaxe complexe (variable 'raisonnement non-verbal' contrôlée)

	Répétition de phrases complexes	Compréhension de phrases complexes	LME	Taux de subordination	Taux d'enchâssement profond
<b>Empanns simples</b>	<b>.56***</b>	<b>.41**</b>	.09	.15	.13
<b>Empanns complexes</b>	<b>.29*</b>	<b>.42**</b>	<b>.40**</b>	.27	<b>.34*</b>

\*\*\* $p < .001$  ; \*\* $p < .01$  ; \* $p < .05$

Ces analyses corrélationnelles nous permettent donc d'établir un lien certain entre les empanns simples et complexes et les performances syntaxiques des enfants. Elles ne nous permettent pas toutefois de définir précisément la relation unissant ces deux domaines : s'agit-il d'une relation prédictive comme nous le postulons ? Afin de déterminer si les scores mnésiques (empanns simples ou complexes) prédisent les compétences syntaxiques, nous avons procédé à des analyses de régression linéaire multiple pas-à-pas ascendantes<sup>8</sup>. Une analyse a été effectuée pour chaque score de complexité syntaxique inséré dans le calcul comme variable dépendante. Pour chaque analyse, nous avons choisi comme prédicteurs les scores composites des empanns simples et complexes. Nous avons chaque fois ajouté le score obtenu aux matrices de Raven également comme prédicteur possible, afin de vérifier que ce score ne prédise pas significativement les compétences syntaxiques. L'ensemble de ces variables est présenté dans le tableau 8. L'objectif de cette analyse est de dégager la part de variance expliquée respectivement et indépendamment par les différents prédicteurs sur les résultats obtenus en syntaxe (=réponses). Afin d'explorer si l'interaction entre prédicteurs explique également une part de variance des réponses, nous avons entré dans l'analyse de régression les prédicteurs d'interaction suivants :

- pour les effets d'interaction de 1<sup>er</sup> ordre : empanns simples X empanns complexes ; empanns simples X niveau de raisonnement non-verbal ; empanns complexes X niveau de raisonnement non-verbal.
- pour les effets d'interaction de 2<sup>nd</sup> ordre : empanns simples X empanns complexes X niveau de raisonnement non-verbal

Tableau 8. Liste des prédicteurs (VI) et des réponses (VD) entrés dans les équations de régression

Prédicteurs (VI)	Réponses (VD)
<b>Empans simples</b>	1) Répétition de phrases complexes
<b>Empans complexes</b>	2) Compréhension de phrases complexes
<b>Niveau de raisonnement non-verbal</b>	3) LME
<b>+ Prédicteurs d'interaction de 1<sup>er</sup> et 2<sup>nd</sup> ordre</b>	4) Taux de subordination
	5) Taux d'enchâssement profond

Le score composite des empans complexes prédit significativement 49% de la variance des scores en compréhension syntaxique et, en production spontanée, 30% de la variance de la LME, 16% de la variance du taux de subordination ainsi que 18% de la variance du taux d'enchâssement profond. Le score composite des empans simples ne prédit quant à lui que les performances en répétition de phrases complexes, à hauteur de 50%. Le raisonnement non-verbal n'apparaît qu'une fois, à la seconde étape, pour la compréhension de phrases complexes : il ajoute 4% de variance expliquée à cette épreuve. Il faut enfin noter que les prédicteurs d'interaction n'apparaissent jamais dans les résultats. Ces différents résultats sont présentés dans le tableau 9.

Tableau 9. Analyses de régression pas-à-pas ascendantes

VD : Compréhension de phrases complexes						
	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajusté	Erreur-type	F(ddl1,ddl2)	p
Score composite <b>empans complexes</b>	.71	.50	<b>.49</b>	2.85	45.84 (1,45)	<.001
<b>Raisonnement non verbal</b>	.74	.55	<b>.53</b>	2.75	26.68 (2,44)	<.001
VD : Longueur Moyenne d'Enoncés (LME)						
	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajusté	Erreur-type	F(ddl1,ddl2)	p
Score composite <b>empans complexes</b>	.56	.32	<b>.30</b>	0.95	21.0 (1,45)	<.001
VD : Taux de subordination						
	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajusté	Erreur-type	F(ddl1,ddl2)	p
Score composite <b>empans complexes</b>	.42	.17	<b>.16</b>	11.61	9.51 (1,45)	<.01
VD : Taux d'enchâssement profond						
	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajusté	Erreur-type	F(ddl1,ddl2)	p
Score composite <b>empans complexes</b>	.44	.20	<b>.18</b>	5.61	11.04 (1,45)	<.01
VD : Répétition de phrases complexes						
	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajusté	Erreur-type	F(ddl1,ddl2)	p
Score composite <b>empans simples</b>	.71	.51	<b>.50</b>	2.09	46.38 (1,45)	<.001

