

Unité de Formation et de Recherche de Médecine et des Techniques Médicales

Année Universitaire 2021-2022

Mémoire

Pour l'obtention du

Certificat de Capacité en Orthophonie

Le rôle de la mémoire de travail dans une tâche d'amorçage mathématique appliquée à la compréhension orale de propositions relatives ambiguës chez des adolescents tout-venant

Présenté par *Cécile BRUNE*

Née le 09/06/1995

Président du Jury : Madame Lebayle-Bourhis Annaïck – Orthophoniste

Directrice du Mémoire : Madame Lungu Oana – Enseignante-chercheuse, Co-directrice pédagogique

Directrice du Mémoire : Madame Coupechoux Helen – Orthophoniste

Membres du jury : Madame Bellouard Masson Stéphanie – Orthophoniste

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier mes directrices de mémoire, Madame Oana Lungu et Madame Helen Coupechoux, qui ont su me guider, me conseiller, et qui ont toujours été disponibles, malgré leurs nombreux engagements. Je remercie également Monsieur Salim Rivière d'avoir pris le temps de m'éclairer sur les analyses statistiques.

Je remercie Monsieur Jean-Marie Fauchet, du Collège de Bretagne (Nantes), pour sa disponibilité et son accueil. Merci également à tous·tes les participant·es qui ont accepté de participer à notre étude, qui nous ont accordé du temps et nous ont permis de recueillir de précieuses informations.

Enfin, je tiens à adresser un immense merci à ma famille pour m'avoir soutenue tout au long de mes études, merci d'avoir accordé du temps pour relire ce fastidieux travail. Je tiens à remercier particulièrement mes ami·es pour tous les rires que vous m'avez apportés pendant ces cinq années.

Centre de Formation Universitaire en Orthophonie
Directeur : Pr Florent ESPITALIER
Co-Directrices Pédagogiques : Mme Emmanuelle PRUDHON
Directrice des Stages : Mme Anne ESNAULT

ANNEXE 8
ENGAGEMENT ÉTHIQUE

Je soussigné(e) Cécile Brune, dans le cadre de la rédaction de mon mémoire de fin d'études orthophoniques à l'Université de Nantes, m'engage à respecter les principes de la déclaration d'Helsinki concernant la recherche impliquant la personne humaine.

L'étude proposée vise à comprendre le rôle que joue la mémoire de travail dans l'effet d'amorçage intermodal chez les adolescent-es français-es tout-venant.

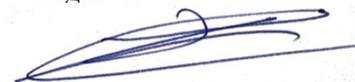
Conformément à la déclaration d'Helsinki, je m'engage à :

- informer tout participant sur les buts recherchés par cette étude et les méthodes mises en œuvre pour les atteindre,
- obtenir le consentement libre et éclairé de chaque participant à cette étude
- préserver l'intégrité physique et psychologique de tout participant à cette étude,
- informer tout participant à une étude sur les risques éventuels encourus par la participation à cette étude,
- respecter le droit à la vie privée des participants en garantissant l'anonymisation des données recueillies les concernant, à moins que l'information ne soit essentielle à des fins scientifiques et que le participant (ou ses parents ou son tuteur) ne donne son consentement éclairé par écrit pour la publication,
- préserver la confidentialité des données recueillies en réservant leur utilisation au cadre de cette étude.

Fait à : Nantes

Le 23/05/2022

Signature :



Centre de Formation Universitaire en Orthophonie
Directeur : Pr Florent ESPITALIER
Co-Directrices Pédagogiques : Mme Emmanuelle PRUDHON
Directrice des Stages : Mme Anne ESNAULT

ANNEXE 9
ENGAGEMENT DE NON-PLAGIAT

« Par délibération du Conseil en date du 7 Mars 1962, la Faculté a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation ».

Engagement de non-plagiat

Je, soussigné(e) Cécile BRUNE déclare être pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes ses formes de support, y compris l'Internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce mémoire.

Fait à : Nantes

Le 23/05/2022

Signature :

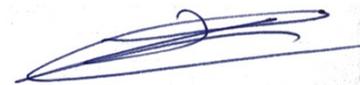


Table des matières

INTRODUCTION.....	1
PARTIE THEORIQUE.....	3
I. Le rôle de la mémoire de travail dans le traitement syntaxique.....	3
1. Du modèle d'Atkinson et Schiffrin (1968) au modèle tripartite de Baddeley et Hitch (1974).....	3
1.1. Administrateur central.....	4
1.2. La boucle phonologique.....	4
1.3. Le calepin visuo-spatial.....	4
1.4. Évolution vers le concept de buffer épisodique.....	4
2. Modèles de compréhension syntaxique.....	4
2.1. Dichotomie des modèles de traitement sériel et parallèle.....	5
2.1.1. Modèle de traitement sériel.....	5
2.1.2. Modèle de traitement parallèle.....	7
2.2. Modèle de satisfaction de contraintes (ou modèle à capacité contrainte).....	8
3. Compréhension syntaxique chez l'enfant.....	9
3.1. Capacités en mémoire de travail chez l'enfant.....	9
3.2. Modèles de compréhension syntaxique chez l'enfant.....	10
3.3. Le lien entre l'amorçage syntaxique et la mémoire de travail.....	12
II. Relations entre langage et mathématique.....	13
1. Relation au niveau des représentations sémantiques.....	13
2. Relation au niveau du traitement syntaxique.....	15
2.1. Analogie syntaxique entre langage et mathématique.....	15
2.2. Spécificité du traitement syntaxique en mémoire de travail.....	17
2.2.1. Mémoire de travail syntaxique.....	17
2.2.2. Une théorie du partage des ressources de traitement : la SSIRH.....	17
2.3. Effet d'amorçage intermodal comme preuve d'un partage des ressources de construction syntaxique.....	19
ETUDE EXPERIMENTALE.....	22
I. Problématique et hypothèses.....	22
II. Méthodologie.....	23
1. Participant·es.....	23

2. Matériel et procédure.....	23
2.1. Procédure	23
2.2. Tâches expérimentales.....	24
2.2.1. Tâche de compréhension de phrases	24
2.2.2. Tâche d’amorçage mathématique.....	27
2.3. Tâche de mémoire de travail	29
III. Résultats	30
1. Analyse statistique.....	30
1.1. Résultats de la tâche de compréhension de phrases	30
1.2. Résultats de la tâche de mémoire de travail	31
1.3. Résultats de la tâche d’amorçage mathématique.....	33
2. Analyse qualitative	34
2.1. Effet d’amorçage mathématique.....	34
2.2. Corrélation entre mémoire de travail et effet d’amorçage.....	36
IV. Discussion	37
1. Préférences d’attachement chez les adolescent-es français-es.....	38
2. Corrélation entre mémoire de travail et préférences d’attachement.....	39
3. Effet d’amorçage mathématique	40
4. Rôle de la mémoire de travail dans l’effet d’amorçage.....	41
5. Biais méthodologiques	42
5.1. Biais dans les items de sélection d’image	42
5.1.1. Biais de prosodie	42
5.1.2. Biais comportemental.....	43
5.2. Biais dans la tâche de mémoire de travail	43
5.2.1. Biais comportemental.....	43
5.2.2. Biais de fréquence et de concrétude des mots	43
5.2.3. Manque de sensibilité	44
6. Perspectives et intérêts orthophoniques	44
CONCLUSION	46
BIBLIOGRAPHIE	48

INTRODUCTION

Les nombreux·es patient·es que nous rencontrons en orthophonie souffrant de troubles spécifiques des apprentissages (TSAp) montrent rarement des atteintes isolées dans un seul domaine. Près de la moitié des enfants ayant un TSAp avec déficit en lecture et en orthographe serait aussi touchée par un TSAp avec déficit en calcul (Lewis et al., 1994 ; Von Aster & Shalev, 2007). On sait qu'il existe également une co-occurrence entre déficit en mémoire de travail (MDT) et TSAp (Cornoldi et al., 2014 ; Geary et al., 2012 ; Phye & Pickering, 2006).

Il nous paraît donc intéressant d'étudier les liens cognitifs qui unissent langage et mathématiques. La question se pose encore de savoir précisément en quoi les structures syntaxiques et les capacités cognitives nécessaires à leur traitement sont spécifiques au langage.

Notre étude repose sur des travaux précédemment entrepris par des chercheur·euses en linguistique qui s'appuient sur le paradigme des propositions relatives ambiguës. Ces phrases ont la particularité de contenir une proposition relative pouvant être rattachée indifféremment au premier syntagme nominal (SN1) ou au second (SN2). Une phrase ambiguë comme *Jean connaît l'avocate de l'actrice qui vit en Espagne* a deux structures syntaxiques possibles : une structure où la relative est adjointe au SN1 *l'avocate de l'actrice* (attachement haut), et une autre où la relative est adjointe au SN2 *l'actrice* (attachement bas). Certaines opérations mathématiques présentent une structure syntaxique similaire à ces propositions relatives ambiguës, comme par exemple : $20 - (5 + 3) \times 2$ et $20 - 5 + 3 \times 2$. Dans la 1^{ère} expression mathématique, $20 - (5 + 3) \times 2$, la multiplication a une portée sur une expression complexe sur sa gauche (5+3). Elle correspondrait donc à l'attachement haut de la relative, où le pronom relatif se combine avec un syntagme nominal complexe sur sa gauche. Dans la deuxième expression, $20 - 5 + 3 \times 2$, la multiplication porte uniquement sur le nombre à sa gauche. Elle correspondrait donc à l'attachement bas de la relative où le pronom relatif se combine avec l'expression nominale simple à sa gauche.

Les études de Pozniak et al. (2018), Scheepers et al., (2011), Scheepers et Sturt, (2014) ont mis en évidence un effet d'amorçage syntaxique des mathématiques sur la compréhension de phrases. Ces auteur·ices ont montré que lorsque les participant·es résolvent au préalable une opération mathématique à attachement haut, la phrase relative ambiguë qui leur est exposée sera interprétée comme étant à attachement haut, et inversement. Cet effet d'amorçage conforte l'idée selon laquelle les mathématiques et le langage partagent des ressources de traitement syntaxique.

Notre travail s'appuie également sur des recherches menées par Felser et al. (2003) qui étudient le rôle de la MDT dans les préférences d'attachement des propositions relatives ambiguës chez les enfants anglophones. Leurs résultats montrent que les enfants anglophones préfèrent l'attachement bas de la relative, mais que cette préférence est modulée par leurs capacités en MDT. En effet, les participant-es ayant une mauvaise MDT montrent une préférence plus importante que les autres pour l'attachement bas, car il serait plus économe cognitivement.

Nous avons mis en lien ces travaux et avons cherché à savoir s'il existe un effet d'amorçage syntaxique des mathématiques sur le langage chez les adolescent-es, et dans quelle mesure la MDT joue un rôle dans cet effet d'amorçage.

Dans notre partie théorique, après avoir présenté le modèle de MDT de Baddeley et Hitch (1974), nous nous attacherons à présenter les modèles d'analyse syntaxique, ainsi qu'à décrire le rôle que joue la MDT dans chacun de ces modèles, avant de nous intéresser aux particularités du traitement syntaxique chez les enfants, qui n'ont pas les mêmes capacités en MDT. Dans une seconde partie, nous chercherons à présenter les liens cognitifs qui unissent mathématique et langage. Nous décrirons ces liens d'abord d'un point de vue sémantique, puis syntaxique, en discutant de l'hypothèse de la SSIRH (Hypothèse de Partage des Ressources d'Intégration Syntaxique ou *Shared Syntactic Integration Resource Hypothesis*), ainsi que du modèle de la MDT syntaxique, avant de présenter les études qui ont permis de mettre en évidence un effet d'amorçage syntaxique intermodal.

Dans notre partie expérimentale, nous exposerons notre protocole visant à évaluer les capacités en MDT de nos participant-es, leurs préférences d'attachement de phrases relatives ambiguës ainsi que l'influence d'un amorçage mathématique sur ces préférences d'attachement. Nous détaillerons ensuite les résultats obtenus à travers des analyses statistiques et des analyses qualitatives. Enfin, nous consacrerons notre dernière partie à la discussion et aux perspectives de recherche qu'entraînent les conclusions de notre étude.

PARTIE THEORIQUE

I. Le rôle de la mémoire de travail dans le traitement syntaxique

On distingue plusieurs types de mémoires. La mémoire à long terme (MLT) permet le stockage et la récupération des informations sur des temps allant de quelques minutes à une vie entière. Les mémoires transitoires, aussi appelées mémoire à court terme (MCT) et mémoire de travail (MDT) ont pour fonction de garder actives des informations le temps qu'elles soient traitées. Plusieurs études ont mis en évidence l'implication de la MDT dans de nombreux processus cognitifs, notamment dans la compréhension des faits langagiers (Baddeley, 2003 ; King & Just, 1991 ; Swets et al., 2007).

Nous allons donc dans un premier temps présenter le modèle de MDT proposé par Baddeley, sur lequel s'appuient la plupart des recherches psycholinguistiques. Nous nous intéresserons ensuite à son rôle dans le traitement et la compréhension des propositions relatives ambiguës.

1. Du modèle d'Atkinson et Schiffrin (1968) au modèle tripartite de Baddeley et Hitch (1974)

Le terme de MDT apparaît pour la première fois dans un ouvrage de Miller et al. (1960). Aujourd'hui, il existe plusieurs modèles de MDT mais le plus influent est celui de Baddeley qui a été révisé à de nombreuses reprises (Baddeley, 1992 ; 2000 ; 2003 ; Baddeley et Hitch 1974).

Ce modèle a été développé à partir de celui d'Atkinson et Shiffrin (1968), qui possède 3 composantes : la mémoire sensorielle (MS), la mémoire à court terme (MCT), qu'ils nomment également mémoire de travail (MDT) et la mémoire à long terme (MLT). Selon eux, les stimuli de l'environnement sont d'abord pris en compte et disponibles dans la MS. La plupart se désintègrent, mais certains sont transférés dans la MCT. Les informations stockées en MCT sont ensuite automatiquement redirigées vers la MLT. Plus un élément est conservé en MCT, plus sa trace sera forte en MLT.

Baddeley et Hitch (1974) proposent un système de MDT composé de 3 sous-systèmes, contrairement à celui proposé par Atkinson et Schiffrin (1968), qui parlent d'une réserve à court terme unitaire. L'administrateur central est soutenu par deux systèmes satellites : le calepin visuo-spatial et la boucle phonologique.

1.1. Administrateur central

Baddeley (1998) s'appuie sur le modèle de contrôle attentionnel de Norman et Shallice (1986) pour décrire le rôle de l'administrateur central. Norman et Shallice parlent d'un Système Attentionnel Superviseur (SAS), un système exécutif, capable de combiner les informations récupérées en MLT, et de les combiner avec de nouveaux stimuli pour s'adapter à l'environnement et prévoir un nouveau plan d'action.

Pour Baddeley (1992), l'administrateur central est le système de gestion des ressources attentionnelles. Il permet de gérer des actions effectuées simultanément et sa capacité de stockage est limitée. Son rôle est de sélectionner les éléments à garder actifs, de planifier les stratégies et d'allouer les ressources cognitives nécessaires à l'exécution des tâches cognitives. Contrairement au SAS, l'administrateur central est fractionné en deux sous-composantes exécutives (Baddeley, 1998), la boucle phonologique et le calepin visuo-spatial.

1.2. La boucle phonologique

La boucle phonologique est le système en charge du maintien temporaire des informations verbales. Elle est décomposée en plusieurs sous-systèmes, le stock phonologique et le mécanisme de récapitulation articulatoire (Baddeley & Hitch, 1974). En présentation auditive, l'information verbale gagne le stock phonologique, où elle est conservée sous forme de code phonologique durant 1,5 à 2 secondes. Le processus de répétition sub-vocale permet de ré-introduire l'information dans le stock phonologique et d'éviter l'effacement de l'information.

1.3. Le calepin visuo-spatial

Le calepin visuo-spatial est capable de retenir et de manipuler à court terme des informations visuo-spatiales. Il permet de mettre en lien des informations visuelles et spatiales, provenant de la mémoire à long terme ou de la perception sensorielle.

1.4. Évolution vers le concept de buffer épisodique

Baddeley (2000) propose un 4^{ème} rôle de l'administrateur central, celui de buffer épisodique. Il s'agirait d'un système de capacité limitée de stockage temporaire d'informations multimodales intégrant des informations provenant des systèmes-esclaves et de la mémoire à long terme dans une représentation épisodique unitaire.

2. Modèles de compréhension syntaxique

« Pour comprendre une phrase, les lecteurs et les auditeurs doivent garder la trace de nombreux éléments d'information : les mots qu'ils rencontrent, l'ordre dans lequel les mots

apparaissent, la catégorie syntaxique des mots, les relations entre les mots, etc » (Swets et al., 2007, p.64). Une tâche de compréhension de phrases nécessite donc le système de stockage et de calcul qu'est la MDT. De nombreuses études ont en effet mis en évidence que la complexité du traitement syntaxique augmente en fonction du nombre de dépendances syntaxiques traitées et maintenues en MDT par l'analyseur syntaxique (Abney & Johnson, 1991; Miller & Isard, 1964).

Ces travaux sur les contraintes en MDT ont largement influencé les nombreux modèles de compréhension syntaxique proposés par les chercheurs depuis les années 1980. La plupart tentent d'expliquer comment sont résolues les ambiguïtés syntaxiques temporaires, fréquentes dans le langage, puisqu'il est traité de manière incrémentale. Dans cette partie, nous allons donc passer en revue les différents modèles proposés par les linguistes et la place accordée à la MDT dans chacun d'eux. Nous présenterons d'abord les modèles sériel et parallèle, avant de nous attacher à décrire le modèle de satisfaction de contraintes.

2.1. Dichotomie des modèles de traitement sériel et parallèle

2.1.1. Modèle de traitement sériel

Modèle du garden path de Frazier (1985)

Le modèle de traitement sériel le plus connu est celui du *garden path*, proposé par Frazier (1985). Selon ce modèle, une seule représentation syntaxique est construite par un mécanisme d'analyse spécialisé appelé « analyseur syntaxique ». Si des informations ultérieures dans la phrase sont incompatibles avec cette interprétation, alors l'interprétation originale peut être abandonnée et une autre interprétation peut être recherchée. Face à une phrase « labyrinthe » (ou phrase *garden path*), comme par exemple *L'espion observe le soldat avec des jumelles au moyen d'une longue vue*, le sujet interprétera initialement le premier syntagme prépositionnel « avec des jumelles » comme instrument du verbe « observer ». Ce n'est qu'après avoir lu le deuxième syntagme prépositionnel « au moyen d'une longue vue » qu'une erreur est détectée, grâce aux informations sémantiques. Cette erreur entraîne alors une réanalyse de la phrase, où le sujet attachera correctement le premier syntagme prépositionnel comme modificateur du nom « le soldat » et non plus comme celui du verbe. Le système ne calcule qu'une seule analyse à la fois, et non plusieurs, car cela serait trop coûteux cognitivement et parce que le fait de ne pas calculer une structure immédiatement obligerait les mots à rester non analysés en MDT, ce qui est également coûteux. L'analyse grammaticale la plus minimale est considérée comme une conséquence de la capacité limitée de la MDT du système.

Ce modèle repose sur la stratégie de l'attachement minimal (le *minimal attachment*, Frazier, 1985 ; Frazier & Fodor, 1978), qui postule que c'est la structure syntaxique la plus simple qui est préférée, car elle contient le moins de nœuds syntaxiques.

Ce modèle est également basé sur la stratégie d'un attachement tardif, appelé *late closure*, similaire au principe de l'association droite proposé par Kimball (1973) et au principe de récence proposé par Gibson et al. (1996). Selon ces stratégies, le matériel linguistique entrant a tendance à être associé à la proposition en cours de traitement plutôt qu'à des structures situées plus haut dans la phrase.

Le principe de *late closure* a été utilisé pour expliquer le traitement des phrases relatives ambiguës chez les locuteur-ices anglophones, telle *John knows the lawyer of the actress who lives in Spain* (« Jean connaît l'avocate de l'actrice qui vit en Espagne »). Cette phrase donne lieu à deux interprétations, selon si la proposition relative est attachée au 1^{er} syntagme nominal (SN1) « l'avocate » (attachement haut), ou au 2^{ème} syntagme nominal « l'actrice » (attachement bas). Plusieurs études ont observé que les locuteur-ices de l'anglais ont une préférence pour l'attachement bas (Cuetos & Mitchell, 1988 ; Carreiras & Clifton, 1999 ; Frazier & Clifton, 1997). Pour Schütze et Gibson (1999), cette préférence s'expliquerait par les limites cognitives imposées par la MDT. Pour ces auteurs, face à une phrase ambiguë dont les deux interprétations possibles ont la même complexité syntaxique, le ou la locuteur-ice favorisera l'interprétation la plus économique cognitivement. Le matériel récemment traité est généralement plus disponible que le matériel plus ancien. Ainsi, la connexion du matériel linguistique entrant au syntagme le plus récemment traité minimise le risque que ce matériel soit perdu de la MDT par dégradation ou interférence.

