



HAL
open science

Un entraînement moteur avec outil pour améliorer le traitement syntaxique chez l'adolescent porteur d'un Trouble Développementale du Langage (TDL)

Claudio Brozzoli, Laurianne Roscigni, Dufour Marie, Alice Roy, Véronique Boulenger

► To cite this version:

Claudio Brozzoli, Laurianne Roscigni, Dufour Marie, Alice Roy, Véronique Boulenger. Un entraînement moteur avec outil pour améliorer le traitement syntaxique chez l'adolescent porteur d'un Trouble Développementale du Langage (TDL). *Rééducation orthophonique*, 2024, 298. halshs-04827442

HAL Id: halshs-04827442

<https://shs.hal.science/halshs-04827442v1>

Submitted on 13 Dec 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Un entraînement moteur avec outil pour améliorer le traitement syntaxique chez l'adolescent porteur d'un Trouble Développementale du Langage (TDL)

Brozzoli Claudio¹, Roscigni Laurianne^{2,3}, Dufour Marie^{1,4}, Roy Alice C.^{2*}, Boulenger Véronique^{2*}

¹ ImpAct, Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon, INSERM, Lyon, France

² Laboratoire Dynamique du Langage, UMR 5596 CNRS - Université Lumière Lyon 2, Lyon, France

³ CFUO, Institut des Sciences et Techniques de la Réadaptation, Université Lyon 1

⁴ CFUO, Université de Bordeaux

*contributions égales

INTRODUCTION

Le Trouble Développementale du Langage (TDL), affectant entre 5 et 7% des enfants d'âge préscolaire et scolaire (Maillart, 2022), est un trouble de la communication qui se manifeste par des difficultés langagières significatives et durables sur le versant expressif et/ou réceptif et ce, en l'absence de déficit neurologique, auditif ou intellectuel (Bishop et al., 2016). Les difficultés apparaissent précocement dans le développement de l'enfant et ont des répercussions fonctionnelles sur sa vie scolaire, sociale, professionnelle et plus largement sur sa santé mentale et sa prise d'autonomie (Conti-Ramsden et al., 2018). Si le TDL peut affecter l'ensemble des composantes du langage (phonologie, lexicale, morphosyntaxe, discours et pragmatique) sur les versants réceptif et expressif (Breault et al., 2019a), c'est dans le domaine syntaxique que les déficits sont les plus durables, voire les plus sévères (Contemori & Garraffa, 2010; Hsu & Bishop, 2010; Leroy et al., 2014; Montgomery et al., 2017). Le déficit syntaxique constituerait même un élément saillant du trouble langagier (Leonard, 2014; Leroy et al., 2009).

De nombreuses études montrent que les patients présentant un TDL peinent à maîtriser les éléments morphologiques et syntaxiques de leur langue (Güven & Leonard, 2020 ; Leonard et al., 2013; Montgomery & Evans, 2009; Parisse & Maillart, 2009). Les travaux sur l'acquisition du français mettent en évidence un décalage du développement syntaxique chez les enfants porteurs d'un TDL sur les deux versants langagiers, ainsi que des difficultés persistantes sur certaines structures de la langue. L'émergence des premiers mots serait retardée, induisant un décalage dans la production des premières phrases (Parisse & Maillart, 2004) avec par la suite, des énoncés plus courts, marqués par des omissions et des substitutions de mots grammaticaux (Parisse & Maillart, 2009). Le déficit touche également le traitement des phrases complexes, avec des difficultés sur le plan réceptif qui persistent à long terme (Delage et al., 2016; Delage & Frauenfelder, 2012; Prigent et al., 201 ; Ross-Lévesque et al., 2019). Chez les adolescents et les adultes porteurs d'un TDL, les structures

nécessitant le plus haut degré d'intégration syntaxique, à savoir celles impliquant un enchâssement ou un déplacement syntaxique avec bouleversement de l'ordre canonique, telles que les phrases relatives objet (Courteau et al., 2023; Montgomery, 2004; Montgomery et al., 2016, 2017), et celles impliquant des pronoms clitiques (Audollent & Tuller, 2003; Delage, 2021a; Leonard, 2014), sont les plus laborieuses. Ces déficits occasionnent en production un évitement d'emploi de ces structures (Contemori & Garraffa, 2010; Tuller et al., 2012) ; en réception, les stratégies pour compenser les déficits sont quant à elles peu documentées (Comblain, 2004).