Au sein des différentes épreuves que regroupent les empan simples et complexes, il nous semblait intéressant de voir si une épreuve expliquait davantage que les autres les performances syntaxiques des enfants. Ainsi, nous avons réitéré les analyses de régression présentées ci-dessus en entrant comme prédicteurs les six épreuves de mémoire de travail (toujours associées aux matrices évaluant le raisonnement non-verbal). C'est le *counting span*—appartenant aux tâches d'empan complexes—qui ressort comme étant l'épreuve la plus forte au niveau de la part de variance expliquée. En effet, les résultats obtenus à cette épreuve expliquent à eux seuls 44% de la variance des performances obtenues en compréhension de phrases complexes, 30% de la LME, 22% du taux de subordination et 23% du taux d'enchâssement profond. Le *running span* n'apparaît qu'une fois, à la deuxième étape de l'analyse, pour la compréhension de phrases complexes : à eux deux, le *counting span* et le *running span* expliquent alors 54% de la variance à cette épreuve. L'empan de chiffres envers n'apparaît jamais comme prédicteur dans ces analyses. Quant aux trois épreuves que regroupent les empan simples, l'empan de chiffres endroit associé à l'empan de mots expliquent ensemble 49% de la variance des performances en répétition de phrases complexes. La répétition de non-mots n'apparaît jamais comme prédicteur dans ces analyses. Notons enfin que les matrices de Raven ne ressortent jamais non plus comme prédicteurs des performances syntaxiques. Ainsi nous pouvons nous assurer que le raisonnement non-verbal n'explique pas, en tous cas pas de manière significative, les performances syntaxiques obtenues par nos sujets.

### 3.3 Hypothèses spécifiques

Nous avons émis l'hypothèse qu'au sein des empan complexes, l'empan de chiffres envers et le *running span* auraient une valeur prédictive moins forte que l'épreuve du *counting span*. Effectivement nous avons déjà souligné que l'épreuve d'empan de chiffres envers n'apparaissait jamais comme variable prédictive dans les analyses de régression effectuées. Cela interroge quant à la pertinence de cette épreuve dans l'évaluation des empan complexes, et ce alors même qu'elle est très souvent utilisée en clinique pour l'évaluation isolée des empan complexes. Suivant St-Clair Thompson (2010), nous avons recherché la part explicative de cette tâche (considérée dès lors comme un prédicteur) sur les autres tâches d'empan simples et complexes (considérées comme des réponses = VD). Il apparaît que l'empan de chiffres envers ne prédit pas les résultats aux autres épreuves d'empan complexes, mais uniquement les résultats à la tâche d'empan de chiffres endroit (= tâche d'empan simple), à hauteur de 30% de variance expliquée ; le tableau 10 détaille ce résultat.

Tableau 10. Analyse de régression pas-à-pas ascendante

	VD : Empan de chiffres endroit					
	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajusté	Erreur-type	F(ddl1,ddl2)	p
<b>Empan de chiffres envers</b>	.56	.31	<b>.30</b>	1.81	21.07 (1,46)	<.001

Nous notons également que notre seconde tâche d'empan complexes, le *running span*, n'apparaît qu'une fois dans les analyses de régression (et n'explique au total que très peu de variance des scores en compréhension syntaxique). Nous avons réalisé la même analyse que précédemment, à savoir une analyse de régression avec comme prédicteurs les résultats au *running span* et comme réponses les cinq autres mesures de mémoire. Il apparaît que le *running span* ne prédit pas les autres épreuves d'empan complexes, mais uniquement les résultats à la tâche d'empan de mots (= tâche d'empan simple), à hauteur de 23% de variance expliquée (cf. tableau 11).