Des études ont mis en évidence des variations interlinguistiques concernant les préférences d'attachement des propositions relatives ambiguës. Alors qu'en anglais on observe une préférence pour l'attachement bas, en accord avec le principe de *late closure* (Carreiras & Clifton, 1999 ; Cuetos & Mitchell, 1988 ; Frazier & Clifton, 1997). Mais ce n'est pas le cas en espagnol (Carreiras & Clifton, 1993 ; Cuetos & Mitchell, 1988) ou en français (Frenck-Mestre & Pynte, 1997 ; Zagar et al., 1997), où les locuteur-ices ont tendance à privilégier un attachement haut, ce qui confirmerait plutôt la stratégie du *minimal attachment*.

Cette variation interlinguistique pose problème pour la théorie du *garden path*, qui part du postulat que l'analyseur syntaxique est universel. Elle suppose également que l'interprétation des ambiguïtés d'attachement des relatives serait guidée par la stratégie du *late closure*, car

c'est la plus économe cognitivement. Il ne devrait donc pas y avoir de différences entre les langues en ce qui concerne le traitement des phrases qui impliquent le même type d'ambiguïté syntaxique. La théorie du *garden path* résiste donc assez mal au traitement des ambiguïtés syntaxiques.

Principe de proximité du Prédicat (Gibson et al., 1996)

Pour Gibson et al. (1996) les principes de récence et d'attachement minimal – qui minimisent les charges en MDT – sur lesquels se base la théorie du *garden path* interagiraient avec un autre principe, celui de la proximité du prédicat. Ce théorème prédit que les locuteur·ices préfèrent attacher la proposition relative aussi près que possible de la tête d'un groupe prédicatif. Les variations interlinguistiques s'expliqueraient par les différences du poids de ces principes selon les langues, qui dépend de la rigidité de l'ordre des mots. En anglais, où l'ordre des mots est plus rigide, la distance entre le pronom relatif et son antécédent, est peu informative. En français, c'est le principe de proximité du prédicat qui a un poids plus important. C'est pourquoi les locuteur·ices montrent une préférence d'attachement au SN1.

Les variations entre les langues ne sont toujours pas parfaitement expliquées par la littérature. Beaucoup d'autres facteurs entreraient en jeu, comme la fréquence avec laquelle l'auditeur·ice a déjà résolu l'ambiguïté dans un sens plutôt qu'un autre (*tuning hypothesis*, Mitchell et al., 1995), la prosodie (Price et al., 1991 ; Schafer et al., 1996), la fréquence du nom (Zagar et al., 1997),...

2.1.2. Modèle de traitement parallèle

Gibson (1991), qui s'appuie sur les travaux de Kurtzman (1985) et Gorrell (1987), propose un autre modèle de traitement syntaxique : le modèle de traitement parallèle. Selon cette hypothèse, de multiples représentations syntaxiques sont immédiatement générées lorsqu'une ambiguïté syntaxique est rencontrée. De nombreuses alternatives sont calculées, puis classées en fonction de leur probabilité selon divers critères comme la fréquence des catégories grammaticales, la fréquence des structures syntaxiques, la complexité syntaxique, la plausibilité, la complexité du discours...

Les modèles de traitement parallèle supposent que le traitement du langage est fortement limité par la quantité finie d'informations qu'un processeur peut conserver et intégrer dans le temps. Les représentations multiples sont supposément maintenues jusqu'à ce qu'une information ultérieure indique quelle interprétation syntaxique est correcte. À ce moment, les représentations syntaxiques incorrectes sont abandonnées. Si les interprétations alternatives ne

pèsent pas le même poids (donc n'ont pas la même probabilité), l'interprétation la plus rare ou la plus complexe est supposée être moins disponible qu'une interprétation plus fréquente et plus simple.

2.2. Modèle de satisfaction de contraintes (ou modèle à capacité contrainte)

King et Just (1991), Mc Donald et al. (1992), Just et Carpenter (1992) transcendent cette dichotomie entre représentations multiple et unique en proposant un modèle de satisfaction de contraintes (ou *Capacity Constrained Parsing Model*) qui suppose que le degré de maintien des représentations syntaxiques dépend des capacités interindividuelles en MDT. Ce modèle met l'accent sur l'adaptabilité des mécanismes d'analyse syntaxique à la disponibilité des ressources en MDT.

Face à une phrase syntaxiquement ambiguë, le ou la lecteur·ice construit de multiples représentations syntaxiques qui correspondent aux différentes interprétations de la phrase. Comme le prédisent les modèles parallèles, si une interprétation paraît pragmatiquement plus plausible, plus simple, ou plus fréquente, alors elle sera maintenue à un niveau d'activation plus élevé. Mc Donald et al. (1992) proposent que les différences interindividuelles sont constatées seulement une fois les constructions syntaxiques initiales construites. La surcharge en MDT sera plus vite atteinte chez les personnes ayant un faible empan en MDT. Ainsi, pour une phrase longue complexe, la représentation ayant le niveau d'activation le plus bas sera plus vite abandonnée et ne pourra plus être récupérée en mémoire, même en l'absence de toute nouvelle information de désambiguïsation. En revanche, un ou une lecteur·ice ayant de bonnes capacités en MDT sera plus susceptible de maintenir plusieurs représentations en mémoire sur une durée plus longue. Si l'information de désambiguïsation est rencontrée suffisamment tôt, la personne ayant un bon empan en MDT a de fortes chances de pouvoir choisir entre les différentes représentations.

L'expérience menée par King et Just (1991) valide ce modèle. Les lecteur·ices ayant un score plus faible à la tâche de MDT ont montré des performances de compréhension plus faibles. Mc Donald et al. (1992) ont également constaté que les lecteur·ices ayant de faibles capacités en MDT comprenaient moins bien les phrases type *garden-path*, ce qui suggère que les lecteur·ices ayant de faibles capacités en MDT s'engagent précocement dans l'interprétation dominante et font donc plus d'erreurs dans l'interprétation de la phrase.

Depuis les années 1990, de nombreuses mises à jour ont été apportées à ces modèles. Nous verrons notamment dans la section II.2. que pour certain·es chercheur·euses, la MDT ne

disposerait pas d'un réservoir unique de ressources, mais serait modulaire : différentes composantes contrôlèrent différents aspects du traitement de la phrase.

Les modèles exposés dans cette partie présentent tous des arguments pertinents sur le traitement des phrases. Cependant, plusieurs auteur-ices notent, comme Delle Luche (2008), que les théories syntaxiques peinent encore à expliquer les variations translinguistique et intralinguistique des préférences d'attachement des propositions relatives ambiguës.

3. Compréhension syntaxique chez l'enfant

Nous nous attacherons à décrire dans cette partie les processus intervenant dans la compréhension de phrases chez les enfants.

3.1. Capacités en mémoire de travail chez l'enfant

Les capacités en MDT augmentent progressivement avec l'âge chez les enfants, que ce soit quantitativement, avec une augmentation de l'empan, ou qualitativement, puisqu'on observe de meilleures stratégies de rétention (Gathercole & Baddeley, 1993). Palmer (2000) met en évidence que les très jeunes enfants (3-4 ans) ne mettent pas en place de stratégie de rappel. Plus tard, ils utilisent surtout les informations visuo-spatiales (Hitch et al., 1989) avant de s'appuyer essentiellement sur la boucle phonologique à partir de 7 ans. Cependant, Ribaupierre et Bailleux (2000) observent des préférences interindividuelles pour un type de recodage en particulier. Pross et al. (2008) relèvent une diminution avec l'âge des relations entre les systèmes esclaves, qu'ils interprètent comme étant un effet de spécialisation de ces sous-systèmes. Ils observent également une augmentation des relations entre chacun de ces systèmes avec les fonctions exécutives, ce qu'ils analysent comme étant une amélioration des capacités de contrôle exécutif sur les systèmes esclaves, ou un effet du développement des habiletés des traitements spécifiques sur l'efficacité de la mise en œuvre de l'administrateur central. Siegel (1994), montre que les capacités en MDT croissent jusqu'à l'âge de 16 ans. Cette croissance est exponentielle jusqu'à 13-14 ans, puis ralentit ensuite. Pour Gathercole (1999), cette augmentation reflète une efficacité accrue dans toute une série de processus, y compris le stockage d'informations sur les éléments et l'ordre, la répétition, la récupération et la reconstruction des traces mnésiques.

La capacité et l'efficacité de la MDT des enfants sont plus limitées que celles des adultes. C'est un facteur important à prendre en compte lorsque l'on étudie le traitement des phrases chez les enfants, puisque l'on sait que la MDT joue un rôle dans le traitement syntaxique. Dans

la section suivante, nous allons nous attacher à comprendre en quoi cela impacte la compréhension syntaxique chez l'enfant.

3.2. Modèles de compréhension syntaxique chez l'enfant

Concernant les modèles de compréhension syntaxique, les chercheurs s'accordent pour prédire qu'il devrait exister une continuité dans le développement du traitement du langage. Les enfants et les adultes sont supposés traiter de la même manière la structure syntaxique des phrases, il n'existerait pas de différences structurelles dans leurs analyseurs syntaxiques (Crain & Wexler ; 1999, Fodor ; 1998).

Tyler et Marslen-Wilson (1981) ont constaté que la capacité des enfants à détecter un mot présentait le même schéma de dégradation que chez les adultes lors du traitement d'une prose normale, de phrases sémantiquement anormales ou d'un discours syntaxiquement anormal ("brouillé"). Cette constatation conforte l'idée que les enfants et les adultes analysent les phrases essentiellement de la même manière. Cependant, l'effet facilitateur de la prosodie était plus faible chez les enfants plus jeunes, ce qui pourrait indiquer que le coût de traitement supplémentaire a entraîné une surcharge de l'analyseur syntaxique chez les jeunes enfants.

Booth et al. (2000) ont cherché à déterminer si les enfants avaient des stratégies semblables à celles des adultes pour traiter des phrases complexes, et si ce traitement est affecté par des différences individuelles en MDT. Comme dans l'expérience menée par King et Just (1991), Booth et al. proposent des phrases complexes, contenant des propositions relatives enchâssées, comme par exemple *Le serveur que le manager a blâmé a porté la valise jusqu'à l'escalier*. Ces phrases font peser une charge importante sur la MDT pour plusieurs raisons. La proposition relative [que le manager a blâmé] interrompt la proposition principale, qui doit être maintenue en MDT pendant le traitement de la proposition enchâssée, qui doit être réactivée ensuite. L'attribution des rôles thématiques appropriés aux deux groupes nominaux pose des difficultés, notamment pour savoir si la tête de la proposition relative est l'agent ou l'objet du verbe de la proposition relative. De plus, l'attribution de deux rôles différents à un seul constituant syntaxique charge également la MDT. Les auteurs ont observé un ralentissement de la vitesse de lecture et d'écoute chez des enfants au niveau de la transition entre la proposition principale et la proposition relative, corrélé aux capacités mnésiques des enfants. Dans la tâche de lecture et d'écoute, les enfants ayant de bonnes capacités en MDT ont été plus lents aux points de transition que les enfants ayant des capacités plus faibles en MDT. On retrouve chez les enfants les mêmes résultats que King et Just avaient observé chez les adultes. Les différences de

mémoire individuelle influencent de la même manière la compréhension de phrases en temps réel chez les enfants que chez les adultes. Les auteurs émettent l'hypothèse que les variations observées entre les groupes reflètent des différences dans la capacité des enfants à stocker efficacement les mots dans la MCT. Les enfants qui ont une bonne MDT font appel à leur MCT pendant le traitement des zones complexes, et ont donc des temps de lecture plus longs. En outre, Booth et al. ont constaté que les enfants classés comme « mauvais.es compreneur-euses » avaient tendance à privilégier l'attachement bas des phrases. Ils notent donc que l'empan mnésique prédit la constance avec laquelle les non-compreneur-euses utilisent une stratégie d'attachement local. Les non-compreneur-euses ayant de bonnes capacités en MDT ont appliqué cette stratégie de manière plus cohérente, probablement parce qu'ils et elles étaient capables à la fois de stocker plusieurs mots en mémoire, et d'utiliser ces mots stockés pour sélectionner un candidat pour l'attachement bas. Ces résultats sont interprétés comme le signe que les non-compreneur-euses sont des enfants qui sont sur le point de passer dans le groupe des compreneur-euses au fur et à mesure qu'ils comprennent comment traiter ces phrases correctement.

La plupart des études existantes sur le traitement syntaxique chez les enfants semblent être compatibles avec l'idée que les enfants et les adultes utilisent des mécanismes d'analyse syntaxique similaires, mais que dans la compréhension de phrases ambiguës, les enfants se basent principalement sur des informations structurelles tout en ignorant largement les informations contextuelles telles que l'ajustement sémantique ou pragmatique.

Dans une étude plus récente, Felser et al. (2003) étudient les préférences d'attachement des propositions relatives ambiguës (comme par exemple *La femme connaissait le photographe du chanteur qui lisait un livre.*) chez des enfants anglophones. Leurs résultats concordent avec l'hypothèse selon laquelle l'analyseur syntaxique ne subit pas de changement qualitatif de l'enfance à l'âge adulte. Comme les adultes, les enfants sont capables d'utiliser les informations structurelles, sémantiques et contextuelles pour traiter une phrase, mais ont seulement besoin de plus de temps pour les intégrer. Pour les auteur-ices, le fait que l'analyseur syntaxique des enfants soit principalement guidé par des informations structurelles pendant le traitement des phrases serait dû à leur capacité limitée en MDT.

Mais cette expérience met surtout en évidence que les enfants n'utilisent pas les mêmes stratégies d'attachement selon leurs scores à la tâche de MDT. Les enfants ayant eu un score élevé à la tâche d'empan auditivo-verbal ont montré une préférence pour l'attachement haut, ils

et elles se sont donc basé-es sur le principe de proximité du prédicat. Les enfants ayant obtenu un faible score à la tâche d'empan ont montré une préférence pour l'attachement bas, obéissant donc au principe de récence. Les auteur-ices suggèrent que cette différence dans l'analyse syntaxique est liée à des différences non linguistiques, et plus précisément aux capacités en MDT. Les enfants ayant une faible MDT choisiraient la stratégie de récence, qui charge le moins la MDT, car elle favorise le syntagme nominal entendu en dernier par les participant-es. Les enfants ayant une bonne MDT donneraient la priorité à la détermination des relations hiérarchiques entre les constituants des phrases qu'ils entendent, ou se concentreraient sur le traitement de la structure primaire.

3.3. Le lien entre l'amorçage syntaxique et la mémoire de travail

Le paradigme d'amorçage syntaxique a été introduit par De Bock (1986) pour étudier les représentations syntaxiques des adultes. Cette tâche consiste en la présentation préalable d'un stimulus (l'amorce) pour influencer le traitement d'un autre stimulus (la cible). L'autrice met en évidence l'existence d'un effet d'amorçage : les participant-es emploient plus souvent les structures des phrases qu'ils avaient répétées plutôt que d'autres structures pour décrire les images présentées. En effet, la perception ou la production d'une structure syntaxique favorise sa production ultérieure car la première occurrence de cette structure fonctionne à la manière d'une amorce en facilitant la production ultérieure de la structure dans la phrase cible.

Depuis, de nombreuses recherches ont repris et adapté le paradigme d'amorçage syntaxique initialement utilisé avec des adultes, afin de montrer que certaines variations dans l'input linguistique conduisent à des changements dans le comportement linguistique des enfants (Bencini & Valian, 2008 ; Felser et al., 2003 ; Garraffa et al., 2015) Ces études ont établi l'existence de véritables effets d'amorçage syntaxique dès l'âge de 3 ans. Toutefois, d'importantes différences inter-individuelles ont été relevées dans la propension des enfants à produire les structures syntaxiques préalablement amorcées (Kidd, 2012).

Alors que l'utilisation de la tâche d'amorçage est de plus en plus fréquente dans les expériences linguistiques, peu d'études se sont intéressées au rôle de la MDT dans l'effet d'amorçage. Pourtant cette tâche sollicite la MDT puisque les sujets doivent maintenir la structure syntaxique pertinente au-dessus du seuil d'activation pendant la production (Cleland & Pickering, 2003).

Dans une étude, Foltz et al. (2015) cherchent à savoir si les enfants atteints de troubles spécifiques du langage présentent une ampleur d'amorçage syntaxique plus faible que les

enfants ne présentant aucun trouble développemental, et plus généralement si la capacité de la MDT affecte le comportement d'amorçage syntaxique. Leurs résultats mettent en évidence qu'après un amorçage syntaxique, les enfants ayant de faibles capacités en MDT ont tendance à produire leur structure syntaxique préférée (ici, une structure pronominale) plutôt qu'une structure similaire à la phrase d'amorçage (une proposition relative). Au contraire, les enfants ayant une bonne MDT produisent plus systématiquement des phrases contenant une proposition relative. Les autrices expliquent leurs résultats par le fait que les enfants ayant de faibles capacités en MDT ne peuvent pas mémoriser une structure syntaxique complexe suffisamment longtemps pour modifier leurs préférences syntaxiques.

Dans cette première partie, nous avons exposé les principaux modèles de compréhension syntaxique, ainsi que le rôle que joue la MDT dans la compréhension syntaxique de phrases, que ce soit chez les adultes ou chez les enfants. Dans une seconde partie nous allons nous attacher à montrer les liens qui existent entre les mécanismes de traitement syntaxique du langage et des mathématiques, afin de mieux comprendre quelles sont les relations cognitives qui lient ces deux domaines.

II. Relations entre langage et mathématique

1. Relation au niveau des représentations sémantiques

Des études ont montré qu'il existe déjà des capacités mathématiques chez les bébés avant même qu'ils ne puissent avoir accès au langage oral. En effet, Izard et al. (2009), ont montré que les nouveau-nés étaient capables de discriminer des quantités très éloignées. Dans leur expérience, les bébés ont été capables d'apparier des séquences de 4 ou 12 syllabes répétées avec des images contenant le même nombre d'objets que les séquences auditives. McCrink et Wynn (2004) ont aussi montré que les nouveau-nés étaient capables de réaliser des calculs arithmétiques tels que la soustraction, l'addition, la multiplication. Il existe donc bien une forme d'intuition mathématique qui précède l'émergence du langage oral chez l'enfant.

Cependant, de nombreux travaux (Flaherty & Senghas, 2011 ; Frank et al., 2012 ; Gordon, 2004) ont pu mettre en évidence un lien entre langage et pensée mathématique, notamment en étudiant des cultures n'ayant pas ou très peu de mots pour désigner les nombres. Pica et al. (2004) ont montré que les Mundurucus, bien que possédant un vocabulaire des nombres très limité, peuvent comprendre les grands nombres, la comparaison, l'addition approximative, mais

sont incapables de réaliser des calculs exacts avec des nombres suffisamment grands. Une autre étude menée chez les Pirahã par Frank et al. (2008) montre que le concept de quantité exacte n'est pas créé par le langage. Le nombre est pensé comme une technologie, une méthode pour stocker rapidement et efficacement des informations par abstraction. Tous les êtres humains partagent des capacités numériques de base. Cependant, les langues qui contiennent des mots précis pour désigner chaque nombre permettent à leurs locuteur-ices de transcender ces capacités et d'atteindre des aptitudes numériques plus développées.

On sait également qu'un recodage linguistique de l'information mathématique peut servir d'outil mental dans certaines tâches, notamment la multiplication. En effet, la multiplication s'appuie sur le langage, via l'apprentissage par cœur des tables de multiplication, récitées à l'école primaire comme des poésies. Lee et Kang (2002) ont mis en évidence que les interférences verbales affectent sélectivement les tâches de multiplication, tandis que les interférences visuo-spatiales affectent spécifiquement les tâches de soustraction. Les fonctions arithmétiques (multiplication et soustraction) sont spécifiquement liées à un sous-système de la MDT. L'apprentissage des tables de multiplication permet d'avoir accès à des outils mentaux supplémentaires, dépendants du langage, tandis que les opérations qui nécessitent une manipulation des quantités (soustraction, comparaison), sont largement indépendantes du langage.

Même si les mathématiques s'appuient sur un langage de la pensée purement interne, le langage oral accélère l'apprentissage et la résolution d'opérations mathématiques en attirant l'attention sur les combinaisons les plus pertinentes. Pour Dehaene (2020), « le verbe agit comme un catalyseur du raisonnement mathématique ».