Tableau 11. Analyse de régression pas-à-pas ascendante

VD : <i>Empan de mots</i>						
	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajusté	Erreur-type	F(ddl1,ddl2)	p
<b><i>Running span</i></b>	.50	.25	<b>.23</b>	12.03	15.46 (1,46)	<.001

Nous avons ensuite postulé qu'une analyse plus fine des résultats à l'épreuve de répétition de phrases complexes permettrait de mieux démontrer le rôle des empan complexes pour les phrases comportant un degré de complexité syntaxique plus élevé. Afin de clarifier cette question, nous avons procédé à des analyses supplémentaires de régression linéaire multiple en dissociant les phrases complexes présentant un degré d'enchâssement égal à 1 (ex : *c'est un garçon [qui mange une glace au chocolat au lait]* de celles de niveau 3 (ex : *il pense [qu'elle dit [que le garçon déteste la fille [qui pleure]]]*). Les résultats sont présentés dans le tableau 12. Ici encore, le score composite des empan simples explique une part importante et significative de la variance des scores obtenus en répétition de phrases complexes, quel que soit leur degré d'enchâssement. Il est intéressant de noter cependant que les empan complexes apparaissent également comme variable prédictive pour les phrases contenant un degré d'enchâssement profond (égal à 3). Cependant la part de variance explicative est faible (3% de variance expliquée supplémentaire s'ajoutant à la part des empan simples) et le résultat n'est pas significatif, bien qu'il soit très proche du seuil de significativité ( $p = 0.05$ ).

Tableau 12. Analyses de régression pas-à-pas ascendantes

VD : répétition d'énoncés complexes avec un degré d'enchâssement égal à 1						
	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajusté	Erreur-type	F(ddl1,ddl2)	p
Score composite <b>empan simples</b>	.65	.42	<b>.40</b>	0.97	32.96 (1,46)	<.01
VD : répétition d'énoncés complexes avec un degré d'enchâssement égal à 3						
	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajusté	Erreur-type	F(ddl1,ddl2)	p
Score composite <b>empan simples</b>	.69	.47	<b>.46</b>	0.83	40.87 (1,46)	<.001
Score composite <b>empan complexes</b>	.71	.51	<b>.49</b>	0.80	23.53 (2,45)	= 0.05

## 4 Discussion

### 4.1 Interprétation des résultats

Si nous reprenons notre première hypothèse, liée à l'augmentation avec l'âge des performances en mémoire de travail et en syntaxe, nous avons effectivement mis en évidence un effet d'âge significatif sur l'ensemble de nos mesures pour les deux domaines testés. Contrairement à nos attentes, l'augmentation des empan simples n'est pas moins importante que celle des empan complexes ; ainsi les résultats en mémoire de travail des deux groupes les plus âgés (8-9 ans et 11-12 ans) diffèrent significativement, pour les empan simples comme pour les empan complexes. Barrouillet & Camos (2007) évoquaient pourtant un « tassement » dans l'évolution des empan simples après l'âge de 9 ans, évolution qui s'opposait à celle, plus régulière, des empan complexes. Nos résultats soutiennent plutôt la continuité du développement des empan complexes comme des empan simples, au moins jusqu'à la préadolescence. L'émergence de la répétition subvocale, qui apparaît à l'âge de sept ans (Gathercole et al., 2004) et

permet de rafraîchir plus de mots avant leur disparition du stock phonologique, pourrait expliquer cette augmentation du niveau d'empan. De plus, la comparaison que nous avons effectuée entre le groupe des enfants de 11-12 ans et celui des adultes, sur les tâches d'empan simples et complexes, montre que les résultats de ces deux groupes diffèrent significativement pour deux des trois épreuves d'empan simples (empan de chiffres endroit et empan de mots). Pour ces deux tâches, les enfants de 11-12 ans n'auraient donc pas encore atteint un niveau plafond (estimé par le niveau atteint par les adultes) et les capacités de la boucle phonologique connaîtraient encore un accroissement durant l'adolescence.