Amalric et Dehaene (2016) ont cherché à savoir si les capacités mathématiques et les capacités langagières étaient associées aux mêmes régions cérébrales. Leurs résultats ont montré que les régions cérébrales de l'hémisphère gauche généralement associées aux compétences linguistiques n'étaient pas activées lors d'énoncés mathématiques significatifs chez les mathématiciens professionnels. À l'inverse, les régions associées aux capacités mathématiques n'étaient pas activées lors d'énoncés non-mathématiques significatifs. Les auteurs en ont conclu que la pensée mathématique de haut niveau et le langage n'activent pas les mêmes régions du cerveau et ne font donc pas appel aux mêmes ressources.

Cependant, Pozniak et al. (2018) pointent le fait que ces conclusions semblent concerner principalement la représentation et le stockage des connaissances mathématiques par rapport

aux connaissances générales. L'étude d'Almaric et Dehaene (2016) ne portait pas sur un chevauchement des ressources de traitement syntaxique et n'exclut donc pas que certaines des règles et processus des domaines langagiers et mathématiques soient partagés au niveau syntaxique. Dans la section suivante, nous allons nous concentrer sur les liens structuraux entre le langage et les mathématiques.

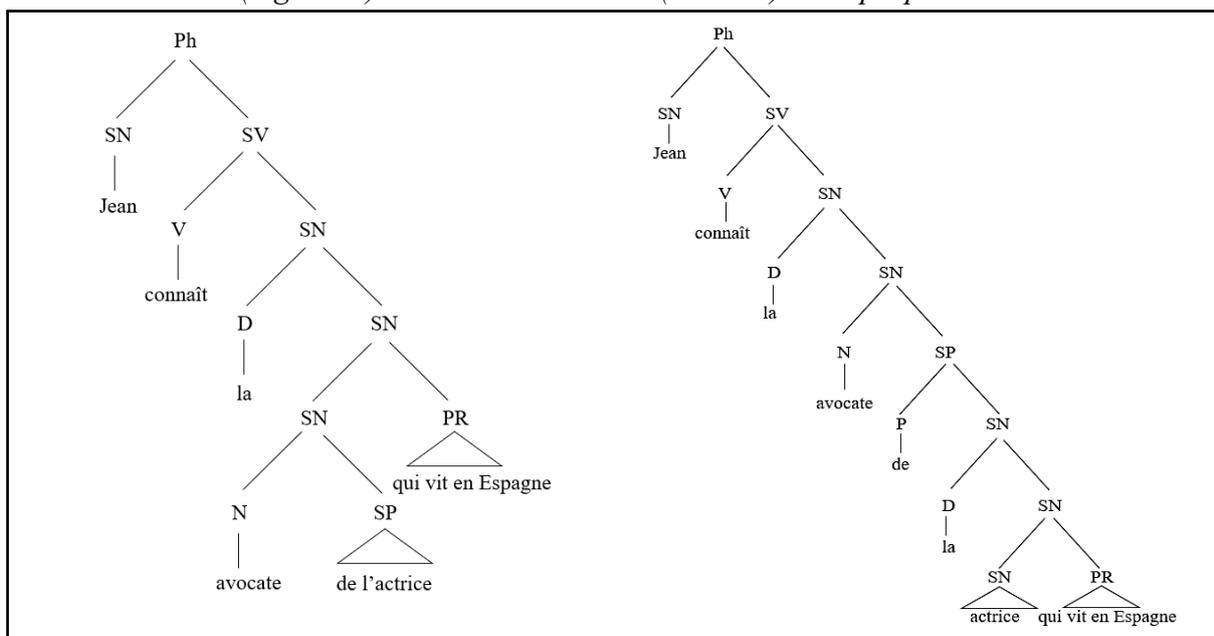
2. Relation au niveau du traitement syntaxique

2.1. Analogie syntaxique entre langage et mathématique

Comme le notent Scheepers et al. (2011), les opérations mathématiques possèdent des structures hiérarchiques qui peuvent ressembler aux structures syntaxiques des expressions linguistiques. Comme mentionné plus haut (section 2.1.1.), les phrases relatives ambiguës sont des phrases contenant une proposition relative pouvant être rattachée indifféremment au premier syntagme nominal (SN1) ou au second (SN2). Une phrase ambiguë comme *Jean connaît l'avocate de l'actrice qui vit en Espagne* a deux structures syntaxiques possibles : une structure où la relative est adjointe au SN1 *l'avocate de l'actrice* (attachement haut) une autre où la relative est adjointe au SN2 *l'actrice* (attachement bas). Ces architectures structurales sont illustrées dans la Figure 1, ci-dessous.

Figure 1.

Exemple de la structure architecturale simplifiée d'une phrase montrant l'interprétation à attachement haut (à gauche) et à attachement bas (à droite) de la proposition relative.



Ph = Phrase, SN = syntagme nominal, SV = syntagme verbal, PR = proposition relative, SP = syntagme prépositionnel, N = nom, V = verbe, D = déterminant

On peut comparer leur architecture aux structures hiérarchiques de certaines opérations mathématiques, comme illustré en (1) ci-dessous.

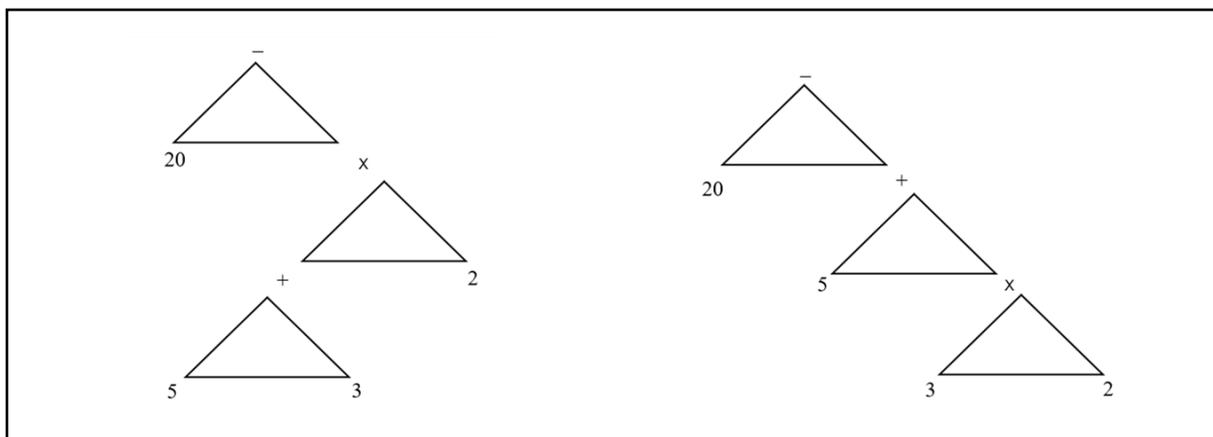
(1) a. $20 - (5 + 3) \times 2$

b. $20 - 5 + 3 \times 2$

Les deux opérations diffèrent en ce qui concerne la portée de l'opérateur de multiplication final. On peut noter que cette différence est analogue à la distinction entre l'attachement haut et bas des propositions relatives. Dans la 1^{ère} expression mathématique, $20 - (5 + 3) \times 2$, la multiplication a une portée sur une expression complexe sur sa gauche (5+3). Elle correspondrait donc à l'attachement haut de la relative, où le pronom relatif se combine avec un syntagme nominal complexe sur sa gauche. Dans la deuxième expression, $20 - 5 + 3 \times 2$, la multiplication porte uniquement sur le nombre à sa gauche. Elle correspondrait donc à l'attachement bas de la relative où le pronom relatif se combine avec l'expression nominale simple à sa gauche. Les structures hiérarchiques de ces deux opérations sont détaillées dans la Figure 2, ci-dessous.

Figure 2.

Représentations architecturales de la structure de deux opérations mathématiques simples : $20 - (5 + 3) \times 2$ (à gauche) $20 - 5 + 3 \times 2$ (à droite)



À un niveau abstrait, les énoncés linguistiques et arithmétiques se ressemblent en terme de forme globale des structures hiérarchiques, bien que toutes deux soient sur le plan de la sémantique. Il reste cependant une différence importante entre les expressions mathématiques et les phrases relatives quant à leur ambiguïté. En effet, si l'on considère les règles de préséance des opérateurs mathématiques, les expressions mathématiques comme $20 - 5 + 3 \times 2$ ne sont pas ambiguës.

Si les mathématiques et le langage présentent des similarités dans leur expression syntaxique, il faut se poser la question de savoir quelle est leur relation cognitive. S'appuient-ils sur des systèmes cérébraux distincts fonctionnant de manière indépendante ou partagent-ils un système ou des ressources de traitement ?

Nous allons donc chercher à savoir dans une seconde partie si les ressources cognitives allouées par la MDT pour le traitement syntaxique sont spécifiques au langage ou si elles s'étendent à d'autres domaines, comme les mathématiques et la musique.

2.2. Spécificité du traitement syntaxique en mémoire de travail

2.2.1. Mémoire de travail syntaxique

Bien que les chercheurs s'accordent sur le fait que le traitement d'une syntaxe complexe dépend des ressources disponibles de la MDT, ils ne sont pas d'accord sur la nature de ces ressources. Certains, inspirés par les travaux de Just et Carpenter (1992), plaident en faveur d'un réservoir unique de ressources en MDT, tandis que d'autres plaident pour une MDT modulaire, où différentes composantes contrôlent différents aspects du traitement de la phrase. Caplan et Waters (1999) affirment qu'il existe des modules spécialisés de la MDT pour le traitement des processus verbaux. Un de ces modules serait spécialisé dans l'analyse syntaxique des phrases. C'est ce qui sera nommé « mémoire de travail syntaxique » (MDTS). Une étude de Fiebach et al. (2001), s'appuyant sur des méthodes d'électrophysiologie (les potentiels évoqués) et de neuro-imagerie (l'IRM) apporte des preuves de son existence. Leurs données montrent que cette MDTS semble être un réseau bilatéral de régions cérébrales frontales inférieures et temporales supérieures, avec une latéralisation gauche dans la partie inférieure de la pars opercularis du gyrus frontal inférieur.

Se pose alors la question de savoir si cette MDTS est spécifique au traitement du langage ou si elle entre en jeu dans le traitement d'autres types de syntaxes comme en musique ou en mathématique.

2.2.2. Une théorie du partage des ressources de traitement : la SSIRH

Tout comme le langage et les mathématiques, la musique est un universel humain dans lequel des éléments sont organisés en séquences hiérarchiquement structurées selon des principes syntaxiques. Grâce aux techniques de neuro-imagerie, des études ont montré que la structure syntaxique de la musique et du langage semblait être traitée dans des zones dont on pensait auparavant qu'elles étaient principalement utilisées pour le langage, comme l'aire de Broca (Sammler et al., 2011). Patel et al. (1998) ont également constaté, grâce à une étude s'appuyant

sur les potentiels évoqués, que le signal cérébral émis lorsque quelque chose d'inattendu apparaît dans le langage était identique à celui produit lorsque quelque chose d'inattendu sur le plan syntaxique se produit dans la musique.

Pour Patel (2003), il existerait donc un chevauchement dans les zones et opérations neuronales qui fournissent les ressources pour l'intégration syntaxique. Il propose l'Hypothèse de Partage des Ressources d'Intégration Syntaxique (ou *Shared Syntactic Integration Resource Hypothesis*, SSIRH). Il suggère qu'il existerait une distinction entre deux types de réseaux cognitifs dans les domaines du langage et de la musique : les réseaux représentationnels et les réseaux de ressource. Les représentations des règles syntaxiques (stockées en MLT) sont spécifiques à chaque domaine. C'est l'exécution de ces règles qui fait appel à des réseaux de ressources qui se chevauchent. Varley et al. (2005) montrent que les patients atteints d'aphasie agrammaticale peuvent néanmoins obtenir de bons résultats dans diverses tâches mathématiques. Ces résultats confirment que les représentations de chaque domaine sont accessibles indépendamment par des réseaux cérébraux plus spécialisés dans les mathématiques et le langage.

Pour Kljajević (2010), le module d'interface entre ces réseaux serait la MDTs. Elle mettrait en lien les règles spécifiques au domaine stockées dans la MLT et les processus de MDT impliqués dans le traitement syntaxique selon ces règles. C'est au sein de cette MDTs que se chevaucheraient les réseaux de ressources de traitement. Il n'existerait pas de composante traitant spécifiquement de la syntaxe linguistique dans la MDT verbale. Kljajević a étendu le rôle de la MDTs au-delà de la langue pour y inclure la musique et les mathématiques.

Des expériences ont été réalisées afin de tester ces hypothèses. Fedorenko et al. (2007) mettent en évidence un effet d'interférence entre les tâches verbales linguistiques et les tâches non verbales arithmétiques, mais pas pour les tâches verbales linguistiques et les tâches non verbales visuo-spatiales. Leurs résultats fournissent donc des preuves d'un chevauchement des ressources utilisées pour les processus d'intégration linguistique et arithmétique.

Fiveach et Pammer (2014) mettent en évidence une interférence entre la mémorisation de phrases complexes et l'écoute d'un segment musical, mais pas entre la mémorisation d'une liste de mots et l'écoute d'un segment musical. Les autrices interprètent ces résultats comme étant la preuve qu'il existe des coûts de traitement partagés entre la musique et la syntaxe linguistique au sein de la MDT.

Le langage et les mathématiques partageraient donc des ressources de traitement syntaxique. Cependant, pour explorer les liens entre syntaxe mathématique et syntaxe langagière, la question se pose de savoir si ces domaines partagent également des ressources de construction de structure. Dans cette troisième partie, nous présenterons plusieurs études, qui, en mettant en évidence un effet d'amorçage intermodal des mathématiques sur le langage, apportent la preuve que ces deux domaines partagent également des ressources de construction de structure.

2.3. Effet d'amorçage intermodal comme preuve d'un partage des ressources de construction syntaxique

Comme l'expliquent Pozniak et al. (2018) « le partage de certaines ressources cognitives pour le traitement n'implique pas le partage de ressources pour la construction de structures, c'est-à-dire qu'une connexion peut être établie via des représentations abstraites entre les domaines (et donc l'amorçage entre les domaines) ». Il est donc intéressant, pour approfondir notre compréhension du lien qui unit langage et mathématiques, de réaliser des études d'amorçage inter-domaine. En effet, celles-ci permettent de tester plus directement le lien entre le domaine linguistique et les domaines non linguistiques en ce qui concerne les représentations abstraites.

Scheepers et al. (2011) mènent une expérience d'amorçage inter-modal qui confirme que les mathématiques et le langage utilisent les mêmes représentations à un haut niveau d'abstraction. Leurs résultats ont montré que lorsque les participant·es résolvent au préalable une opération mathématique ayant une certaine configuration structurelle (à attachement haut ou bas), la phrase cible sera traitée de telle sorte que sa structure sera similaire à celle de l'opération. C'est-à-dire que, après avoir résolu une opération d'amorçage à attachement haut - par exemple, $20 - (5 + 3) \times 2$ -, confrontés à une phrase relative ambiguë, les sujets auront tendance à rattacher la proposition relative au premier syntagme nominal, donc à privilégier l'attachement haut, et inversement.

Les auteurs proposent deux explications quant au niveau d'abstraction auquel le langage et les mathématiques partagent des représentations. La première hypothèse est de nature purement déclarative et implique une représentation abstraite de la "forme" globale d'une structure (par exemple, si elle est ramifiée à gauche ou à droite) sans spécifier les détails de la composition interne des éléments dans cette structure globale. Ils supposent que, puisque les structures à attachement haut et bas ne se distinguent pas par une structure purement locale, les sujets doivent conserver des représentations structurelles globales des opérations et des phrases dans la MDT.

Une autre explication de cet effet d'amorçage serait basée sur le modèle incrémental-procédural, qui suppose que le calcul d'une expression mathématique se fait principalement de gauche à droite, tout comme la lecture d'une phrase. Ainsi, pour l'opération à attachement bas, $20 - 5 + 3 \times 2$, les trois premiers chiffres seraient initialement combinés pour donner un résultat temporaire de 18. Ce résultat temporaire doit ensuite être révisé car l'opérateur de multiplication a besoin d'un terme à sa gauche, et les règles de priorité lui imposent de se combiner avec 3.

Il est largement admis que le traitement du langage est incrémental : en d'autres termes, l'analyseur syntaxique traite les mots dans un ordre de gauche à droite tout en développant une représentation du sens de la phrase (Marslen-Wilson, 1973). Au niveau syntaxique, par exemple, cette hypothèse est soutenue par l'effet *garden path* (Frazier, 1985), qui est généralement interprété comme une preuve que les gens n'attendent pas d'informations potentiellement utiles pour désambiguïser avant de s'engager dans une analyse syntaxique.

Ces travaux sont poursuivis par Scheepers et Sturt (2014), qui s'attachent à observer si cet effet d'amorçage serait bidirectionnel. Les résultats confirment les conclusions portées par l'étude de Scheepers et al. (2011), c'est-à-dire qu'il existe bien un effet d'amorçage des mathématiques vers le langage, et donc que ceux-ci partagent des représentations à un certain niveau d'abstraction. Ils mettent également en évidence que cet effet d'amorçage est bidirectionnel, c'est-à-dire des mathématiques vers le langage et du langage vers les mathématiques.

Les auteurs tirent la conclusion que le langage et les mathématiques partagent effectivement des représentations mentales abstraites, et leur accès à ces représentations est identique. Cet effet d'amorçage structurel inter-domaines a été la première démonstration comportementale que le langage et les mathématiques partagent des représentations de structures hiérarchiques abstraites.

Pozniak et al. (2018) cherchent à savoir si cet effet d'amorçage inter-structurel peut également être généralisé sur une tâche *on-line*, en temps réel, qui mesure la compréhension de la phrase en temps réel, grâce à la technique de l'oculométrie, le *eye tracking*, moins sujette aux effets métalinguistiques ou stratégiques. Les auteur·ices font l'hypothèse que, comme l'a montré Patel (2003) pour le langage et la musique, les opérations de traitement de base pour la construction de structures hiérarchiques sont partagées entre les expressions mathématiques et linguistiques.

Les résultats de l'expérience d'*eye tracking* semblent valider le modèle incrémental-procédural proposé par Scheepers et al. (2011). Les preuves de l'amorçage structurel apparaissent dès que le pronom relatif « qui » a été rencontré dans le flux de parole, ce qui confirme l'hypothèse selon laquelle l'amorçage structurel inter-domaines influence l'intégration syntaxique immédiate (incrémentale) des pronoms relatifs pendant le traitement des phrases.

Nous avons exposé le rôle que joue la MDT dans la compréhension syntaxique. Nous avons également présenté les théories qui postulent que mathématiques et langage partagent des ressources de traitement au sein de la MDTS.

Nous allons à présent présenter notre protocole expérimental visant à comprendre le rôle que joue la MDT dans l'effet d'amorçage syntaxique des mathématiques sur la compréhension syntaxique de phrases orales. Nous présenterons ensuite les résultats obtenus, avant de les discuter.

ETUDE EXPERIMENTALE

I. Problématique et hypothèses

Comme nous l'avons exposé dans la partie théorique, le traitement syntaxique des phrases fait peser une charge cognitive plus ou moins importante selon la complexité des phrases. Ces ressources cognitives, et donc les capacités de traitement syntaxique, présentent des variations interindividuelles. On sait également que les capacités en MDT augmentent exponentiellement entre l'enfance et le début de l'âge adulte.

La question se pose encore de savoir précisément en quoi les structures syntaxiques et les capacités cognitives nécessaires à leur traitement sont spécifiques au langage. Pour Patel (2003) et Kljajević (2010), un chevauchement des réseaux de ressources entre le traitement syntaxique mathématique et linguistique aurait lieu au sein de la MDTS. De récentes études menées sur les effets d'amorçage mathématique (Pozniak et al., 2018 ; Scheepers et al., 2011 ; Scheepers et Sturt, 2014) ont également mis en évidence un partage de ressources pour la construction de structures syntaxiques.

Ce mémoire a pour objectif de mieux comprendre quels sont les liens cognitifs qui unissent langage et mathématique. Nous nous attacherons à savoir s'il existe un effet d'amorçage des structures mathématiques sur les préférences d'attachement des propositions relatives chez des adolescent·es monolingues. Nous chercherons également à observer dans quelles mesures les capacités en mémoire de travail influent sur cette relation. Nos hypothèses, au vu de la littérature sont les suivantes :

1. Les adolescent·es français·es montrent une préférence pour l'attachement haut de la relative (Frenck-Mestre et Pynte, 1997 ; Zagar et al., 1997)
2. Les capacités en MDT sont corrélées aux préférences d'attachement, c'est-à-dire qu'on s'attend à observer plus de préférences pour l'attachement bas chez les participant·es ayant des capacités plus fragiles en MDT (Felser et al., 2003).
3. Il existe un effet d'amorçage syntaxique des mathématiques sur la compréhension orale de phrase (Pozniak et al., 2018 ; Scheepers et al., 2011 ; Scheepers et Sturt, 2014).
4. L'effet d'amorçage mathématique est corrélé aux capacités en MDT. On s'attend à retrouver un effet d'amorçage plus fort chez les participant·es ayant de bonnes capacités en MDT (Cleland & Pickering, 2003 ; Foltz et al., 2015).