Notre hypothèse principale postulait qu'il existait un lien fort entre l'augmentation avec l'âge des empan simples et complexes (constitutifs de la mémoire de travail) et l'amélioration du traitement des phrases complexes. Plus précisément, nous postulions un lien prédictif, les capacités de mémoire de travail expliquant une part de variance significative des performances syntaxiques obtenues par les enfants. Nos résultats semblent conforter cette hypothèse : tout d'abord les scores en mémoire de travail, tant au niveau des empan simples que complexes, corrèlent significativement avec l'ensemble des résultats obtenus aux épreuves de syntaxe. La plus grande partie de ces corrélations reste significative même en enlevant la part de variance due au raisonnement non-verbal, particulièrement pour les empan complexes. Aussi nous pouvons conclure que la mémoire de travail verbale, et plus précisément sa partie la plus complexe (regroupant la boucle phonologique et l'administrateur central), est bien liée au traitement des phrases complexes sans que ce lien ne semble expliqué par des différences plus générales d'efficacité cognitive. Mais nos résultats assurément les plus forts concernent les analyses de régression linéaire multiple. Le score composite des empan complexes explique en effet une part importante (et bien sûr significative) des résultats obtenus en compréhension et en répétition de phrases complexes : 49% pour la compréhension, 30% pour la longueur moyenne des énoncés, 16% pour le taux de subordination et 18% pour le taux d'enchaînement profond. Nous répliquons donc les résultats de Montgomery et al. (2008) sur la compréhension de phrases complexes ; quand aux résultats sur la production de phrases complexes en langage spontané, aucune autre étude à notre connaissance n'avait pour l'instant procédé à de telles analyses. Interpellés par ces résultats, nous avons procédé à la même analyse en considérant les résultats obtenus à chaque tâche de mémoire de travail et il s'est avéré que le *counting span* était en grande partie responsable de cet effet puisqu'il explique sensiblement les mêmes parts de variance que le score composite des empan complexes. Il apparaît même plus sensible à la complexité syntaxique en production puisqu'il explique 22% du taux de subordination et 23% du taux d'enchaînement profond, donc davantage de part explicative que le score composite des empan complexes. Dans des analyses supplémentaires, nous avons souhaité investiguer le lien entre cette épreuve et la complexité syntaxique en production spontanée en comparant les énoncés non-verbaux, les énoncés verbaux simples (sans enchaînement) et les énoncés complexes (contenant au moins un enchaînement). Les analyses corrélationnelles semblent appuyer la sensibilité du *counting span* à la production de phrases complexes. En effet, le score obtenu au *counting span* corrèle bien avec le taux d'énoncés complexes ( $r = .29$ ,  $p < .05$ ), mais pas avec le taux d'énoncés simples ( $p = 0.4$ ) ni avec celui des énoncés non-verbaux ( $p = 0.5$ ).

## 4.2 Pistes de réflexion sur les tâches utilisées

Une des originalités de ce travail reposait sur l'évaluation des empan complexes et sur le lien entre ces empan et les performances syntaxiques. En clinique, et plus particulièrement en orthophonie, les empan complexes sont testés via des tâches d'empan de chiffres envers. Or, comme nous l'avons vu, cette épreuve ne prédit pas les compétences syntaxiques des enfants. De plus, elle ne prédit pas les autres épreuves d'empan complexes, mais uniquement son « pendant simple », à savoir l'empan de chiffres endroit. Quant à l'épreuve de *running span*, elle ne semble pas non plus être une mesure à privilégier pour les empan complexes : n'expliquant que très peu de la variance expliquée en compréhension syntaxique, elle prédit uniquement les résultats à l'épreuve d'empan de mots, tâche d'empan simple qui ne nécessite pas de traitement concurrent entre stockage et rappel. Cette différence entre les tâches d'empan complexes laisse à penser que l'épreuve de *counting span*, qui nécessite un réel traitement interférent, serait donc une mesure plus pure des empan complexes, ce qui est cohérent avec nos résultats car cette

épreuve explique la très grande majorité de la variance des performances en production et compréhension de phrases complexes.

Quant à l'épreuve de répétition de phrases complexes, elle semble avoir un statut tout à fait particulier puisque les résultats obtenus par les enfants à cette tâche sont expliqués à hauteur de 50% par le score composite des empan simples (et plus particulièrement par les tâches d'empan de chiffres endroit et d'empan de mots). Ces résultats rejoignent ceux de Willis et Gathercole (2001) qui ont observé, chez des enfants de quatre et cinq ans, un lien entre les empan simples (testés via la répétition de pseudo-mots et l'empan de chiffres endroit) et la répétition de phrases, mais pas entre les empan simples et la compréhension de phrases. Ces auteurs concluent que la répétition de phrases est contrainte par les capacités de la boucle phonologique alors que la compréhension dépend davantage de représentations sémantiques temporaires. Nos résultats ne sont donc finalement pas si étonnants car l'épreuve de répétition en elle-même n'implique pas forcément un traitement syntaxique et il est envisageable que les enfants aient correctement répété les phrases sans pour autant traiter leur structure. Cela peut se vérifier avec l'exemple suivant dans lequel un enfant de 5;11 ans a obtenu une réponse correcte car il a respecté à la fois la structure cible (ici une relative objet) et le degré d'enchâssement (ici un triple enchâssement). Cependant, sa production diffère de la phrase cible et le sens initial est abandonné. Afin d'obtenir une mesure qui serait davantage reliée au traitement syntaxique des phrases à répéter, il aurait peut-être été judicieux de poser en plus une question à l'enfant sur le sens de la phrase (ex : *Qui lèche le chien ?*).