II. Méthodologie

1. Participant·es

Pour investiguer l'effet de l'amorçage mathématique sur les préférences d'attachement des propositions relatives chez une population d'adolescent·es tout-venant, nous avons recruté 26 participant·es. 12 étaient scolarisé·es en classe de 4^e, 14 en classe de 3^e. Les âges variaient entre 13,5 et 15,9 ans, avec une moyenne de 14,3 ans (écart-type = 0,89). Les participant·es ont été recruté·es au sein de mon cercle personnel et parmi les élèves du Collège de Bretagne (Nantes).

Tous les sujets sont locuteurs natifs du français. Ils ne présentent pas de trouble du langage, ni de trouble du raisonnement mathématique, ou autre trouble neuro-développemental. Leur audition est normale et leur vision normale, ou corrigée à la normale. Tous les sujets étaient « naïf·ves » quant à l'objectif de l'expérience.

2. Matériel et procédure

2.1. Procédure

La situation sanitaire et la fermeture des écoles aux intervenant·es extérieur·es ont modifié le calendrier initial. Les entretiens ont été décalés au mois de mars 2022. Les passations des participant·es recruté·es parmi mon cercle personnel se sont déroulées sur 3 journées, au domicile des participant·es. Les passations au Collège de Bretagne se sont déroulées sur 2 journées entre fin mars et début avril 2022. Une journée a été consacrée aux 12 élèves de 4^{ème}, une deuxième journée aux 14 élèves de 3^{ème}.

La durée totale de chaque passation était de 15 à 25 minutes en fonction des épreuves proposées. Les participant·es ont été testé·es individuellement dans une pièce calme, par la même examinatrice (moi-même).

Les droits de participation à l'étude ont été présentés aux participant·es avant la passation de l'expérience à travers la notice d'information et la signature de la lettre de consentement éclairé par les parents ou tuteur·ices légal·es (voir Annexe 1 et Annexe 2) ainsi qu'un rappel oral au début de l'entretien. La confidentialité de l'identité des participant·es a été garantie par l'anonymisation systématique de toutes les données sensibles lors de l'analyse des résultats.

2.2. Tâches expérimentales

Trois tâches expérimentales ont été élaborées pour cette expérience : une tâche de compréhension de phrases sous forme de sélection d'image, une tâche d'amorçage mathématique, ainsi qu'une tâche de MDT. Tous les matériels ont été présentés sur un ordinateur portable. La tâche de compréhension de phrases ainsi que la tâche d'amorçage mathématique sont hébergées sur le logiciel Psychopy (Pierce & MacAskill, 2018), un logiciel gratuit qui permet de créer et conduire une grande variété d'expériences psycholinguistiques. La tâche de MDT a, elle, été présentée sous forme de Power Point.

La tâche de MDT a été présentée en premier, à tous·tes les participant·es. La tâche de compréhension de phrases a été présentée aux 8 adolescent·es qui ont constitué le groupe contrôle. La tâche d'amorçage mathématique a été présentée aux 18 adolescent·es qui ont formé le groupe cible. Nous allons maintenant nous attacher à décrire chaque tâche expérimentale.

2.2.1. Tâche de compréhension de phrases

Nous avons d'abord administré une tâche de compréhension de phrases sous forme de sélection d'image (*Picture selection task*) à un groupe contrôle de 8 adolescent·es. Les résultats établissent les préférences d'attachement des relatives pour les adolescent·es. Cette tâche consiste à présenter deux images sur l'écran de l'ordinateur accompagnées d'un stimulus sonore (la phrase-test prononcée par une voix féminine). Les participant·es doivent choisir l'image qui correspond mieux à la phrase qu'ils ont entendue.

Nous avons fait en sorte que l'intonation de la phrase soit la plus neutre possible. Cependant nous n'avons pas pu contrôler cette variable de manière rigoureuse. Ce biais sera discuté plus bas dans la discussion (section IV.5.1).

La tâche comprend au total 30 items : 15 phrases cibles, et 15 phrases de remplissage. La liste complète des items se trouve en annexe 3.

Les 15 phrases cibles présentées dans cette tâche comportent une proposition relative ambiguë introduite par le pronom relatif sujet *qui*, comme illustré en (1) ci-dessous. Dans cette phrase, la relative *qui va faire du vélo* a deux antécédents potentiels : le premier syntagme nominal (SN1) *le père*, qui correspond à un attachement haut ou le deuxième syntagme nominal (SN2) *le garçon*, qui correspond à un attachement bas.

(1) *Montre-moi le père du garçon qui va faire du vélo.*

Chaque item cible est donc composé d'une phrase prononcée à l'oral accompagnée de deux images (voir Figure 3 ci-dessous). Chaque image proposée correspond à l'une des interprétations possibles (attachement bas ou attachement haut), leur choix indique donc la préférence du sujet pour l'une ou l'autre des interprétations. La variable dépendante de cette tâche est donc une réponse binaire qui indique si les participant·es ont choisi l'« attachement haut » ou l'« attachement bas » des relatives. Les images ont été créées pour cette tâche en s'inspirant de celles utilisées par Costa et al. (2016). En effet, l'utilisation de Playmobil®, nous a paru plus pertinente que des dessins. Cela permettait d'obtenir facilement des images claires, lisibles, qui ne posent pas de problèmes d'interprétation, sans avoir besoin de compétences spécifiques.

Figure 3

Exemple d'images correspondant à la phrase cible « Montre-moi le père du garçon qui va faire du vélo ».



15 items de remplissage ont également été intercalés parmi les items cibles. Leur rôle était de distraire les participant·es de l'objectif de l'étude. Chaque item de remplissage est composé d'une phrase prononcée à l'oral accompagnée de deux images. Les phrases comprennent une proposition relative dont l'attachement n'est pas ambigu, comme illustré en (2) ci-dessous. Parmi les deux images présentées, seule une représente la phrase entendue, l'autre représente une autre action (voir Figure 4 ci-dessous).

(2) *Montre-moi l'homme qui va cuisiner.*

Figure 4

Exemples d'images correspondant à la phrase de remplissage « Montre-moi l'homme qui va cuisiner ».



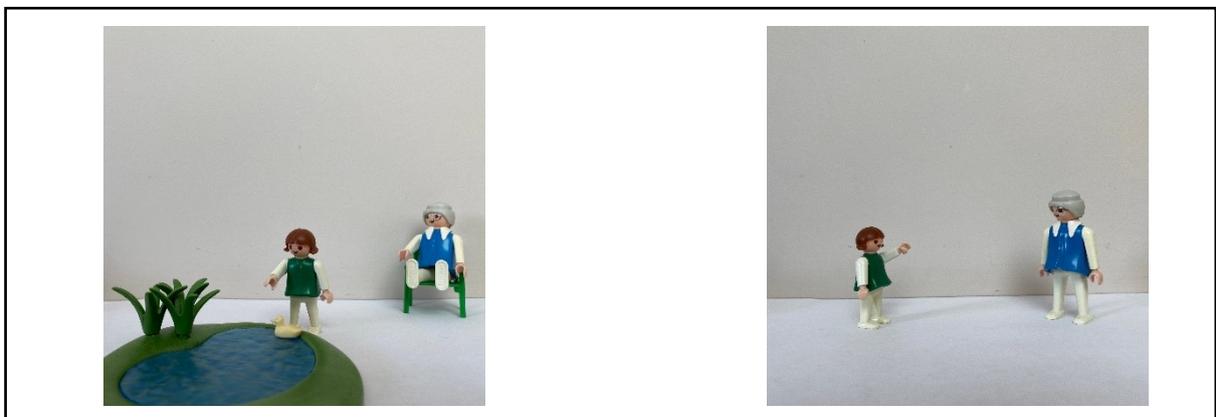
Cette tâche est précédée d'un court entraînement comprenant 4 items. Chaque item est composé d'une phrase relative non ambiguë prononcée à l'oral, comme illustré en (3) ci-dessous, et de deux images, dont seulement l'une correspond à la phrase prononcée par la voix féminine (voir Figure 5 ci-dessous). L'objectif de l'entraînement est d'habituer les sujets à la tâche.

L'ordre de présentation des items a été randomisé.

(3) *Montre-moi la fille qui salue la dame*

Figure 5

Exemples d'images correspondant à la phrase d'entraînement « Montre-moi la fille qui salue la dame »



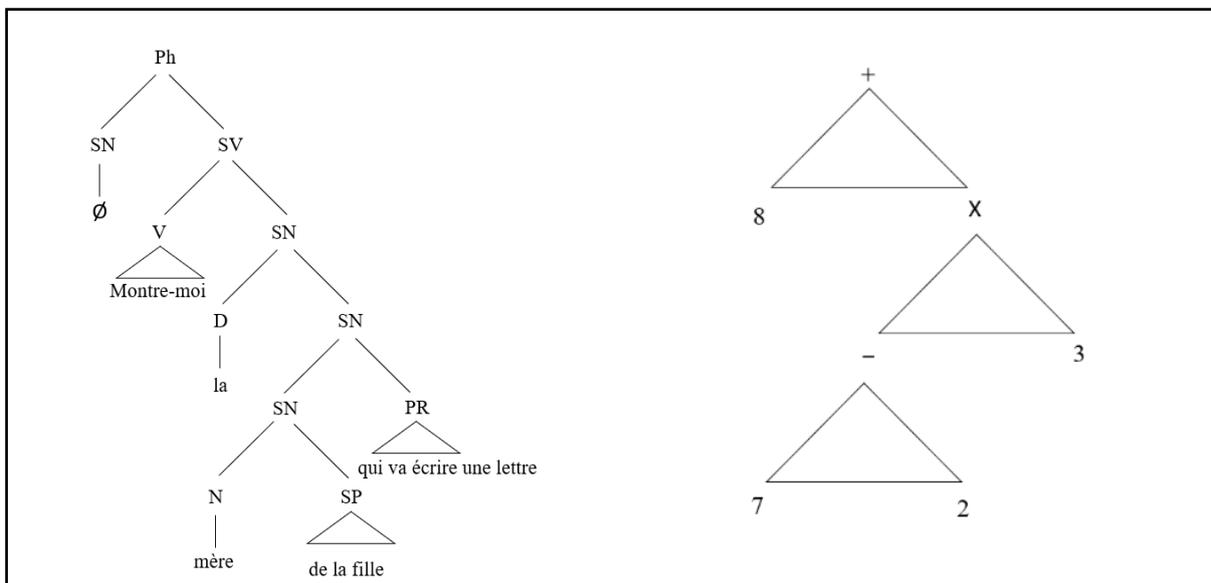
2.2.2. Tâche d'amorçage mathématique

Cette tâche a été élaborée à partir de la tâche d'amorçage mathématique utilisée par Pozniak et al. (2018). Elle est similaire à la tâche de compréhension de phrases, puisqu'elle comprend les items de sélection d'image. La seule différence réside dans le fait que tous les items linguistiques sont précédés d'une opération mathématique.

Les participant·es à cette tâche doivent juger 15 phrases cibles contenant des propositions relatives ambiguës, les mêmes que celles utilisées pour la tâche de compréhension de phrases (voir annexe 3 pour une liste complète des items expérimentaux). Chaque phrase est précédée par une opération mathématique dont la syntaxe force le ou la participant·e à choisir un attachement bas ou haut. La liste complète des items se trouve en annexe 4. Pour chaque item mathématique, nous avons construit deux versions : une version dont la réponse correcte correspond à un attachement haut, et une version dont la réponse correcte correspond à un attachement bas. Les figures ci-dessous illustrent les architectures syntaxiques similaires pour les couples d'items à attachement haut (Figure 6) et à attachement bas (Figure 7).

Figure 6.

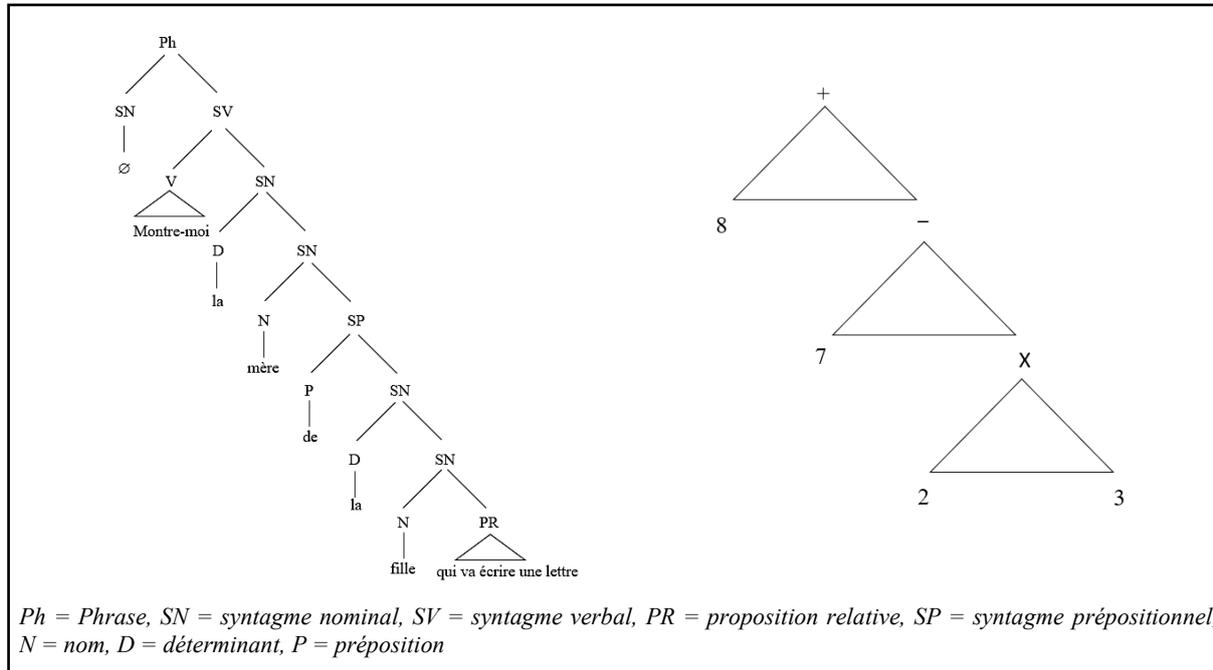
Exemple de correspondance d'architectures syntaxiques (simplifiées) entre opération et phrase relative ambiguë à attachement haut : Montre-moi la mère de la fille qui va écrire une lettre et $8 + ((7 - 2) \times 3)$.



Ph = Phrase, SN = syntagme nominal, SV = syntagme verbal, PR = proposition relative, SP = syntagme prépositionnel, N = nom, D = déterminant

Figure 7.

Exemple de correspondance d'architectures syntaxiques (simplifiées) entre opération et phrase relative ambiguë à attachement bas : Montre-moi la mère de la fille qui va écrire une lettre et $8 + 7 - (2 \times 3)$.



Ces opérations sont facilement résolubles sans avoir besoin de recourir à une calculatrice, le résultat est toujours un nombre entier non négatif. Dans les opérations à attachement haut, une opération de multiplication ou de division à la fin est précédée d'un terme entre parenthèses (soit une addition, soit une soustraction) à sa gauche, comme illustré en (4) ci-dessous. Dans les opérations à attachement bas, selon les règles de priorité, la multiplication ou la division finale prend le pas sur les autres nombres, comme illustré en (5) ci-dessous.

(4) Opération à attachement haut : $3 + ((4 - 1) \times 2) = \{9 \mid 12\}$

(5) Opération à attachement bas : $3 + (4 - (1 \times 2)) = \{12 \mid 5\}$

Nous avons choisi de rajouter des parenthèses, redondantes, pour s'assurer que le ou la participant·e respecte l'ordre de l'opération. Sheepers et al. (2011) ont en effet constaté que les parenthèses redondantes diminuaient le risque d'erreurs dans la résolution des opérations pour les participant·es moins doué·es en mathématiques, ce qui permet donc de renforcer l'effet d'amorçage des mathématiques sur les expressions linguistiques.

Deux possibilités de réponse sont présentées à l'écran. Une des réponses est correcte et nous permet de nous assurer que le ou la participant·e a respecté l'attachement forcé (haut ou bas). L'autre réponse est incorrecte et correspond toujours au résultat du traitement linéaire de

l'opération sans tenir compte des règles de priorité des opérateurs. Les items faux seront écartés de l'analyse.

En plus des items cibles, nous avons utilisé 15 items de remplissage, les mêmes que ceux utilisés dans la tâche de compréhension de phrases. Chaque phrase de remplissage est également associée à une opération de remplissage dont la structure diffère des opération cibles – par exemple $(11 - 5) \times 2 = \{12 | 1\}$.

Deux listes d'items ont été créées pour cette tâche. Dans chacune des listes, on retrouve les 15 items cibles et 15 items de remplissage. Si la phrase cible a été appariée à une opération à attachement haut dans la liste 1, alors elle sera appariée à une opération à attachement bas dans la liste 2. De cette manière, on s'assure qu'un.e participant.e ne voie pas le même item mathématique dans les deux conditions (attachement haut et attachement bas). L'ordre de présentation des items cibles et des items de remplissage a été randomisé à l'intérieur de chaque liste.

On a attribué aux participant·es l'une ou l'autre des listes de manière aléatoire.

Cette tâche est également précédée d'un court entraînement comprenant 4 items précédés chacun d'une opération. L'objectif de l'entraînement est d'habituer les sujets à la tâche.

2.3. Tâche de mémoire de travail

Cette tâche est la version orale de la tâche d'empan de lecture, le *Reading Span Task* de Daneman et Carpenter (1980), appelée tâche d'empan oral, *Listening Span Task*. Dans cette tâche, les participant·es doivent écouter des séries de blocs de phrases. 4 séries de phrases ont été créées, chacune comprenant trois blocs, de 2, 3, 4 ou 5 phrases. La tâche compte donc au total 42 phrases.

Après avoir entendu chaque phrase, les sujets doivent porter un jugement de véracité. Cela permet de s'assurer que la phrase est traitée entièrement, et que l'attention n'est pas uniquement portée sur le dernier mot. Après avoir écouté le bloc en entier, les sujets doivent rappeler les mots finaux des phrases qu'il comporte. Le nombre de phrases varie selon la série : il va de 2 phrases pour la première série à 5 phrases pour la dernière. Une série contient toujours 3 blocs. Le bloc 1 de la série 3 compte par exemple 3 phrases, comme illustré en (6) ci-dessous. La liste complète des phrases se trouve en annexe 5.

- (6) a. Les molécules contiennent des atomes. (vrai)
- b. Les légumes sont mauvais pour la santé. (faux)
- c. L'italien et le français sont des langues latines. (vrai)

La passation s'arrête lorsque le ou la participant·e échoue aux 3 blocs d'une même série. L'empan attribué aux participant·es correspond au nombre de phrases contenues dans les blocs de la dernière série qu'il a réussie, c'est-à-dire, la dernière série où le rappel est correct dans au moins 2 blocs sur 3. Si la série n'est réussie que sur 1 bloc, alors 0,5 points étaient rajoutés au score. Par exemple, un sujet qui aurait réussi 2 blocs de la série 1 et 1 bloc de la série 2 se verrait attribuer un score de 2.5. L'empan maximum est de 5.

Les phrases sont toutes de longueur équivalente (entre 9 et 12 syllabes). Les mots rappelés sont de même longueur (2 syllabes) et ne présentent pas de lien sémantique ni de ressemblance phonologique. Ainsi, les sujets ne peuvent pas mettre en place de stratégie de mémorisation.

III. Résultats

1. Analyse statistique

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel JASP (version 0.16.2 ; JASP Team 2022), un programme de statistique multiplateforme gratuit et open source, développé par des chercheur·euses de l'Université d'Amsterdam.