- Phase cible : Vous dites [qu'elle pense [que le cheval lèche le chien [qu'il préfère]]]?
- Phrase produite : Vous dites [qu'elle pense [qu'elle lèche le cheval [qu'elle préfère]]]

Enfin, nous avons montré qu'en sélectionnant uniquement les phrases les plus complexes, les empan complexes entrent dans l'équation de régression, comme prédicteurs des résultats en répétition de phrases. Même s'il n'explique que peu de variance explicative, ce résultat semble confirmer l'implication des empan complexes pour le traitement de la syntaxe complexe.

### 4.3 Conclusion et perspectives

En conclusion, nous avons montré que les capacités de mémoire de travail semblaient bien être prédictives des habiletés langagières en compréhension et en production d'énoncés complexes. Ces résultats soutiennent l'hypothèse, développée par Célia Jakubowicz, selon laquelle l'augmentation des capacités de mémoire de travail permet à l'enfant une maîtrise progressive des phrases complexes. Nous précisons même cette hypothèse en dégageant la part respective des empan simples et complexes dans cette relation de prédiction. En effet, les empan complexes verbaux (associant la boucle phonologique et l'administrateur central) semblent jouer un rôle majeur dans le traitement de la complexité syntaxique, qu'il s'agisse de production ou de compréhension. Les empan simples (donc la boucle phonologique) en revanche seraient davantage liés au simple stockage et rappel des informations verbales, y compris lorsqu'il s'agit de répéter des structures complexes. Enfin, nous avons relativisé le statut de la tâche d'empan de chiffres envers comme tâche d'empan complexe, puisqu'elle n'apparaît jamais comme variable prédictive dans nos mesures. A l'inverse, l'épreuve de *counting span* se révèle être la tâche par excellence reflétant les empan complexes : fortement corrélée aux épreuves de syntaxe et surtout expliquant la quasi-totalité des résultats en compréhension et production syntaxique, elle mériterait un statut beaucoup plus important dans l'évaluation clinique de la mémoire de travail.

Deux perspectives restent en suspens à l'issue de ce travail. Tout d'abord nous avons testé la relation de prédiction dans un sens (la mémoire de travail prédisant les résultats en complexité syntaxique), suivant les travaux dont nous sommes inspirés (Jakubowicz, 2007, 2011 ; Delage, 2008 ; Jakubowicz & Tuller, 2008), mais l'hypothèse d'un sens inverse ou plutôt réciproque n'est pas pour autant à exclure. En effet, Baddeley (2003) propose une réciprocity entre le langage et la mémoire de travail. Il suggère que les tâches d'empan simples tels que la répétition de pseudo-mots pourraient prédire le développement du vocabulaire chez les jeunes enfants de quatre ans, alors qu'à un âge plus avancé, le niveau de vocabulaire influencerait à son tour les performances en répétition de pseudo-mots. Dans la même optique, Majerus

(2008) affirme que « les connaissances langagières influencent la MCT (mémoire à court terme) verbale de façon très directe, automatique et invariante d'un point de vue de la trajectoire développementale » (p. 329). Enfin, Keren-Portnoy et al. (2010) ont montré chez de très jeunes enfants de deux ans que l'expérience linguistique, et particulièrement la familiarité avec les mots et leurs unités sous-lexicales, influait considérablement la construction de la boucle phonologique à cet âge. Cette interaction est également relevée par Rodrigues & Befi-Lopes (2009) dans leur revue de littérature sur les liens entre la boucle phonologique et le développement lexical et syntaxique<sup>9</sup>, mais là encore en ce qui concerne uniquement les empanns simples. A la lumière de ces différents constats, une co-construction développementale de la mémoire de travail et de la syntaxe ne serait donc pas surprenante. Encore inexplorée pour ce qui est des empanns complexes, cette piste reste donc ouverte.

Ensuite, nous rappelons que la théorie de Jakobowicz s'applique en premier lieu aux enfants présentant un trouble spécifique du langage oral (TSL). Dans cette optique, la limitation initiale des capacités de mémoire de travail qui disparaîtrait avec la maturation normale des systèmes de performance resterait présente dans le développement atypique du langage, ce qui expliquerait que les enfants avec TSL ne parviennent pas à un niveau adulte dans le traitement des phrases complexes. Des déficits (ou en tous cas une certaine immaturité) de la mémoire de travail ont déjà été mis en évidence chez des enfants avec TSL (voir par exemple Hansson et al., 2004 ; Archibald & Gathercole, 2007 ; Danahy et al., 2007 ; Leonard et al., 2007 ; Parisse & Mollier, 2008 ; Montgomery & Evans, 2009). Une étude semblable à la nôtre dans cette population permettrait de mieux comprendre l'impact de cette faiblesse de la mémoire de travail sur les compétences syntaxiques. Si la relation prédictive que nous avons mise en évidence chez des enfants tout-venant était également retrouvée chez des enfants avec TSL, cela permettrait d'envisager de nouvelles perspectives dans la prise en charge clinique de ces enfants, incluant un entraînement spécifique de la mémoire de travail.

## Références bibliographiques

- Adams, A.M. et Gathercole, S.E. (2000). Limitations in Working Memory: Implications for Language Development. *International Journal of Language and Communication Disorders*, 35, 1, 95-117.
- Archibald, L.M.D. & Gathercole, S.E. (2007). Nonword repetition in specific language impairment: More than a phonological short-term memory deficit. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14, 5, 919-924.
- Baddeley, A.D. (1993). *La Mémoire humaine*. Grenoble : Presses Universitaires.
- Baddeley A.D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 11, 417-423.
- Baddeley, A. (2003). Working memory and language: An overview. *Journal of Communication Disorders*, 36, 189–208
- Baddeley, A.D. & Hitch, G. (1974). Working Memory. In: BOWER, G.A. (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation*. New York: Academic Press, pp. 47-48.
- Barouillet, P. et Camos, V. (2007). Le développement de la mémoire de travail. In J. Lautrey (Ed.), *Psychologie du développement et de l'éducation*. Paris : PUF, pp. 51-86
- Case, R., Kurland, M. & Goldberg, J. (1982). Operational efficiency and the growth of short-term memory. *Journal of Experimental Child Psychology*, 33, 386–404.
- Chomsky, N. (2005). Three factors in language design. *Linguistic Inquiry*, 36, 1, 1-22.
- Conway, A.R.A. & Engle, R.W. (1994). Working memory and retrieval: A resource-dependent inhibition model. *Journal of Experimental Psychology: General*, 123, 4, 354-373.
- Cowan, N. (1988). Evolving conceptions of memory storage, selective attention, and their mutual constraints within the human information processing system. *Psychological Bulletin*, 104, 163-191.
- Danahy, K., Windsor J. & Kohnert, K. (2007). Counting span and the identification of primary language impairment. *International Journal of Language and Communication Disorders*, 42, 3, 349-365.



- Daneman, M. & Carpenter, P.A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19, 450-466.
- Delage, H. (2008). Evolution de l'hétérogénéité linguistique chez les enfants sourds moyens et légers : Etude de la complexité morphosyntaxique. *PhD thesis*, Université François-Rabelais, Tours.
- Delage, H. & Tuller, L. (2007). Language development and mild-to-moderate hearing loss: does language normalize with age? *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 50, 5, 1300-1313.
- Gathercole, S. E., Pickering, S.J, Ambrige, B & Wearing, H. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental Psychology*, 40, 177- 190
- Gathercole, S.E., Service, E., Hitch, G.J., Adams, A.M. & Martin, A.J. (1999). Phonological short-term memory and vocabulary development: Further evidence on the nature of the relationship. *Applied Cognitive Psychology*, 13, 1, 65-77.
- Gibson, E., (1998). Linguistic complexity: Locality of syntactic dependencies. *Cognition*, 68, 1-76.
- Grüter, T. (2006). *Object Clitics and Null Objects in the Acquisition of French*. PhD Dissertation, McGill University.
- Hamann, L., Tuller, L., Monjauze, C., Delage, H. & Henry, C. (2007). (Un)successful subordination in French-speaking children and Adolescents with SLI. In: Caunt-Nulton, H., Kulatilake, S. & Woo, I. (Eds), *Proceedings of the 31st annual Boston University Conference on Language Development*. Somerville, MA: Cascadilla Press, pp. 286-297.
- Hansson, K., Forsberg, J., Löfqvist, A., Mäki-Torkko, E., & Sahlén, B. (2004). Working memory and novel word learning in children with hearing impairment and children with specific language impairment. *International Journal of Language and Communication Disorders*, 39, 401-422.
- Hansson, K., Sahlén, B. & Mäki-Torkko, E. (2007). Can a 'single hit' cause limitations in language development? A comparative study of Swedish children with hearing impairment and children with specific language impairment. *International Journal of Language and Communication Disorders*, 42, 3, 307-323.
- Hass, W. & Wepman, J. (1974). Dimensions of individual difference in the spoken syntax of school children. *Journal of Speech and Hearing Research*, 17, 455-469.
- Houston, D.M. (2009). Attention to speech sounds in normal-hearing and deaf children with cochlear implants. *Journal of the Acoustical Society of America*, 125, 2534-2534.
- Im-Bolter, N., Johnson, J. & Pascual-Leone, J. (2006). Processing limitations in children with Specific Language Impairment: The role of executive function. *Child Development*, 77, 1822–1841.
- Jakubowicz, C. (2005). The Language Faculty: (Ab)normal development and interface constraints. *Talk presented at GALA 2005, University of Siena*.
- Jakubowicz, C. (2007). Grammaire universelle et trouble spécifique du langage. In Bricmond J., Franck J. (Eds.), *Noam Chomsky. Cahiers de l'Herne*, pp. 164-175.
- Jakubowicz, C. (2011). Measuring derivational complexity: New evidence from typically developing and SLI learners of L1 French. *Lingua*, 121, 3, 339-351.
- Jakubowicz, C. & Tuller, L. (2008). Specific Language Impairment in French. In Ayoun, D. (Ed.), *Studies in French Applied Linguistics*. Amsterdam: John Benjamins, pp. 97-134.
- Keren-Portnoy, T., Vihman, M.M., DePaolis, R.A., Whitaker, C.J. & Williams, N.M. (2010). The Role of Vocal Practice in Constructing Phonological Working Memory. *Journal of Speech, Language and Hearing research*, 53, 1280-1293.
- Leadholm, B. & Miller, J. (1992). *Language sample analysis: The Wisconsin guide*. Madison: Wisconsin Department of Public Instruction.
- Leclercq, A.L. & Majerus, S. (2010). The relationship between serial order STM and vocabulary development: A longitudinal study. *Developmental Psychology*, 46, 417-427.
- Lecocq, P. (1996). *L'ECOSSE : une épreuve de compréhension syntaxo-sémantique*. Lille : Presses Universitaires de Septentrion.