1.1. Résultats de la tâche de compréhension de phrases

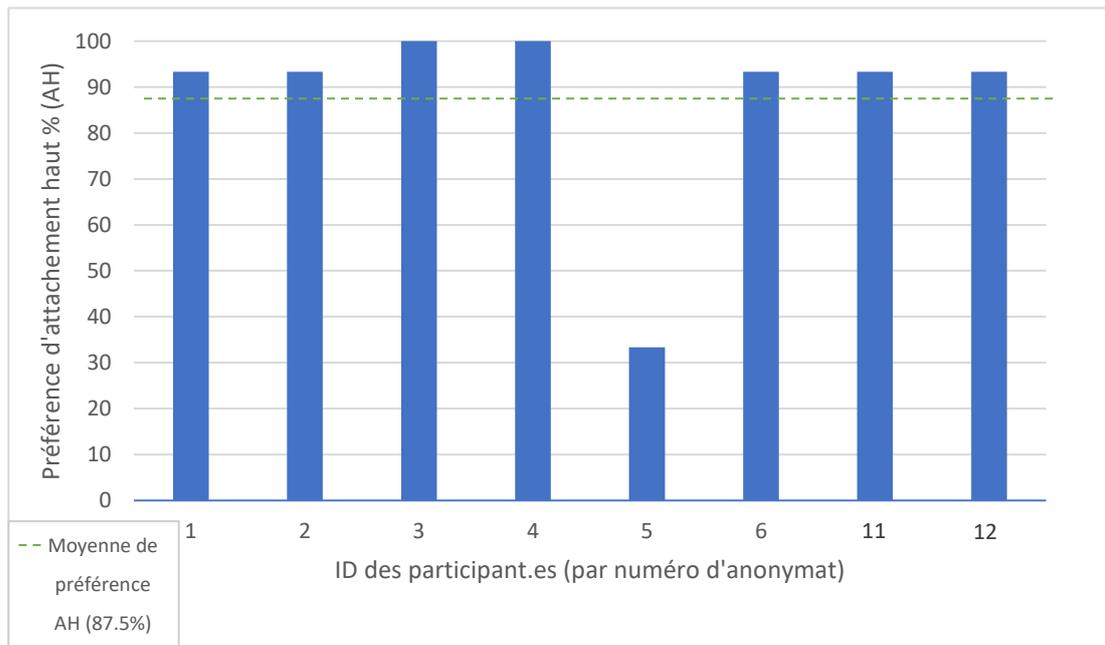
La tâche de compréhension de phrases a été présentée aux 8 adolescent·es du groupe contrôle afin d'établir leurs préférences d'attachement. La consigne a bien été comprise puisque 100% des items d'entraînement ont été réussis. La tâche a donc été présentée à tous·tes les participant·es. Les adolescent·es ne présentaient pas de difficultés de compréhension du langage oral, puisque le taux de réussite aux items de remplissage était de 97%.

Les résultats montrent clairement une préférence d'attachement pour le N1, ce qui correspond à un attachement haut de la relative. En effet, on relève en moyenne pour chaque participant·e 87.5% de réponses correspondant à un attachement haut (écart-type = 22). La Figure 8, ci-dessous, montre les préférences d'attachement de chaque participant·es, identifié·es par leur numéro d'anonymat.

Sur les 8 sujets, 1 participant-e montrait des résultats qui différaient par rapport à la norme du groupe contrôle (à plus de 2 écarts-types de la moyenne). Nous nous attacherons à les décrire ci-dessous, dans la section Discussion (IV.1.1.)

Figure 8

Moyenne de préférence pour l'attachement haut de la relative pour chaque participant-e du groupe contrôle



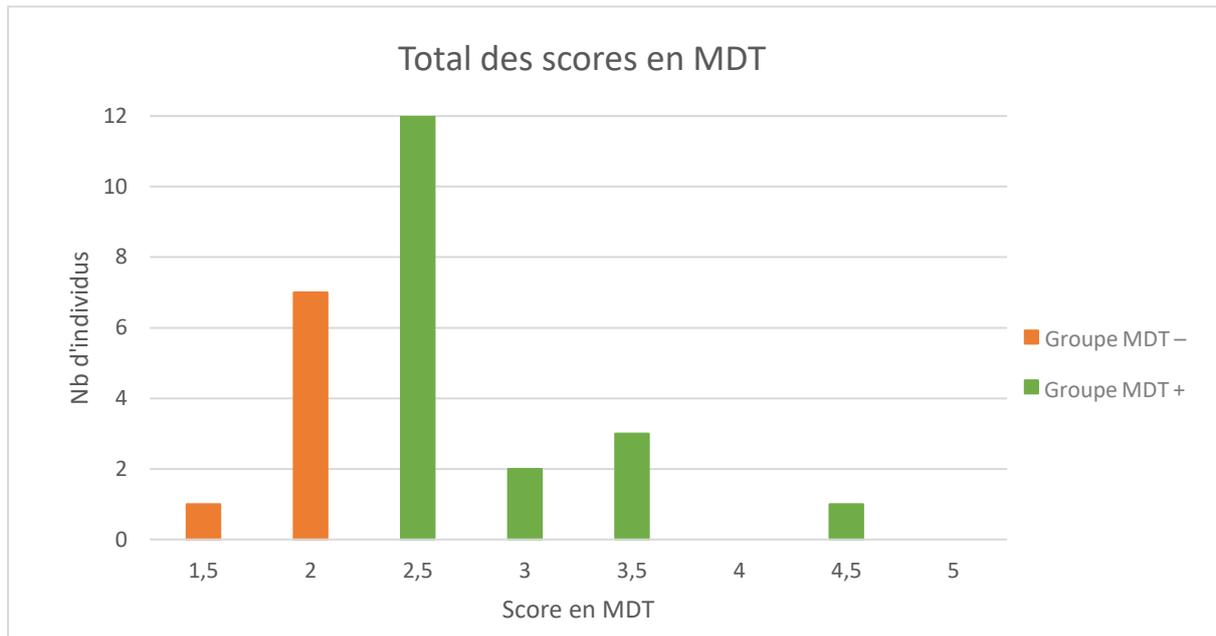
1.2. Résultats de la tâche de mémoire de travail

La tâche de MDT a été présentée à l'ensemble des participant-es (8 pour le groupe contrôle, 18 pour le groupe cible). La moyenne des scores est de 2.5 (écart-type = 0.63). En moyenne, les sujets étaient donc capables de retenir jusqu'à 1 bloc de 3 phrases correctement. Les scores variaient de 1.5 à 4.5. Le graphique ci-dessous (voir Figure 9) illustre le nombre de participant-es pour chaque score en MDT. Plus de la moitié de notre cohorte obtient un score compris entre 2 et 2.5 (7 obtiennent 2, 12 obtiennent 2.5). On observe par conséquent très peu de résultats situés en dehors de cet intervalle.

Nous avons divisé nos participant-es en deux groupes : les participant-es ayant un score en MDT en dessous de la moyenne (< 2.5), que nous nommerons « MDT- », et celles et ceux ayant un score en MDT dans la moyenne ou au-dessus (≥ 2.5), que nous nommerons « MDT+ ». 18 participant-es font partie du groupe ayant un score dans la moyenne, ou au-dessus, ce sont les participant-es qui ont une bonne MDT. 8 participant-es ont un score qui se situe sous la moyenne, et ont donc une MDT fragile.

Figure 9

Nombre de participant-e par score en MDT



Corrélation entre mémoire de travail et préférence d'attachement

Nous avons cherché à savoir si les scores en MDT étaient positivement corrélés à une préférence pour l'attachement haut chez les 8 sujets du groupe contrôle (qui n'avaient pas été exposés à l'amorçage mathématique). Nous avons effectué un test de Spearman, après avoir confirmé que les données n'étaient pas distribuées normalement grâce à un test de Shapiro-Wilk ($p < 0.001$). L'analyse statistique ne nous permet pas de mettre en évidence une corrélation entre score en MDT et préférence d'attachement ($p = 0.214$).

Face à ces résultats, et puisque notre étude n'a pas permis de mettre en évidence un effet d'amorçage (voir III.1.3.), nous avons choisi d'analyser les résultats du groupe cible. Il nous a paru intéressant de vérifier si les résultats étaient identiques parmi une cohorte d'individus plus grande.

Nous avons procédé à une analyse par corrélation de Spearman, après avoir confirmé que les données n'étaient pas distribuées normalement grâce à un test de Shapiro-Wilk ($p < 0.001$). Elle a mis en évidence une corrélation forte entre capacités en MDT et préférence pour l'attachement haut de la relative ($r_s = 0.6$, $p < 0.01$). Les résultats de l'analyse statistiques sont exposés ci-dessous (voir Tableau 1).

Tableau 1*Tableau de résultats d'analyse JASP*

Spearman's Correlations			
Variable		Score MDT groupe cible	Préférence AH du groupe cible
1. Score MDT groupe cible	Spearman's rho	—	
	p-value	—	
2. Préférence AH du groupe cible	Spearman's rho	0.600**	—
	p-value	0.008	—

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

1.3. Résultats de la tâche d'amorçage mathématique

La tâche d'amorçage mathématique a été présentée aux 18 participant-es du groupe cible. Les items d'entraînement de mathématiques et de compréhension de phrases ont été réussis à 100%, nous avons donc présenté la tâche à tous-tes les participant-es. Les sujets ne présentaient pas de difficultés pour résoudre les items mathématiques, puisqu'on relève un taux de réussite de 97.2% aux items mathématiques (écart-type = 3.9). Les items de remplissage, plus simples à résoudre, ont été aussi bien réussis que les items cibles (taux de réussite respectivement de 97.4% et 97%). Sur les 18 participant-es seul-e 1 présentait un écart à la norme (à plus de 2 écarts-types), avec un taux de réussite de 86.6% aux items mathématiques. Nous avons choisi de ne pas éliminer ce ou cette participant-e de notre analyse, puisque malgré ses plus faibles résultats, seuls 3 items cibles sont erronés. Nous avons donc simplement écarté les items faux de notre analyse, comme nous l'avons fait pour les autres participant-es.

Influence de l'amorçage mathématique sur les préférences d'attachement

Pour effectuer notre analyse statistique, nous avons codé « 1 » pour les opérations simulant l'attachement haut (AH), et « 0 » les opérations simulant l'attachement bas (AB). La variable dépendante était de la même manière une réponse binaire indiquant si les participant-es ont choisi l'attachement haut (codé « 1 ») ou l'attachement bas (codé « 0 ») des relatives. On cherche à savoir si un « 0 » dans la colonne des opérations mathématiques entraînera un « 0 » dans la colonne des préférences d'attachement, et inversement, si un « 1 » dans une colonne entraînera un « 1 » dans l'autre colonne. Concernant les erreurs dans les items mathématiques, nous ne pouvons pas savoir s'il s'agit simplement d'une erreur de calcul mental ou d'une erreur

dans l'ordre de résolution des opérations (non respect des parenthèses). Nous avons donc choisi de retirer les items faux (7 items) de notre analyse.

L'analyse par régression logistique ne montre pas d'effet d'amorçage significatif ($p = 0.606$).

Pour aller plus loin, nous avons cherché à savoir si nous pouvions mettre en évidence un effet d'amorçage chez les individus ayant de bonnes capacités en MDT. Nous supposons que nous n'avons pas trouvé d'effet d'amorçage significatif chez les 18 sujets du groupe cible, car nous n'avons pas écarté les sujets ayant de faibles capacités en MDT. En effet, comme nous l'avons exposé plus haut (section I.2.3.), Cleland et Pickering (2003) ont affirmé que la MDT joue un rôle dans l'effet d'amorçage, ce qu'ont confirmé Foltz et al. (2015) en montrant qu'on retrouvait moins d'effet d'amorçage chez les enfants ayant de plus faibles capacités en MDT. Nous avons reproduit la même analyse par régression logistique que précédemment, mais en prenant en compte uniquement les résultats observés parmi les sujets du groupe « MDT + ». L'analyse statistique n'a pas montré d'effet d'amorçage significatif chez les participant-es du groupe « MDT + » ($p = 0.606$).

2. Analyse qualitative

2.1. Effet d'amorçage mathématique

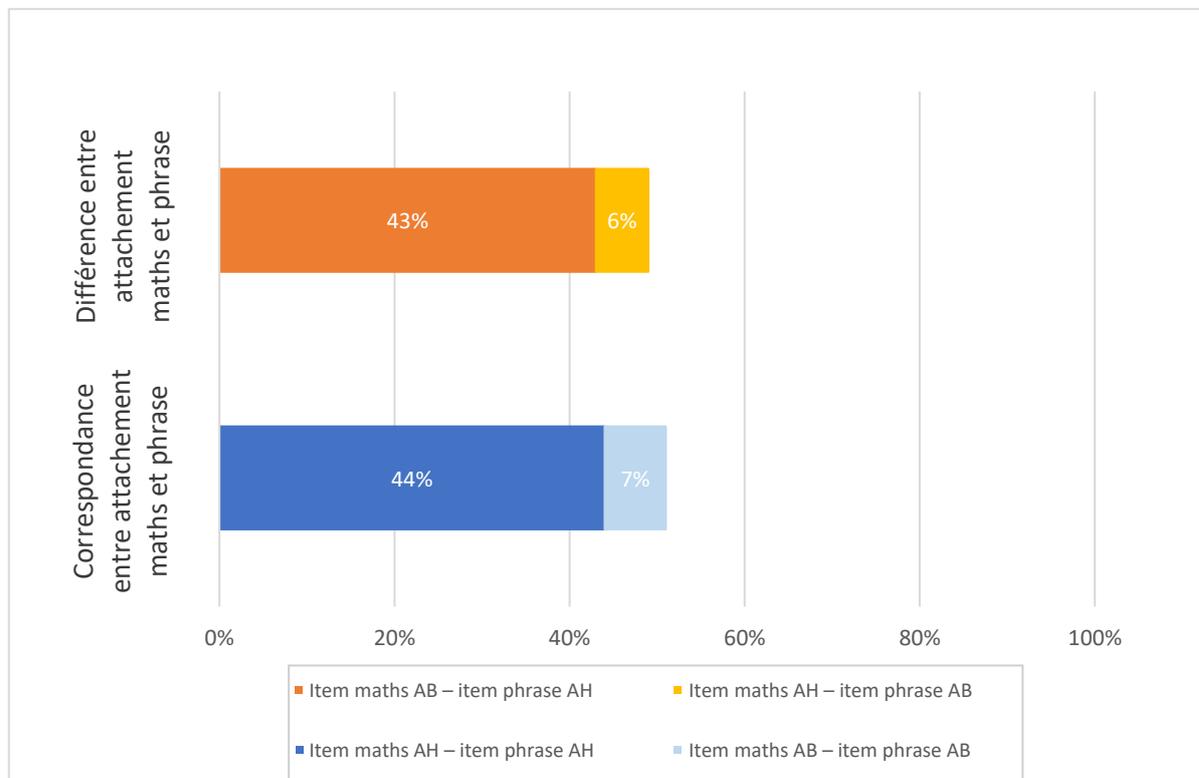
Sur la Figure 10 ci-dessous, on peut observer une correspondance entre l'opération mathématique et la préférence d'attachement pour 51% des items (colonne bleue). Cependant, on a relevé que les participant-es du groupe contrôle montraient une nette préférence pour l'attachement haut. La corrélation « item mathématique AH – item phrase AH » ne serait pas due à un effet d'amorçage, mais tout simplement à une préférence pour l'attachement haut de la relative. Cette interprétation est confirmée par le fait que, pour 43% des items, les participant-es ont choisi l'attachement haut de la relative, même après avoir été exposé-es à une opération simulant un attachement bas. La préférence d'attachement haut est forte et résiste à la présentation d'une amorce mathématique à attachement bas.

On relève également que seuls 7% des items pourraient refléter un « vrai » effet d'amorçage. En effet, si l'on généralise les résultats obtenus dans la tâche de compréhension de phrases du groupe contrôle, qui viennent confirmer les études précédemment menées (Frenck-Mestre & Pynte, 1997 ; Zagar et al., 1997), on peut considérer que les adolescent-es français-es montrent une préférence pour l'attachement haut de la relative. Ainsi, pour seulement 7% des phrases, les participant-es ont choisi l'attachement bas après avoir été exposé-es à des opérations à

attachement bas. Ils et elles sont allé.es à l'encontre de ce que l'on suppose être leur préférence d'attachement.

Figure 10

Type d'attachement des couples d'items mathématique-phrased



Si l'on se penche sur les 7% de résultats qui pourraient refléter un « vrai » effet d'amorçage, 3 phrases y sont majoritairement prévalentes. L'ensemble des phrases que l'on retrouve parmi ces 7% d'items AB-AB sont représentées dans la Figure 11, ci-dessous.

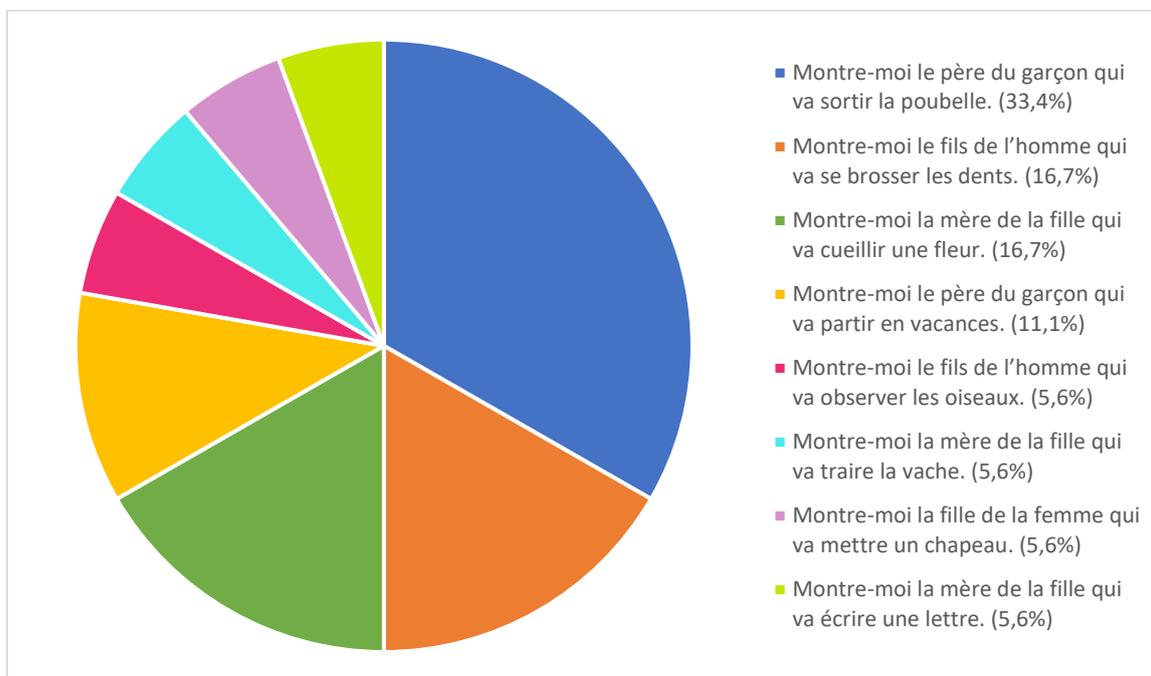
Par ailleurs, si l'on considère l'ensemble des phrases cibles présentées lors de notre étude (15 phrases pour 26 participant-es, soit 390 phrases), on note que chaque phrase est choisie à attachement haut 87.4% du temps (écart-type = 8.2). Or, on observe 3 phrases qui montrent un écart par rapport à cette moyenne (à plus de 2 écarts-types) : *Montre-moi le père du garçon qui va sortir la poubelle* (69.2% AH), *Montre-moi la mère de la fille qui va traire la vache* (71.9% AH), *Montre-moi le fils de l'homme qui va observer les oiseaux* (71.9% AH). Ce sont ces 3 phrases que l'on retrouve principalement parmi les items AB-AB.

Si l'on observe la moyenne de préférence d'attachement pour chaque participant-e, on peut noter que les 18 adolescent-es du groupe cible ont préféré l'attachement haut de la relative pour 87.4% des items. Ce chiffre est similaire à celui du groupe contrôle (87,5% de préférence pour l'attachement haut). On n'observe pas de différence significative entre les préférences

d'attachement du groupe contrôle et celles du groupe cible qui, lui, a été exposé à une amorce mathématique.