- Leonard, L., Weismer, S.E., Miller, C.A., Francis, D.J., Tomblin, J.B. & Kail, R.V. (2007). Speed of processing, working memory and language impairment in children. *Journal of Speech, Language and Hearing research*, 50, 408-428.
- Loban, W. (1976). *Language development: Kindergarten through grade twelve*. Research Report, Urbana, IL: National Council of Teachers of English.
- Majerus, S. (2008). La mémoire à court terme verbale : un simple produit des interactions entre systèmes langagiers, attentionnels et de traitement de l'ordre sériel ? *Psychologie française*, 53, 327-341.
- 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, 95-119.
- Marton, K. & Schwartz, R.G. (2003). Working memory capacity and language processes in children with Specific Language Impairment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 46, 1138-1152.
- Miller, G.A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63, 2, 81-97.
- Montgomery, J.W. & Evans, J.L. (2009). Complex sentence comprehension and working memory in children with specific language impairment. *Journal of speech, language and hearing research*, 52, 269-288.
- Montgomery, J., Magimairaj, B. & O'Malley, M. (2008). Role of working memory in typically developing children's complex sentence comprehension. *Journal of psycholinguistic research*, 37, 5, 331-354.
- Mousty, P., Leybaert, J., Alegria, J., Content, A. & Morais, J. (1994). *B.E.L.E.C. : Batterie d'évaluation du langage et de ses troubles*. Bruxelles : Laboratoire de psychologie expérimentale, Université libre de Bruxelles.
- Parisse, C. & Mollier, R. (2008). Le déficit de mémoire de travail chez les enfants dysphasiques est-il ou non spécifique du langage ? In Durant, J., Habert, B., Laks, D. (Eds.), *Congrès Mondial de Linguistique Française*. Institut de Linguistique Française : Paris.
- Pross, N., Gaonac'h, D. & Gaux, C. (2008). Développement de la mémoire de travail : relations du centre exécutif avec la boucle phonologique et le calepin visuospatial chez des enfants de CE1 et de CM2. *Psychologie française*, 53, 307-326.
- Raven, J.C., Court, J.H. & Raven, J. (1998). *Progressives Matrices Couleur*. Paris : EAP.
- Reilly, J., Losh, M., Bellugi, U. & Wulfeck, B. (2004). "Frog, where are you?" Narratives in children with specific language impairment, early focal brain injury, and Williams syndrome. *Brain and Language*, 88, 229-247.
- Rodrigues, A. & Befi-Lopes, D.M. (2009). Phonological working memory and its relationship with language development in children (original title: Memória operacional fonológica e suas relações com o desenvolvimento da linguagem infantil). *Pró-Fono Revista de Atualização Científica*, 21, 1, 63-68.
- Siegel, L.S. (1994). Working memory and reading: A life-span perspective. *International Journal of Behavioral Development*, 17, 109-124.
- Scott, C.M. (2003). Language as a variety: an analysis of clausal connectivity in spoken and written language of children with language learning disabilities. *Oral communication presented at SRCLD*, Madison.
- St-Clair Thompson, H.L. (2010). Backwards digit recall: A measure of short-term memory or working memory? *European Journal Of Cognitive Psychology*, 22, 2, 286-296.
- Tuller, L., Delage, H. & Monjauze, C. (2006). Avoiding complexity in atypical development of French. *Talk presented at the Latsis Colloquium of the University of Geneva*.
- Tuller, L., Delage, H., Monjauze, C., Piller A.G. & Barthez, M.A. (2011). Clitic pronoun production as a measure of atypical language development in French: A comparative study of SLI, mild-to-moderate deafness and benign epilepsy of childhood with centrotemporal spikes. *Lingua*, 121, 3, 423-441.
- Wechsler, D. (2005). *WISC-IV : Echelle d'Intelligence de Wechsler pour Enfants* – 4ème édition. Paris : Les Editions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Willis, C.S. & Gathercole, S.E. (2001). Phonological short-term memory contributions to sentence processing in young children. *Memory*, 9, 349-364.