Figure 11

Prévalence de chaque phrase parmi les 7% d'items AB-AB



2.2. Corrélation entre mémoire de travail et effet d'amorçage

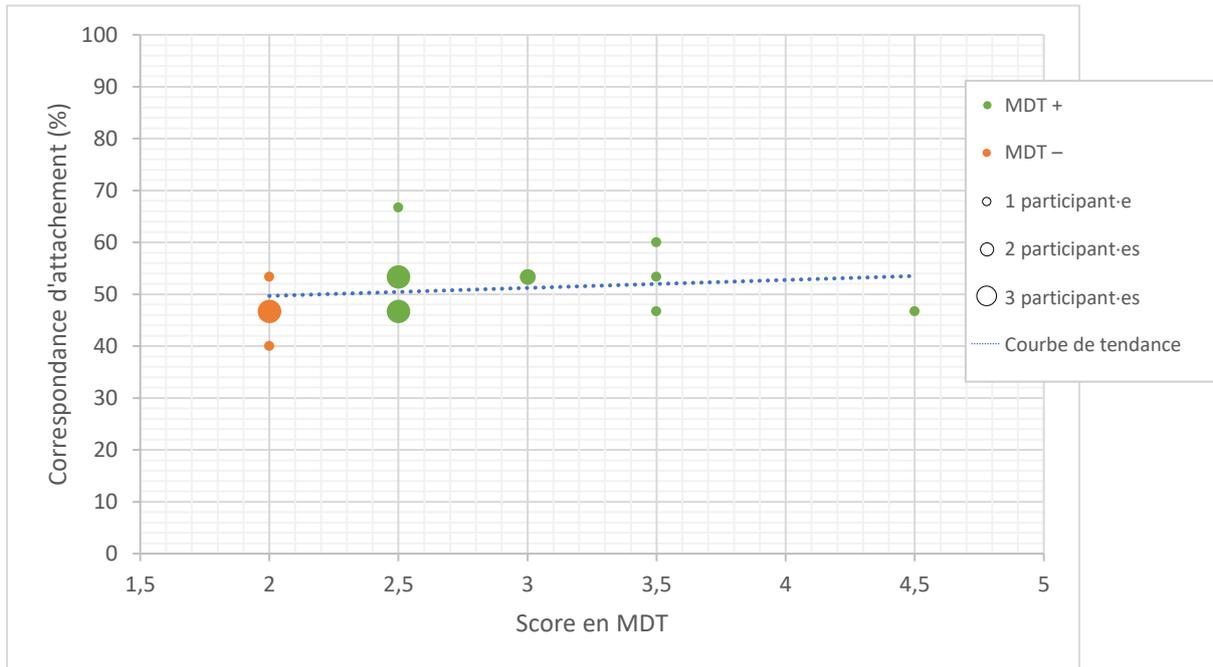
Nous n'avons pas pu relever un effet d'amorçage mathématique significatif. Cependant, nous avons cherché à observer si une tendance se dégageait.

Pour chaque participant-e, nous avons calculé la moyenne de correspondance d'attachement de chaque couple d'item mathématique – phrase (que ce soit « item mathématique AH – item phrase AH » ou « item mathématique AB – item phrase AB »). Nous relevons une moyenne de correspondance de 50,7% (écart-type = 4.8). Nous rappelons que ce résultat est largement expliqué par le fait que 50% des opérations mathématiques présentées étaient à attachement haut, alors que la quasi-totalité des réponses (87.4%) favorisaient l'attachement haut de la relative.

On note qu'en moyenne la correspondance d'attachement entre les items mathématiques et phrases est plus forte chez les participant-es du groupe « MDT+ ». On relève une moyenne de correspondance de 46,7% dans le groupe « MDT- », contre 52,3% dans le groupe « MDT+ ». Cette tendance est mise en évidence dans la Figure 12 ci-dessous.

Figure 12

Corrélation entre score en MDT et nombre moyen de correspondance d'items mathématiques et phrase par participant·e



Bien que notre analyse statistique ne permette pas de conclure à une corrélation entre capacités en MDT et effet d'amorçage, on observe tout de même une certaine augmentation de la force de l'influence des items mathématiques corrélée à l'augmentation des capacités en MDT. Cette corrélation nous permettrait d'expliquer pourquoi nous n'avons pas observé d'effet d'amorçage significatif. Nous reviendrons sur cette hypothèse dans la section discussion (IV.3.).

IV. Discussion

Ce mémoire avait pour objectif de mieux comprendre le rôle de la MDT dans l'effet d'amorçage des structures mathématiques sur les préférences d'attachement des propositions relatives chez des adolescent·es monolingues. Nous avons fait les hypothèses suivantes :

1. Les adolescent·es français·es montrent une préférence pour l'attachement haut de la relative.
2. Les capacités en MDT sont corrélées aux préférences d'attachement, c'est-à-dire qu'on s'attend à observer plus de préférences pour l'attachement bas chez les participant·es ayant des capacités plus fragiles en MDT.

3. Il existe un effet d'amorçage syntaxique des mathématiques sur la compréhension orale de phrases
4. L'effet d'amorçage mathématique est corrélé aux capacités en MDT. On s'attend à retrouver un effet d'amorçage plus fort chez les participant-es ayant de bonnes capacités en MDT.

1. Préférences d'attachement chez les adolescent-es français-es

Les langues diffèrent selon si les locuteur-ices préfèrent associer la proposition relative au SN1 (attachement haut) ou au SN2 (attachement bas). Comme nous l'avons exposé dans la partie théorique, beaucoup de facteurs interviennent dans les préférences d'attachement, et les chercheur-euses ne parviennent pas encore à expliquer toutes les variations translinguistiques et intralinguistiques observées. En anglais, on observe une préférence pour l'attachement bas, en accord avec le principe de *late closure* (Cuetos & Mitchell, 1988 ; Carreiras & Clifton, 1999 ; Frazier & Clifton, 1997). Mais ce n'est pas le cas en français (Frenck-Mestre & Pynte, 1997 ; Zagar et al., 1997), où les locuteur-ices ont tendance à privilégier un attachement haut, ce qui confirmerait plutôt la stratégie du *minimal attachment*. Ces études portaient sur des locuteur-ices adultes, tandis que la cohorte de notre étude était composée d'adolescent-es de 13 à 15 ans. Comme nous l'avons exposé dans notre partie théorique, l'analyseur syntaxique ne subit pas de changement structurel entre l'enfance et l'adolescence, mais les capacités en MDT s'accroissent. Au vu des précédentes études, nous avons fait l'hypothèse que, comme les adultes, les adolescent-es français-es montreraient une préférence pour l'attachement haut de la relative.

Nos résultats montrent en moyenne 87.5% de réponses correspondant à un attachement haut (écart-type = 22) pour chaque participant-e. En conséquence, nous pouvons confirmer notre 1^{ère} hypothèse. Les adolescent-es français-es montrent une préférence pour l'attachement haut de la relative, suivant le principe du *minimal attachment*. Cette préférence est confirmée par les résultats que nous avons obtenu lors de la passation de la tâche de compréhension de phrases au groupe cible, qui montraient que les participant-es ont préféré l'attachement haut de la relative pour 87.4% des items.

Cependant on relève qu'1 participant-e montrait des résultats s'écartant de la norme. Seules 33% de ses réponses correspondaient à un attachement haut (contre 87.5% en moyenne pour le

groupe contrôle). Il ou elle montrait donc, au contraire de nos autres participant·es, une préférence pour l'attachement bas. Felser et al. (2003) ont mis en évidence que les enfants anglophones montraient des préférences d'attachement différentes selon qu'ils avaient de bonnes capacités en MDT ou non. Les enfants ayant une bonne MDT préféraient l'attachement haut, tandis que celles et ceux ayant une MDT faible préféraient l'attachement bas. Une hypothèse pour expliquer les résultats chez notre participant·e serait donc une faible capacité en MDT. Cependant, cette hypothèse ne peut pas être validée, puisque ce·tte participant·e obtient un score de 2.5, donc dans la moyenne, pour la tâche de MDT. Nous ne sommes donc pas en mesure d'expliquer ce résultat.

2. Corrélation entre mémoire de travail et préférences d'attachement

Ce travail s'est appuyé sur l'expérience de Felser et al. (2003) qui ont montré que, pour les enfants anglophones, les capacités en MDT étaient corrélées aux préférences d'attachement. Les auteur·ices mettent en évidence que les enfants anglophones ayant une faible MDT ont tendance à suivre une stratégie de récence, qui favorise un attachement au SN2 tandis que ceux ayant un bon empan en MDT s'appuient sur la stratégie de la proximité du prédicat qui favorise l'attachement au SN1. Pour expliquer ces résultats, Felser et al. avancent que ces différences seraient attribuées à des différences non linguistiques puisqu'il est peu probable que les deux groupes d'enfants aient des analyseurs syntaxiques différents. Les différences individuelles en MDT seraient la source la plus probable des variations observées.

Cette interprétation vient appuyer le modèle de satisfaction de contraintes proposé par King et Just (1991), Mc Donald et al. (1992) et Just et Carpenter (1992), qui mettent en évidence que la MDT est impliquée dans le traitement syntaxique de phrases. L'hypothèse que nous avons formulée dans notre étude était donc que nous observerions la même corrélation que Felser et al. : les participant·es ayant de faibles capacités en MDT montreraient plus de préférence pour l'attachement bas de la relative.

De façon générale, les participant·es de notre étude montrent une préférence pour l'attachement haut de la relative, comme les locuteur·ices français·es adultes. Cependant, pour le groupe cible, cette préférence d'attachement est modulée par les capacités en MDT. On observe que les participant·es qui ont de faibles capacités en MDT ont plus tendance à rattacher la proposition relative au SN2 que les autres. La stratégie de récence serait favorisée car elle serait la plus économique en terme de charge mnésique puisqu'elle favorise le dernier syntagme

entendu. Les résultats du groupe cible montrent une corrélation significative entre score en MDT et préférence d'attachement pour le groupe cible. Cela corrobore l'étude de Felser et al. et nous permet de confirmer notre 2^{ème} hypothèse, les préférences d'attachement des adolescent-es français-es sont modulées par leurs capacités en MDT.

Cependant, en ce qui concerne le groupe contrôle, nous n'avons pas pu observer de corrélation significative entre capacités en MDT et préférence d'attachement. Une explication de cette variabilité serait la plus grande amplitude de la cohorte du groupe cible. En effet, le groupe cible compte 18 adolescent-es, tandis que le groupe contrôle n'en compte que 8. Les tests statistiques réalisés sur un si petit échantillon s'avèrent peu fiables, et sont donc rarement significatifs. L'échantillon du groupe cible serait plus représentatif, et fournirait donc des résultats plus précis pour l'analyse de données.

3. Effet d'amorçage mathématique

Plusieurs études (Pozniak et al, 2018 ; Scheepers et al., 2011 ; Scheepers et Sturt, 2014) ont mis en évidence un effet d'amorçage syntaxique des mathématiques sur le langage. Ce faisant, ces auteur·ices ont apporté la preuve que ces deux domaines partagent des ressources de construction de structure. Notre étude n'a pas reproduit ces résultats. On n'observe pas de différence significative pour les préférences d'attachement du groupe contrôle (87,5% AH) et celles du groupe cible (87,4% AH). Nous considérons que les 7% de correspondance d'items mathématiques et phrases seraient en partie expliqués par un biais de prosodie, dont nous discuterons dans la partie IV.4.1.1. Nos résultats n'ont pas montré d'effet d'amorçage significatif ni dans l'ensemble du groupe cible, ni parmi les participant-es du groupe « MDT + ». Nous ne sommes pas en mesure de valider notre 3^{ème} hypothèse. Nous proposons plusieurs hypothèses explicatives qui permettent de comprendre ces résultats.

Notre première hypothèse serait celle avancée par Scheepers et al. (2011). Dans leur étude, le groupe de participant-es qui ne connaissaient pas suffisamment les règles de priorité des opérations et donc commettaient des erreurs aux items mathématiques n'était pas sensible à l'amorçage inter-modal, contrairement aux autres groupes de sujets. Or, pour éviter ce biais, nous avons ajouté des parenthèses redondantes. Nous relevons seulement 2.8% d'erreurs aux items mathématiques. Cette hypothèse ne nous paraît donc pas satisfaisante.

Une autre explication pourrait venir des capacités en MDT des adolescent·es. En effet, comme le démontrent Cleland & Pickering (2003) et Foltz et al (2015), l'intensité de l'effet d'amorçage dépend des capacités en MDT. On pourrait donc faire l'hypothèse que les adolescent·es du groupe « MDT+ », qui ont obtenu les meilleurs scores en MDT, ont des capacités en MDT qui restent plus faibles que celles des adultes. De plus, on sait que les phrases syntaxiquement complexes, comme celles que nous avons fait écouter, font peser une charge plus lourde en MDT. Les calculs complexes que nous avons présentés nécessitent plusieurs sous-calculs pour être résolus. Ils pèsent également une importante charge mnésique (Hitch, 1978 ; Ashcraft, 1995). On peut donc penser que cette complexité entraîne une surcharge en MDT chez les adolescent·es. Leur MDT ne serait pas assez puissante pour maintenir l'amorce mathématique en mémoire pendant qu'ils interprètent la phrase présentée à l'oral. Cela expliquerait pourquoi notre expérience ne permet pas de reproduire les résultats qu'ont obtenus les études précédentes chez des sujets adultes. Cette hypothèse serait corroborée par les résultats observés dans la Figure 12 qui illustre une tendance à la hausse de la force de l'influence des items mathématiques en fonction des capacités en MDT. Nous n'observons pas d'effet d'amorçage significatif car les adolescent·es auraient une MDT trop faible pour maintenir l'amorce mathématique en mémoire pendant la compréhension orale de phrase.

Une autre hypothèse qui permettrait d'expliquer l'absence de résultats significatifs serait la présence d'un biais de prosodie des phrases prononcées dans les tâches de compréhension de phrases et d'amorçage mathématique, dont nous discuterons plus bas, dans la section Discussion (IV.5.1).

4. Rôle de la mémoire de travail dans l'effet d'amorçage

Nos résultats n'ont pas montré d'effet d'amorçage significatif ni dans l'ensemble du groupe cible, ni parmi les participant·es du groupe « MDT + ». Nous ne sommes pas en mesure de valider notre 4^{ème} hypothèse. Nos résultats ont tout de même montré que, en moyenne, la correspondance d'attachement entre les items mathématiques et phrases est plus forte chez les participant·es du groupe « MDT+ ». Bien que notre analyse statistique ne permette pas de conclure à une corrélation entre capacités en MDT et effet d'amorçage, on observe une certaine augmentation de la force de l'influence des items mathématiques corrélée à l'augmentation des capacités en MDT. Nous avons fait l'hypothèse que ce serait parce que la MDT joue bien un

rôle dans l'effet d'amorçage et que nos adolescent-es ont des capacités en MDT plus faibles que celles des adultes que nous n'observons pas d'effet d'amorçage significatif dans cette étude.

5. Biais méthodologiques

Nous allons à présent nous attacher à discuter des biais méthodologiques que présente notre étude.

5.1. Biais dans les items de sélection d'image

5.1.1. Biais de prosodie

Nos résultats ont montré que sur l'ensemble des phrases prononcées pendant l'étude, 3 présentent un écart à la norme. Il s'agit des phrases : *Montre-moi le père du garçon qui va sortir la poubelle*, *Montre-moi la mère de la fille qui va traire la vache*, *Montre-moi le fils de l'homme qui va observer les oiseaux*. Leur moyenne d'attachement haut était nettement plus faible que pour la moyenne des phrases. De plus, parmi les 7% de correspondance d'items AB-AB dans la tâche d'amorçage, on retrouve une forte prévalence de ces 3 mêmes phrases.

Or, si l'on observe les caractéristiques de ces phrases, on ne retrouve pas les mêmes syntagmes nominaux (*le père du garçon*, *la mère de la fille*, *le fils de l'homme*). Nous ne pouvons donc pas expliquer cette variabilité par le type de syntagme nominal. La pragmatique pourrait également influencer les préférences d'attachement. Cependant, il serait très difficile d'évaluer son influence dans la compréhension de ces phrases. Il aurait été complexe de savoir si, pour nos participant-es, il est plus logique de considérer que c'est le père du garçon, et non le garçon, qui sort la poubelle ou que la mère de la fille traie la vache, plutôt que la fille elle-même. Nous faisons l'hypothèse que ces variations étant trop fines, la pragmatique ne permet pas d'expliquer les différences d'attachement pour ces phrases.

Comme nous l'avons précédemment exposé, une variable que nous n'avons pas pu contrôler est la prosodie des phrases prononcées dans les tâches de compréhension de phrases et d'amorçage mathématique. De nombreuses études ont mis en évidence le rôle de la prosodie dans la résolution des ambiguïtés syntaxiques. Price et al. (1991), ont déterminé que l'introduction de pauses prosodiques avant une ambiguïté syntaxique peut effectivement influencer les décisions d'attachement. Schafer (1996) suggère que l'accentuation du timbre de la voix sur le SN1 ou le SN2 favorisait la probabilité que la proposition relative soit rattachée au syntagme accentué. Bien que nous ayons essayé de contrôler au maximum l'intonation ainsi que les ruptures prosodiques de la voix, il est évident que nous n'avons pas pu être aussi neutre

que si nous avions contrôlé cette variable avec un logiciel d'analyse vocale tel que Pratt. Il nous apparaît donc que la meilleure explication de cet écart à la norme serait un biais prosodique. Nous supposons l'existence d'une rupture prosodique entre le SN1 et le SN2, ou une accentuation sur le SN2, qui favoriserait un attachement bas.

5.1.2. Biais comportemental

Il existe plusieurs méthodologies qui permettent d'étudier la façon dont les locuteur·ices traitent les ambiguïtés syntaxiques. Les méthodes *off-line* ou hors-ligne, comme celle que nous avons utilisée pour la présente étude, consistent à demander au sujet comment il ou elle interprète la phrase une fois qu'elle est traitée. Les méthodes *on-line* ou en temps réel, comme l'*eye-tracking*, consistent à observer le comportement du sujet pendant qu'il ou elle entend ou lit les phrases, alors même qu'il ou elle est en train de les traiter

Etant donné la difficulté que nous avons eu à recruter nos 26 participant·es, nous savions qu'il aurait été trop laborieux de réaliser des mesures par *eye-tracking*, puisque que le sujet doit se rendre au laboratoire, ce qui est beaucoup plus coûteux en temps. Or la technique de l'oculométrie, en se basant sur la fixation de l'œil, présente l'intérêt de mesurer les variables en temps réel. De ce fait, elle est beaucoup moins sensible aux effets métalinguistiques et stratégies que peuvent mettre en place les participant·es. Nous présumons donc que notre étude n'a pas pu s'affranchir des stratégies de résolutions mises en place par les participant·es pour résoudre les phrases relatives ambiguës.

5.2. Biais dans la tâche de mémoire de travail

5.2.1. Biais comportemental

La tâche de MDT comportait plusieurs biais, notamment un biais comportemental. En effet, plusieurs participant·es nous ont fait part de leur peur de se tromper sur le jugement de véracité de la phrase. Beaucoup ont porté leur attention sur le fait de savoir si la phrase était vraie ou fausse plutôt que sur la mémorisation des mots. En conséquence, les sujets ont pris du temps pour répondre « vrai » ou « faux » ce qui augmentait les risques de perdre les mots en mémoire. Nous avons anticipé ce fait et avons donc au préalable expliqué dans notre consigne qu'il fallait répondre rapidement, même si la réponse n'était pas certaine. Cependant, cela n'a pas suffi pour éviter ce biais.

5.2.2. Biais de fréquence et de concrétude des mots

Un autre biais de notre tâche de MDT était que, par manque de temps, nous n'avons pas pu contrôler tous les paramètres des mots à retenir, notamment leur fréquence et leur concrétude.

On sait en effet que les mots plus fréquents sont plus faciles à retenir en MDT (Watkins & Watkins, 1977 ; Wright, 1979 ; Gregg et al., 1989). De la même manière, les mots concrets sont plus faciles à retenir que ceux abstraits (Bourassa & Besner, 1994; Walker & Hulme, 1999 ; Acheson et al., 2010). Il est donc possible que certains items aient été plus faciles à retenir que d'autres, ce qui biaiserait le score en MDT des participant·es.

5.2.3. Manque de sensibilité

Lorsque l'on examine les scores à la tâche de MDT, on peut remarquer que cette épreuve est assez peu sensible. En effet la très grande majorité des participant·es obtient le même résultat (2 ou 2.5). Cela s'explique par le fait que le score ne tient compte que des blocs de phrases pour lesquels le rappel est entièrement correct. Le score ne fait pas de différence si le sujet les a tous oubliés ou n'en a oublié qu'un seul.

6. Perspectives et intérêts orthophoniques

L'objectif de ce travail était de mettre en évidence un effet d'amorçage des structures syntaxiques mathématiques sur la compréhension du langage oral chez les adolescent·es tous·tes venant·es. Ces résultats sont à mettre en lien avec le mémoire de Juliette Clémenceau qui réalise la même expérience, cette fois auprès d'une population d'adolescent·es atteint·es de troubles spécifiques du langage écrit (TSLE).