---

<sup>1</sup> Nous remercions les étudiantes de master qui ont participé à la récolte de données et à l'analyse des résultats : Géraldine Abos, Aurore Duployer et Marie Varlet.

<sup>2</sup> Majerus et al. (2006) distinguent au sein de la boucle phonologique la mémoire « item », c'est-à-dire le stockage des items lexicaux présentés au sujet, et la mémoire sérielle qui correspond à l'ordre dans lequel les items sont présentés. Ainsi, dans la tâche que nous utilisons, les enfants n'ont pas à mémoriser les noms des animaux en eux-mêmes, mais uniquement leur ordre de présentation dans la liste entendue.

<sup>3</sup> Tous les participants ont obtenu un score égal ou supérieur au centile 10.

<sup>4</sup> Nous nous sommes permis cette manipulation car les trois épreuves constituant les empan simples corrèlent fortement entre eux ( $r > .56$ ,  $p < .001$ ) ; il en est de même pour les trois épreuves d'empan complexes ( $r > .48$ ,  $p < .001$ ).

<sup>5</sup> Les effets de groupe significatifs, trouvés pour l'ensemble des épreuves évaluant la complexité syntaxique, sont les suivants : compréhension de phrases complexes ( $F(2,45) = 17.6$ ,  $p < .001$ ), répétition de phrases complexes ( $F(2,44) = 15.1$ ,  $p < .001$ ), longueur moyenne d'énoncés ( $F(2,45) = 8.8$ ,  $p < .001$ ), taux de subordination ( $F(2,45) = 3.9$ ,  $p < .05$ ), taux d'enchâssement profond ( $F(2,45) = 4.2$ ,  $p < .05$ ).

<sup>6</sup> Un enfant de 5 ans a refusé la passation complète de cette épreuve ; c'est pourquoi le groupe des enfants de 5-6 ans comprend 15 enfants pour cette épreuve de répétition (et non pas 16 comme pour les autres tâches).

<sup>7</sup> Valeurs des  $t$  et seuils de significativité pour la comparaison entre enfants âgés de 11-12 ans et adultes : empan de chiffres endroit :  $t(34) = -2.8$ ,  $p < .01$  ; empan de mots :  $t(34) = -2.2$ ,  $p < .05$  ; répétition de pseudo-mots :  $t(34) = -2.8$ ,  $p = 0.28$  ns ; empan de chiffres envers :  $t(34) = -2.2$ ,  $p < .05$  ; counting span :  $t(34) = -1.89$ ,  $p = 0.07$  ns ; running span :  $t(34) = -2.6$ ,  $p < .05$ .

<sup>8</sup> Valeurs statistiques :  $F$  d'inclusion = 4 ;  $F$  d'exclusion = 3.99 ;  $p$  d'inclusion fixé par défaut à  $p < .05$ .

<sup>9</sup> Ces auteurs affirment en effet : "Linguistic knowledge and PWM (phonological working memory) work together and because they interact, deficits on PWM may produce difficulties on comprehension and language learning since the child will not be able to recall the linguistic information or to process it fast enough. There is also some children presenting deficit on linguistic knowledge what can be observed by difficulties on phrase comprehension or on the ability of learning new words. Due to the insufficient linguistic knowledge children with such deficit are not able to correctly process information what demonstrates the bi-directional influence of language on PWM" (Rodrigues & Befi-Lopes, 2009, p. 65)