Notre travail est né de l'observation que les patient·es suivi·es en orthophonie souffrent rarement de troubles restreints à un unique domaine. On sait qu'il existe une comorbidité entre TSAp avec déficit de la lecture et de l'expression écrite et TSAp avec déficit du calcul. Les enfants ayant un diagnostic de TSAp ont en effet 4 à 5 fois plus de risques de présenter des troubles dans au moins deux domaines de l'apprentissage scolaire (Landerl & Moll, 2010). Dirks et al. (2008) relèvent une prévalence de TSAp avec déficit de la lecture et de l'expression écrite et de TSAp avec déficit du calcul comorbide de 7.6%, soit plus que la multiplication de la prévalence de ces deux troubles isolées (qui équivaldrait à 4.9%). On sait qu'il existe également une corrélation entre déficit en MDT et TSAp (Phye & Pickering, 2006 ; Geary et al., 2012 ; Cornoldi et al., 2014). Il nous paraît donc important de comprendre en quoi mathématique et langage sont cognitivement liés.

L'objectif de cette étude était d'identifier des mécanismes de traitement communs à ces deux domaines. Cependant, nous n'avons pas pu valider certaines de nos hypothèses. Notre étude n'a pas reproduit d'effet d'amorçage syntaxique significatif des mathématiques sur le langage

observé par Pozniak et al. (2018), Scheepers et al. (2011) ainsi que Scheepers et Sturt, (2014). Il pourrait donc être intéressant de poursuivre ce travail auprès d'une plus grande cohorte, afin de voir si les tendances que nous avons observées se confirmeraient. Il serait également envisageable de recruter des participant-es plus jeunes, étant donné que les items mathématiques étaient bien réussis et que l'ordre de priorité des opérations était acquis, même par les adolescent-es plus jeunes en classe de 4^{ème}. De plus, cela pourrait permettre de confirmer l'augmentation des capacités en MDT avec l'âge, dont nous avons observé une tendance. Il serait également intéressant d'utiliser une tâche de MDT normée, afin de s'assurer que toutes les variables soient contrôlées, et de pouvoir comparer l'échantillon aux individus de même âge. Enfin, il nous paraît important de ne pas reproduire le biais de prosodie que nous avons observé en contrôlant les paramètres vocaux des tâches de compréhension de phrases et d'amorçage grâce à un logiciel d'analyse vocale.

CONCLUSION

Cette étude a mis en lien les travaux de Pozniak et al. (2018) – qui s’attachaient à mettre en évidence un effet d’amorçage syntaxique des mathématiques sur le langage – et ceux de Felser et al. (2003) – qui ont montré que le traitement syntaxique des phrases chez les enfants anglophones était lié aux capacités en MDT. L’objectif de ce travail était d’analyser le rôle que joue la MDT dans l’effet d’amorçage syntaxique d’opérations mathématiques sur la compréhension orale de phrase. Notre protocole expérimental comprenait trois tâches visant à évaluer les capacités en MDT de nos participant-es, leurs préférences d’attachement de phrases relatives ambiguës ainsi que l’influence d’un amorçage mathématique sur ces préférences d’attachement.

Nous avons confirmé nos deux premières hypothèses. Nos résultats ont ainsi montré que les adolescent-es français-es montraient une préférence nette pour l’attachement haut des propositions relatives ambiguës, mais que cette préférence était modulée par les capacités en MDT. Ces observations confirment les études menées sur les préférences d’attachement en français (Frenck-Mestre & Pynte, 1997 ; Zagar et al., 1997), ainsi que celles mettant en évidence le rôle de la MDT sur ces préférences d’attachement (Felser et al., 2003). On observe bien des variations interlinguistiques dans les préférences d’attachement – les français-es montrent une préférence pour l’attachement haut –, ainsi que des variations intralinguistiques – ces préférences sont modulées par les capacités individuelles en MDT.

Cependant, nous n’avons pas pu reproduire l’effet d’amorçage intermodal observé par Pozniak et al. (2018). Nous n’avons donc pas été en mesure d’accepter notre 3^{ème} et notre 4^{ème} hypothèse. Nous n’avons pas montré d’effet d’amorçage significatif des mathématiques sur la compréhension orale de phrases, et nous n’avons par conséquent pas pu mettre en évidence que cet effet d’amorçage était corrélé aux capacités en MDT.

Deux hypothèses permettent d’expliquer l’absence d’effet d’amorçage. Une première explication serait liée aux capacités en MDT de notre cohorte. La littérature montre que l’effet d’amorçage est lié aux capacités en MDT (Cleland & Pickering, 2003 ; Foltz et al., 2015). Il a également été démontré que les capacités en MDT augmentaient avec l’âge, et croissaient exponentiellement jusqu’à l’âge de 16 ans (Siegel, 1994). Notre hypothèse serait donc que notre cohorte d’adolescent-es n’avait pas, du fait de leur jeune âge, les capacités nécessaires en MDT

pour maintenir l'amorçage mathématique en mémoire pendant qu'ils et elles interprétaient oralement les phrases présentées.

Une autre hypothèse explicative serait liée aux biais méthodologiques de notre étude. Nous faisons l'hypothèse que puisque nous n'avons pas pu contrôler la voix qui prononçait les phrases entendues pendant la passation, il existe un biais de prosodie. Ce biais de prosodie aurait été plus fort que l'effet d'amorçage et aurait donc influencé les réponses des participant-es pour la compréhension orale de phrases.

En conclusion, notre protocole expérimental a pu confirmer que la MDT joue bien un rôle dans la compréhension syntaxique de phrases orales chez les adolescent-es français. Cependant, nous n'avons pu observer d'effet d'amorçage significatif des mathématiques sur la compréhension syntaxique de phrases orales. Notre étude n'a donc pas permis de mettre en évidence un partage des ressources de traitement syntaxique entre le langage et les mathématiques.

Il pourrait être envisagé de reproduire ce protocole, en veillant à ne pas reproduire les biais que nous avons constaté, pour savoir s'il est possible d'observer un effet d'amorçage syntaxique des mathématiques sur le langage. En effet, il est important d'approfondir nos connaissances sur les liens qui unissent ces deux domaines. Mathématiques et langage sont profondément liés. Les mathématiques utilisent deux langages : la « langue mathématique » avec son propre vocabulaire et ses propres règles syntaxiques, qui s'appuie sur la langue usuelle pour transmettre les connaissances mathématiques. Dehaene qualifie même le langage de « catalyseur du raisonnement mathématique ».

BIBLIOGRAPHIE

- Abney, S. P., & Johnson, M. (1991). Memory requirements and local ambiguities of parsing strategies. *Journal of Psycholinguistic Research*, 20(3), 233-250. <https://doi.org/10.1007/BF01067217>
- Acheson, D. J., Postle, B. R., & MacDonald, M. C. (2010). The interaction of concreteness and phonological similarity in verbal working memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 36(1), 17-36. <https://doi.org/10.1037/a0017679>
- Amalric, M., & Dehaene, S. (2016). Origins of the brain networks for advanced mathematics in expert mathematicians. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(18), 4909-4917. <https://doi.org/10.1073/pnas.1603205113>
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human Memory : A Proposed System and its Control Processes. In K. W. Spence & J. T. Spence (Éds.), *Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 2, p. 89-195). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60422-3](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60422-3)
- Baddeley, A. (1992). Working Memory. *Science*, 255(5044), 556-559. <https://doi.org/10.1126/science.1736359>
- Baddeley, A. (1998). The central executive : A concept and some misconceptions. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 4(5), 523-526. <https://doi.org/10.1017/S135561779800513X>
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer : A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417-423. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01538-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01538-2)
- Baddeley, A. (2003). Working memory and language : An overview. *Journal of Communication Disorders*, 36(3), 189-208. [https://doi.org/10.1016/S0021-9924\(03\)00019-4](https://doi.org/10.1016/S0021-9924(03)00019-4)
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working Memory. In G. H. Bower (Éd.), *Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 8, p. 47-89). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60452-1](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1)
- Bencini, G. M. L., & Valian, V. V. (2008). Abstract sentence representations in 3-year-olds : Evidence from language production and comprehension. *Journal of Memory and Language*, 59(1), 97-113. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2007.12.007>
- Bock, J. K. (1986). Meaning, sound, and syntax : Lexical priming in sentence production. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 12(4), 575-586. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.12.4.575>
- Booth, J. R., MacWhinney, B., & Harasaki, Y. (2000). Developmental Differences in Visual and Auditory Processing of Complex Sentences. *Child Development*, 71(4), 981-1003. <https://doi.org/10.1111/1467-8624.00203>

- Bourassa, D. C., & Besner, D. (1994). Beyond the articulatory loop : A semantic contribution to serial order recall of subspan lists. *Psychonomic Bulletin & Review*, *1*(1), 122-125. <https://doi.org/10.3758/BF03200768>
- Caplan, D., & Waters, G. S. (1999). Verbal working memory and sentence comprehension. *The Behavioral and Brain Sciences*, *22*(1), 77-94; discussion 95-126. <https://doi.org/10.1017/s0140525x99001788>
- Carreiras, M., & Clifton, C. (1993). Relative Clause Interpretation Preferences in Spanish and English. *Language and Speech*, *36*(4), 353-372. <https://doi.org/10.1177/002383099303600401>
- Carreiras, M., & Clifton, C. (1999). Another word on parsing relative clauses : Eyetracking evidence from Spanish and English. *Memory & Cognition*, *27*(5), 826-833. <https://doi.org/10.3758/BF03198535>
- Cleland, A., & Pickering, M. (2003). The use of lexical and syntactic information in language production : Evidence from the priming of noun-phrase structure. *Journal of Memory and Language*, *49*(2), 214-230. [https://doi.org/10.1016/S0749-596X\(03\)00060-3](https://doi.org/10.1016/S0749-596X(03)00060-3)
- Cornoldi, C., Giofrè, D., Orsini, A., & Pezzuti, L. (2014). Differences in the intellectual profile of children with intellectual vs. Learning disability. *Research in Developmental Disabilities*, *35*(9), 2224-2230. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2014.05.013>
- Costa, J., Fernandes, B., Vaz, S., & Grillo, N. (2016). Relatives and prepositional infinitival constructions in the acquisition of European Portuguese. *Probus*, *28*(1), 119-143. (s. d.).
- Crain, S., & Wexler, K. (1999). Methodology in the study of language acquisition : A modular approach. *Handbook of child language acquisition*, 387-425. (s. d.).
- Cuetos, F., & Mitchell, D. C. (1988). Cross-linguistic differences in parsing : Restrictions on the use of the Late Closure strategy in Spanish. *Cognition*, *30*(1), 73-105. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(88\)90004-2](https://doi.org/10.1016/0010-0277(88)90004-2)
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *19*(4), 450-466. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(80\)90312-6](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(80)90312-6)
- Dehaene, S. (2020, 13 octobre). L'influence du langage en mathématiques [Conférence]. L'influence du langage et des symboles sur la perception et la cognition Collège de France. <https://www.college-de-france.fr/site/stanislas-dehaene/course-2020-10-13-09h30.htm>. (s. d.).
- Delle Luche, C. (2008). Rôle du relativiseur dans l'attachement des propositions relatives ambiguës en français. 285.
- de Ribaupierre, A., & Bailleux, C. (2000). The Development of Working Memory : Further Note on the Comparability of Two Models of Working Memory. *Journal of Experimental Child Psychology*, *77*(2), 110-127. <https://doi.org/10.1006/jecp.2000.2591>

- Dirks, E., Spyer, G., van Lieshout, E. C., & de Sonneville, L. (2008). Prevalence of combined reading and arithmetic disabilities. *Journal of learning disabilities, 41(5)*, 460-473. (s. d.).
- Dirks, E., Spyer, G., van Lieshout, E. C. D. M., & de Sonneville, L. (2008). Prevalence of Combined Reading and Arithmetic Disabilities. *Journal of Learning Disabilities, 41(5)*, 460-473. <https://doi.org/10.1177/0022219408321128>
- Fedorenko, E., Gibson, E., & Rohde, D. (2007). The nature of working memory in linguistic, arithmetic and spatial integration processes. *Journal of Memory and Language, 56(2)*, 246-269. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2006.06.007>
- Felser, C., Marinis, T., & Clahsen, H. (2003). Children's Processing of Ambiguous Sentences : A Study of Relative Clause Attachment. *Language Acquisition, 11(3)*, 127-163. https://doi.org/10.1207/s15327817la1103_1
- Fiebach, C. J., Schlesewsky, M., & Friederici, A. D. (2001). *Syntactic Working Memory and the Establishment of Filler-Gap Dependencies : Insights from ERPs and fMRI*. 18.
- Fiveash, A., & Pammer, K. (2014). Music and language : Do they draw on similar syntactic working memory resources? *Psychology of Music, 42(2)*, 190-209. <https://doi.org/10.1177/0305735612463949>
- Flaherty, M., & Senghas, A. (2011). Numerosity and number signs in deaf Nicaraguan adults. *Cognition, 121(3)*, 427-436. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2011.07.007>
- Fodor, J. D. (1998). Learning To Parse? *Journal of Psycholinguistic Research, 27(2)*, 285-319. <https://doi.org/10.1023/A:1023258301588>
- Foltz, A., Thiele, K., Kahsnitz, D., & Stenneken, P. (2015). Children's syntactic-priming magnitude : Lexical factors and participant characteristics. *Journal of Child Language, 42(4)*, 932-945. <https://doi.org/10.1017/S0305000914000488>
- Frank, M. C., Everett, D. L., Fedorenko, E., & Gibson, E. (2008). Number as a cognitive technology : Evidence from Pirahã language and cognition. *Cognition, 108(3)*, 819-824. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2008.04.007>
- Frank, M. C., Fedorenko, E., Lai, P., Saxe, R., & Gibson, E. (2012). Verbal interference suppresses exact numerical representation. *Cognitive Psychology, 64(1-2)*, 74-92. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2011.10.004>
- Frazier, L., & Fodor, J. D. (1978). The sausage machine : A new two-stage parsing model. *Cognition, 6(4)*, 291-325. (s. d.).
- Frazier, L. (1985). Syntactic complexity. *Natural language parsing : Psychological, computational, and theoretical perspectives*, 129-189. (s. d.).
- Frazier, L., & Clifton, C. (1997). Construal : Overview, Motivation, and Some New Evidence. *Journal of Psycholinguistic Research, 26(3)*, 277-295. <https://doi.org/10.1023/A:1025024524133>

- French-Mestre, C., & Pynte, J. (1997). Syntactic Ambiguity Resolution While Reading in Second and Native Languages. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A*, 50(1), 119-148. <https://doi.org/10.1080/027249897392251>
- Garraffa, M., Coco, M. I., & Branigan, H. P. (2015). Effects of Immediate and Cumulative Syntactic Experience in Language Impairment: Evidence from Priming of Subject Relatives in Children with SLI. *Language Learning and Development*, 11(1), 18-40. <https://doi.org/10.1080/15475441.2013.876277>
- Gathercole, S. E. (1999). Cognitive approaches to the development of short-term memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 3(11), 410-419. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(99\)01388-1](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(99)01388-1)
- 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. <https://doi.org/10.1007/BF03174081>
- Geary, D. C., Hoard, M. K., & Bailey, D. H. (2012). Fact Retrieval Deficits in Low Achieving Children and Children With Mathematical Learning Disability. *Journal of Learning Disabilities*, 45(4), 291-307. <https://doi.org/10.1177/0022219410392046>
- Gibson, E. A. F. (1991). *A Computational Theory of Human Linguistic Processing: Memory Limitations and Processing Breakdown*. 206.
- Gibson, E., Pearlmutter, N., Canseco-Gonzalez, E., & Hickok, G. (1996). Recency preference in the human sentence processing mechanism. *Cognition*, 59(1), 23-59. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(95\)00687-7](https://doi.org/10.1016/0010-0277(95)00687-7)
- Gordon, P. (2004). Numerical cognition without words: Evidence from Amazonia. *Science (New York, N.Y.)*, 306(5695), 496-499. <https://doi.org/10.1126/science.1094492>
- Gorrell, P. G. (1987). *Studies of human syntactic processing: Ranked-parallel versus serial models (Doctoral dissertation, University of Connecticut)*. (s. d.).
- Gregg, V. H., Freedman, C. M., & Smith, D. K. (1989). Word frequency, articulatory suppression and memory span. *British Journal of Psychology*, 80(3), 363-374. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1989.tb02326.x>
- Hitch, G. J. (1978). The role of short-term working memory in mental arithmetic. *Cognitive Psychology*, 10(3), 302-323. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(78\)90002-6](https://doi.org/10.1016/0010-0285(78)90002-6)
- Hitch, G. J., Woodin, M. E., & Baker, S. (1989). Visual and phonological components of working memory in children. *Memory & Cognition*, 17(2), 175-185. <https://doi.org/10.3758/BF03197067>
- Izard, V., Sann, C., Spelke, E. S., & Streri, A. (2009). Newborn infants perceive abstract numbers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(25), 10382-10385. <https://doi.org/10.1073/pnas.0812142106>
- Japp, S., & Knops, A. (2015). Mental subtraction and multiplication recruit both phonological and visuospatial resources: Evidence from a symmetric dual-task design. *Psychological research*, 80. <https://doi.org/10.1007/s00426-015-0667-8>

- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1992). *A Capacity Theory of Comprehension : Individual Differences in Working Memory*. 28.
- Kidd, E. (2012). Individual differences in syntactic priming in language acquisition. *Applied Psycholinguistics*, 33(2), 393-418. <https://doi.org/10.1017/S0142716411000415>
- Kimball, J. (1973). Seven principles of surface structure parsing in natural language. *Cognition*, 2(1), 15-47. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(72\)90028-5](https://doi.org/10.1016/0010-0277(72)90028-5)
- King, J., & Just, M. A. (1991). Individual differences in syntactic processing : The role of working memory. *Journal of Memory and Language*, 30(5), 580-602. [https://doi.org/10.1016/0749-596X\(91\)90027-H](https://doi.org/10.1016/0749-596X(91)90027-H)
- Kljajevic, V. (2010). Is syntactic working memory language specific? *Psihologija*, 43(1), 85-101. <https://doi.org/10.2298/PSI1001085K>
- Kurtzman, H. S. (1985). On-Line Probe Recognition Latencies Within Complex Sentences. *Language and Speech*, 28(2), 143-156. <https://doi.org/10.1177/002383098502800204>
- Landerl, K., & Moll, K. (2010). Comorbidity of learning disorders : Prevalence and familial transmission. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 51(3), 287-294. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2009.02164.x>
- Lee, K.-M., & Kang, S.-Y. (2002). Arithmetic operation and working memory : Differential suppression in dual tasks. *Cognition*, 83(3), B63-B68. [https://doi.org/10.1016/S0010-0277\(02\)00010-0](https://doi.org/10.1016/S0010-0277(02)00010-0)
- Lewis, C., Hitch, G. J., & Walker, P. (1994). The Prevalence of Specific Arithmetic Difficulties and Specific Reading Difficulties in 9- to 10-year-old Boys and Girls. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 35(2), 283-292. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1994.tb01162.x>
- 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. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(92\)90003-K](https://doi.org/10.1016/0010-0285(92)90003-K)
- Marslen-Wilson, W. (1973). Linguistic Structure and Speech Shadowing at Very Short Latencies. *Nature*, 244(5417), 522-523. <https://doi.org/10.1038/244522a0>
- McCrink, K., & Wynn, K. (2004). Large-Number Addition and Subtraction by 9-Month-Old Infants. *Psychological Science*, 15(11), 776-781. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2004.00755.x>
- Miller, G. A., & Isard, S. (1964). Free recall of self-embedded english sentences. *Information and Control*, 7(3), 292-303. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(64\)90310-9](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(64)90310-9)
- Miller, G.A., Galanter, E., & Pribram, K.H. (1960). *Plans and the structure of behavior*. New York : Holt, Rinehart & Winston. (s. d.).
- Mitchell, D. C., Cuetos, F., Corley, M., & Brysbaert, M. (1995). Exposure-based models of human parsing : Evidence for the use of coarse-grained (nonlexical) statistical records. *Journal of Psycholinguistic Research*, 24(6), 469-488. (s. d.).

- Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to Action. In R. J. Davidson, G. E. Schwartz, & D. Shapiro (Éds.), *Consciousness and Self-Regulation : Advances in Research and Theory Volume 4* (p. 1-18). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-0629-1_1
- Palmer, S. (2000). Working memory : A developmental study of phonological recoding. *Memory*, 8(3), 179-193. <https://doi.org/10.1080/096582100387597>
- Patel, A. D. (2003). Language, music, syntax and the brain. *Nature Neuroscience*, 6(7), 674-681. <https://doi.org/10.1038/nn1082>
- Patel, A. D., Gibson, E., Ratner, J., Besson, M., & Holcomb, P. J. (1998). Processing Syntactic Relations in Language and Music : An Event-Related Potential Study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10(6), 717-733. <https://doi.org/10.1162/089892998563121>
- Phye, G., & Pickering, S. (2006). *Working Memory and Education*. Elsevier.
- Pica, P., Lemer, C., Izard, V., & Dehaene, S. (2004). Exact and Approximate Arithmetic in an Amazonian Indigene Group. *Science*, 306(5695), 499-503. <https://doi.org/10.1126/science.1102085>
- Pozniak, C., Hemforth, B., & Scheepers, C. (2018). Cross-Domain Priming From Mathematics to Relative-Clause Attachment : A Visual-World Study in French. *Frontiers in Psychology*, 9, 2056. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02056>
- Price, P. J., Ostendorf, M., Shattuck-Hufnagel, S., & Fong, C. (1991). The use of prosody in syntactic disambiguation. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 90(6), 2956-2970. <https://doi.org/10.1121/1.401770>
- Pross, N., Gaonac'h, D., & Gaux, C. (2008). Working memory development : Central executive's relationships with the phonological loop and the visuospatial sketchpad in second and fifth grade children. *Psychologie Française*, 53(3), 307-326. (s. d.). <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2008.04.004>
- Sammler, D., Koelsch, S., & Friederici, A. D. (2011). Are left fronto-temporal brain areas a prerequisite for normal music-syntactic processing? *Cortex*, 47(6), 659-673. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2010.04.007>
- Schafer, A. (1996). Focus in Relative Clause Construal. *Language and Cognitive Processes*, 11(1-2), 135-164. <https://doi.org/10.1080/016909696387240>
- Scheepers, C., & Sturt, P. (2014). Bidirectional Syntactic Priming across Cognitive Domains : From Arithmetic to Language and Back. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 67(8), 1643-1654. <https://doi.org/10.1080/17470218.2013.873815>
- Scheepers, C., Sturt, P., Martin, C. J., Myachykov, A., Teevan, K., & Viskupova, I. (2011). Structural Priming Across Cognitive Domains : From Simple Arithmetic to Relative-Clause Attachment. *Psychological Science*, 22(10), 1319-1326. <https://doi.org/10.1177/0956797611416997>
- Schütze, C. T., & Gibson, E. (1999). Argumenthood and English Prepositional Phrase Attachment. *Journal of Memory and Language*, 40(3), 409-431. <https://doi.org/10.1006/jmla.1998.2619>

- Siegel, L. S. (1994). Working Memory and Reading : A Life-span Perspective. *International Journal of Behavioral Development*, 17(1), 109-124. <https://doi.org/10.1177/016502549401700107>
- Swets, B., Desmet, T., Hambrick, D. Z., & Ferreira, F. (2007). The role of working memory in syntactic ambiguity resolution : A psychometric approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, 136(1), 64-81. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.136.1.64>
- Tyler, L. K., & Marslen-Wilson, W. D. (1981). Children's processing of spoken language. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 20(4), 400-416. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(81\)90524-7](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(81)90524-7)
- Varley, R. A., Klessinger, N. J. C., Romanowski, C. A. J., & Siegal, M. (2005). Agrammatic but numerate. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(9), 3519-3524. <https://doi.org/10.1073/pnas.0407470102>
- Von Aster, M. G., & Shalev, R. S. (2007). Number development and developmental dyscalculia. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 49(11), 868-873. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2007.00868.x>
- Walker, I., & Hulme, C. (1999). Concrete words are easier to recall than abstract words : Evidence for a semantic contribution to short-term serial recall. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25(5), 1256-1271. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.25.5.1256>
- Watkins, O. C., & Watkins, M. J. (1977). Serial recall and the modality effect : Effects of word frequency. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 3(6), 712-718. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.3.6.712>
- Wright, C. E. (1979). Duration differences between rare and common words and their implications for the interpretation of word frequency effects. *Memory & Cognition*, 7(6), 411-419. <https://doi.org/10.3758/BF03198257>
- Zagar, D., Pynte, J., & Rativeau, S. (1997). Evidence for Early Closure Attachment on First Pass Reading Times in French. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 50(2), 421-438. <https://doi.org/10.1080/713755715>

ANNEXES

ANNEXE 1 : Notice d'informations.....	p.56
ANNEXE 2 : Lettre de consentement éclairé.....	p.58
ANNEXE 3 : Liste complète des phrases entendue lors de la tâche de compréhension de phrases et de la tâche d'amorçage.....	p.59
ANNEXE 4 : Liste complète des opérations mathématiques présentées lors de la tâche d'amorçage.....	p.60
ANNEXE 5 : Liste complète des phrases présentées lors de la tâche de mémoire de travail...	p.61



Centre de Formation Universitaire en Orthophonie

Directeur : Pr Florent ESPITALIER

Directrices Pédagogiques : Mme Emmanuelle PRUDHON et Mme Oana LUNGU

Directrice des Stages : Mme Anne ESNAULT

A Nantes, le 11/02/2022

Madame, Monsieur

Dans le cadre de notre mémoire de fin d'études réalisé au Centre de Formation Universitaire en Orthophonie de Nantes et encadré par Mmes Hélène Choupechoux, orthophoniste, et Oana Lungu, enseignante-chercheuse et directrice pédagogique du centre de formation, nous recherchons des participant·e·s pour notre étude.

L'étude

Il s'agit d'un mémoire de recherche qui a pour objectif de contribuer aux écrits scientifiques concernant les liens entre les mathématiques et le langage. Le projet de notre mémoire est de proposer à des adolescent·e·s un « amorçage intermodal », c'est-à-dire de solliciter une compétence spécifique pour voir son impact sur d'autres compétences. Nous avons choisi de tester l'effet d'un amorçage mathématique sur la compréhension des phrases syntaxiquement complexes. Les objectifs sont donc d'évaluer et de comparer l'interprétation des énoncés par les élèves (selon qu'ils présentent ou non des troubles du langage écrit) ainsi que d'observer l'existence ou l'absence d'un effet d'amorçage, tout en tenant compte de l'influence de la mémoire de travail. Dans une plus large mesure, cette étude vise à participer à la recherche concernant les méthodes de rééducation orthophonique des troubles des apprentissages.

Cette étude sera menée parallèlement :

- Chez 16 adolescent·es français·es monolingues en classe de 4^{ème} ou de 3^{ème} qui ne présentent pas de troubles des apprentissages [étude de Cécile Brune];
- Chez des 16 adolescent·es français·es monolingues en classe de 4^{ème} ou de 3^{ème} présentant des troubles du langage écrit (dyslexie ou dysorthographe) [étude de Juliette Clémenceau].

La première étude, auprès des adolescent·es tout-venants, (présentée par Cécile Brune) compte 2 tâches. Il s'agit de tester la mémoire de travail puis de proposer la tâche de compréhension de phrases ou la tâche d'amorçage. Ces tâches seront présentées sur 1 séance de 30 minutes.

La seconde étude, auprès des adolescent·es présentant des troubles du langage écrit (présentée par Juliette Clémenceau) compte 3 tâches. Il s'agit de tester la mémoire de travail puis de proposer la tâche d'amorçage, et enfin de proposer des évaluations issues de batteries orthophoniques. Ces tâches seront présentées sur 3 séances de 30 minutes, sur le lieu du collège

Vos droits à la confidentialité

Les données d'expérimentation seront traitées avec la plus grande confidentialité, aussi la participation à une étude se fait dans le respect de l'anonymat. Aucun renseignement susceptible de révéler votre identité ne sera dévoilé. Un code aléatoire sera attribué aux données de chaque participant-e. Le document établissant la correspondance entre ce code et l'identité des participant-es sera conservé dans un lieu sécurisé, et accessible uniquement au responsable scientifique ou à des personnes autorisées. Ce document sera détruit après anonymisation des données pour l'analyse

Vos droits de poser des questions à tout moment

Vous pouvez poser des questions sur la recherche à tout moment (avant, pendant et après la procédure de recherche) en vous adressant au responsable scientifique dont les coordonnées sont rapportées ci-dessous.

Vos droits à vous retirer de la recherche à tout moment

Votre contribution à cette recherche est volontaire. Après avoir lu cette notice d'information, vous signerez un formulaire de consentement éclairé. Vous pourrez retirer ce consentement à tout moment et demander à ce que les données d'expérimentation soient détruites en vous adressant au responsable scientifique.

Si vous avez des questions, n'hésitez pas à vous adresser aux responsables scientifiques, dont les coordonnées figurent ci-dessous.

Nous vous remercions par avance pour votre collaboration.

Cécile Brune et Juliette Clémenceau

Coordonnées

Responsables scientifiques :

Mme Lungu Oana oana.lungu@univ-nantes.fr

Mme Coupechoux Hélène hcoupechoux@gmail.com

Etudiantes :

Mme Brune Cécile cecile.brune@etu.univ-nantes.fr

Mme Clémenceau Juliette juliette.clemenceau@etu.univ-nantes.fr

ANNEXE 2 : Lettre de consentement éclairé



U.E. 7.5.c Mémoire

Semestre 10

Centre de Formation Universitaire en Orthophonie

Directeur : Pr Florent ESPITALIER

Directrices Pédagogiques : Mme Emmanuelle PRUDHON et Mme Oana LUNGU

Directrice des Stages : Mme Anne ESNAULT

LETTRE DE CONSENTEMENT ÉCLAIRÉ

Coordonnées du responsable du projet

NOM et Prénom: BRUNE Cécile

Mail : cecile.brune@etu.univ-nantes.fr

Titre de l'étude : Le rôle de la mémoire de travail dans l'effet d'amorçage inter-modal des mathématiques sur la compréhension des relatives chez les adolescent·es

Coordonnées du participant

Nom : Prénom :

Date de naissance :

Dans le cadre de la réalisation d'une étude, Mme Cécile BRUNE étudiant(e) en orthophonie m'a proposé de participer à une investigation organisée par le Centre de Formation Universitaire en Orthophonie (CFUO) de Nantes.

Elle m'a clairement présenté les objectifs de l'étude, m'indiquant que je suis libre d'accepter ou de refuser de participer à cette recherche. Afin d'éclairer ma décision, une information précisant clairement les implications d'un tel protocole m'a été communiquée, à savoir : le but de la recherche, sa méthodologie, sa durée, les bénéfices attendus, ses éventuelles contraintes, les risques prévisibles, y compris en cas d'arrêt de la recherche avant son terme. J'ai pu poser toutes les questions nécessaires, notamment sur l'ensemble des éléments déjà cités, afin d'avoir une compréhension réelle de l'information transmise. J'ai obtenu des réponses claires et adaptées, afin que je puisse me faire mon propre jugement. Toutes les données et informations me concernant resteront strictement confidentielles. Seules les responsables du projet y auront accès.

J'ai pris connaissance de mon droit d'accès et de rectification des informations nominatives me concernant et qui sont traitées de manière automatisées, selon les termes de la loi.

J'ai connaissance du fait que je peux retirer mon consentement à tout moment du déroulement du protocole et donc cesser ma participation, sans encourir aucune responsabilité. Je pourrai à tout moment demander des informations complémentaires concernant cette étude.

Ayant disposé d'un temps de réflexion suffisant avant de prendre ma décision, et compte tenu de l'ensemble de ces éléments, j'accepte librement et volontairement de participer à cette étude dans les conditions établies par la loi.

Fait à :, le

Signature du participant

Signature de l'étudiant

ANNEXE 3 : Liste complète des phrases entendues lors de la tâche de compréhension de phrases et de la tâche d'amorçage

Phrases d'entraînement

- Montre-moi la fille qui salue la dame.
- Montre-moi l'homme qui joue avec le garçon.
- Montre-moi la dame qui nourrit la vache.
- Montre-moi la fille qui pousse le garçon.

Phrases cibles

- Montre-moi le fils de l'homme qui va se brosser les dents.
- Montre-moi le fils de l'homme qui va jouer de l'accordéon.
- Montre-moi le fils de l'homme qui va observer les oiseaux.
- Montre-moi le père du garçon qui va faire du vélo.
- Montre-moi le père du garçon qui va boire de l'eau.
- Montre-moi le père du garçon qui va sortir la poubelle.
- Montre-moi le père du garçon qui va partir en vacances.
- Montre-moi la mère de la fille qui va écrire une lettre.
- Montre-moi la mère de la fille qui va manger son repas.
- Montre-moi la mère de la fille qui va traire la vache.
- Montre-moi la mère de la fille qui va cueillir une fleur.
- Montre-moi la fille de la femme qui va promener son chien.
- Montre-moi la fille de la femme qui va caresser le chat.
- Montre-moi la fille de la femme qui va mettre un chapeau.
- Montre-moi la fille de la femme qui va ramasser la poupée.

Phrases de remplissage

- Montre-moi le chien qui va dormir.
- Montre-moi le garçon qui va travailler.
- Montre-moi la femme qui va conduire.
- Montre-moi la fille qui va lire.
- Montre-moi l'homme qui va bricoler.
- Montre-moi la fille qui va jouer.
- Montre-moi l'homme qui va cuisiner.
- Montre-moi l'homme qui va surfer.
- Montre-moi la vache qui va boire.
- Montre-moi la femme qui va jardiner.
- Montre-moi l'homme qui va écrire.
- Montre-moi la femme qui va bronzer.
- Montre-moi la femme qui va nager.
- Montre-moi l'homme qui va pêcher.
- Montre-moi la femme qui va pique-niquer.

ANNEXE 4 : Liste complète des opérations mathématiques présentées lors de la tâche d'amorçage

Opérations cibles

- AH. $4 + ((6 - 2) / 2) = \{6 \mid 4\}$
AB. $4 + (6 - (2 / 2)) = \{4 \mid 9\}$
- AH. $3 + ((9 - 6) / 3) = \{4 \mid 2\}$
AB. $3 + (9 - (6 / 3)) = \{2 \mid 10\}$
- AH. $10 + ((15 - 3) \times 2) = \{34 \mid 44\}$
AB. $10 + (15 - (3 \times 2)) = \{44 \mid 19\}$
- AH. $12 - ((6 + 4) / 2) = \{7 \mid 5\}$
AB. $12 - (6 + (4 / 2)) = \{5 \mid 6\}$
- AH. $5 + ((4 + 1) \times 5) = \{30 \mid 50\}$
- AB. $5 + (4 + (1 \times 5)) = \{50 \mid 14\}$
- AH. $12 - ((4 + 4) / 2) = \{8 \mid 6\}$
AB. $12 - (4 + (4 / 2)) = \{6 \mid 10\}$
- AH. $3 + ((4 - 1) \times 2) = \{9 \mid 12\}$
AB. $3 + (4 - (1 \times 2)) = \{12 \mid 5\}$
- AH. $10 + ((20 + 10) / 5) = \{16 \mid 8\}$
AB. $10 + (20 + (10 / 5)) = \{8 \mid 32\}$
- AH. $8 + ((7 - 2) \times 3) = \{23 \mid 39\}$
AB. $8 + (7 - (2 \times 3)) = \{39 \mid 9\}$
- AH. $3 + ((2 + 1) \times 4) = \{15 \mid 24\}$
AB. $3 + (2 + (1 \times 4)) = \{24 \mid 9\}$
- AH. $16 - ((8 - 4) / 2) = \{14 \mid 2\}$
AB. $16 - (8 - (4 / 2)) = \{2 \mid 10\}$
- AH. $12 - ((3 + 6) / 3) = \{9 \mid 5\}$
AB. $12 - (3 + (6 / 3)) = \{5 \mid 7\}$
- AH. $11 + ((7 - 3) \times 2) = \{19 \mid 30\}$
AB. $11 + (7 - (3 \times 2)) = \{30 \mid 12\}$
- AH. $4 + ((6 - 4) / 2) = \{5 \mid 3\}$
AB. $4 + (6 - (4 / 2)) = \{3 \mid 8\}$
- AH. $6 + ((8 - 2) \times 3) = \{24 \mid 36\}$
AB. $6 + (8 - (2 \times 3)) = \{36 \mid 8\}$

Opérations de remplissage

- $(11 - 5) \times 2 = \{12 \mid 1\}$
- $10 / (5 \times 2) = \{1 \mid 4\}$
- $(10 + 4) / 2 = \{7 \mid 12\}$
- $12 / (2 + 4) = \{2 \mid 10\}$
- $3 \times (10 - 5) = \{15 \mid 25\}$
- $18 - (3 \times 2) = \{30 \mid \}$
- $(15 - 10) / 5 = \{1 \mid 13\}$
- $(2 \times (20 + 10)) / 5 = \{12 \mid 10\}$
- $5 \times (3 + 2) = \{25 \mid 17\}$
- $(2 \times (6 + 3)) / 6 = \{3 \mid 4\}$
- $(6 + 4) \times 3 = \{30 \mid 18\}$
- $(16 - (6 + 2)) / 4 = \{2 \mid 3\}$
- $4 \times (3 + 2) = \{20 \mid 14\}$
- $(5 \times (3 + 5)) / 5 = \{8 \mid 4\}$
- $3 \times (7 - 2) = \{15 \mid 19\}$

ANNEXE 5 : Liste complète des phrases présentées lors de la tâche de mémoire de travail

Entraînement

- Bloc 1
- L'essence est un polluant.
- L'azote est un métal.
- Bloc 2
- Les hexagones comptent 3 côtés.
- Le Vésuve est un volcan.
- Le rat est un insecte.

Série 1

- Bloc 1
- Emmanuel Macron est le président français.
- L'Argentine est un pays d'Europe.
- Bloc 2
- L'air inspiré passe par les poumons.
- 3 pour cent des Français vivent en milieu urbain.
- Bloc 3
- Les Pyrénées sont une montagne indienne.
- Les stations d'épurations traitent les eaux usées.

Série 2

- Bloc 1
- Les molécules contiennent des atomes.
- Les légumes sont mauvais pour la santé.
- L'italien et le français sont des langues latines.
- Bloc 2
- Le charbon est une énergie fossile.
- Les ovules sont des gamètes femelles.
- Los Angeles est une ville chinoise.
- Bloc 3
- 1 minute contient 60 secondes.
- Le malade imaginaire est une pièce de théâtre.
- Charlemagne est surnommé le Roi soleil.

Série 3

- Bloc 1
- Le Portugal est un pays d'Asie.
- Les plantes nécessitent de la lumière.
- La lave contient des roches en fusion.
- Les mammifères possèdent des branchies.
- Bloc 2
- La déforestation nuit aux pandas.
- Un alexandrin contient 4 syllabes.
- La fusion est une réaction chimique.
- Le Portugal a un climat polaire.
- Bloc 3
- Le degré est une unité de volume.
- Napoléon Ier instaure un Empire.
- La Chine est un pays sous peuplé.

- Hitler est un dictateur anglais.

Série 4

- Bloc 1

- Les Français élisent le chef d'état.
- Paris est la capitale de l'Espagne.
- Les joueurs de handball utilisent un volant.
- Le mot "poisson" est un nom commun.
- A 100 degrés, l'eau est à l'état solide.

- Bloc 2

- Le système solaire compte 13 planètes.
- Le petit du chat s'appelle le chaton.
- Les araignées possèdent des antennes.
- Victor Hugo écrit des romans.
- Les cellules humaines comptent 3 noyaux

- Bloc 3

- Le violet est une couleur primaire.
- Les Césars récompensent des acteurs.
- La femelle du mouton est la jument.
- Jupiter appartient au système solaire.
- Kylian MBappé est un joueur de football.

Le rôle de la mémoire de travail dans l'effet d'amorçage des mathématiques sur la compréhension des propositions relatives ambiguës chez des adolescents tout-venant.

RESUME

Ce mémoire s'attache à explorer quels sont les liens entre le langage et les mathématiques. Le protocole expérimental vise à mettre en évidence un effet d'amorçage des mathématiques sur les préférences d'attachement des propositions relatives chez les adolescent·es tout-venant. Une tâche qui mesure les capacités en mémoire de travail est également proposée, afin de déterminer le rôle de la mémoire de travail dans l'effet d'amorçage inter-domaine. Nos résultats montrent que les adolescent·es français·es âgé·es de 13 à 15 ans ont une préférence pour l'attachement haut des propositions relatives ambiguës, mais que cette préférence est modulée par les capacités en MDT. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Felser et al. (2003) chez les enfants anglophones. Nous n'observons pas d'effet d'amorçage intermodal, soit car notre population avait des capacités trop faibles en MDT, soit en raison de biais méthodologiques.

MOTS-CLES

Effet d'amorçage – Mathématiques - Mémoire de travail – Propositions relatives ambiguës – Traitement syntaxique

ABSTRACT

This study explores the cognitive links between language and mathematics. The experimental protocol aims at demonstrating a priming effect of mathematics on relative clause attachment preferences in French adolescents. A working memory task is also included, in order to determine its role in the cross-domain priming effect. Our results show that French adolescents (aged between 13 and 15 years old) have a preference for high attachment of relative clauses and that this preference is modulated by working memory abilities. These results are parallel to those obtained by Felser and Marinis (2003) for English children. No intermodal priming effect is observed. We argue that low working memory abilities or methodological biases could be responsible for the lack of priming effects.

KEY WORDS

Ambiguous relative clauses – Mathematics – Priming effect – Syntactic processing – Working memory