Stratégies de rééducation actuelles

La rééducation des troubles syntaxiques se veut efficace et doit donc être ciblée et intensive tout en abordant les deux versants langagiers (Balthazar & Scott, 2018; Finestack & Satterlund, 2018). Dans la littérature, la plupart des études évaluent l'effet des thérapies syntaxiques en production, très peu concernent le versant réceptif (Boyle et al., 2010; Cirrin & Gillam, 2008; Law et al., 2005). Ebbels (2014) expose trois approches thérapeutiques pour la rééducation morphosyntaxique : l'approche implicite, l'approche explicite et l'approche mixte. La première consiste à modifier l'*input* langagier adressé à l'enfant en modifiant le signal de la parole (débit ralenti, accent prosodique sur certains items morphosyntaxiques) au moyen de reformulations, d'expansions linguistiques et de répétitions (Calder et al., 2018). Cette approche écologique permet à l'enfant porteur d'un TDL de s'imprégner des cibles morphosyntaxiques grâce à l'augmentation de leur fréquence et de leur saillance dans le discours. Cette approche serait notamment pertinente sur le versant expressif dans le cadre d'interventions auprès d'enfants de moins de 6 ans (Ebbels, 2014; Leonard, 2014). Au-delà de cet âge, Coquet (2020) estime qu'elle serait moins efficace pour les apprentissages qui s'effectuent plus lentement et qui entraînent des difficultés persistantes, ce qui est le cas des phrases complexes.

L'approche explicite semble plus adaptée pour ces structures syntaxiques chez les patients présentant un TDL d'âge scolaire. Elle vise à faciliter l'apprentissage des règles grammaticales en s'appuyant sur des supports visuels impliquant un système de codage par des formes et des couleurs, tout en investissant les compétences métalinguistiques de l'enfant (Calder et al., 2020; Ebbels, 2014). Balthazar et collègues (2020) répertorient trois méthodes explicites efficaces : la technique du *Shape Coding* (Ebbels, 2007), bénéfique pour l'amélioration de la compréhension des phrases avec conjonction de coordination (Ebbels et al., 2014), le Meta Taal, technique basée sur l'utilisation de légos de formes et de couleurs différentes, utilisée notamment pour le traitement des phrases relatives sujet (Zwitsers et al., 2015), et enfin la « Complex Sentence Intervention »

(Balthazar et Scott, 2018) qui améliorerait la compréhension et la production des propositions circonstancielles, complétives et relatives sans pour autant dépasser le seuil de significativité.

L'amélioration des performances suite à un apprentissage explicite, reposant donc sur une stratégie métalinguistique, semble soutenir l'hypothèse du déficit de la mémoire procédurale dans le TDL (Ullman & Pierpont, 2005). Cette hypothèse stipule que les patients porteurs d'un TDL présentent des difficultés relatives à la grammaire en raison d'une atteinte de la mémoire procédurale, aussi appelée mémoire implicite, elle-même impliquée dans l'apprentissage de séquences langagières et motrices. De ce fait, ce serait grâce à la mémoire déclarative, sollicitée par les approches thérapeutiques explicites, que les patients compenseraient leurs déficits (Lum et al., 2012). À l'heure actuelle, la littérature suggère que la combinaison des deux approches (implicite et explicite) soit la plus efficace pour remédier au déficit syntaxique dans le TDL (Boyle et al., 2010; Calder et al., 2018; Ebbels, 2014; Finestack & Satterlund, 2018).

Ressources syntaxiques communes pour le langage et la motricité

Dans le champ de la cognition incarnée (Fischer & Zwaan, 2008 ; Pulvermüller & Fadiga, 2010 ; Wilson, 2002), l'idée que le traitement syntaxique soit ancré dans les processus sensorimoteurs a récemment émergé (Pulvermüller, 2014; Roy et Arbib, 2005). Si l'aire de Broca située dans le gyrus frontal inférieur gauche a initialement été identifiée, par des études neuropsychologiques notamment (Caramazza & Zurif, 1976), comme le support du traitement syntaxique, les travaux en neuroimagerie fonctionnelle ont mis en évidence un réseau plus distribué impliquant des régions à la fois corticales et sous-corticales (Herbet & Duffau, 2020). La compréhension syntaxique sollicite ainsi non seulement des régions frontales et préfrontales (Price, 2012), pariétales inférieures (Walenski et al., 2019) et temporales (Friederici, 2002; Friederici et al., 2003) bilatérales, mais également d'autres structures en dehors du cortex périsylvien. En particulier, les ganglions de la base, aussi appelés noyaux gris centraux, qui constituent un ensemble de structures sous-corticales se projetant sur le cortex frontal *via* le thalamus (Teichmann et al., 2015; Ullman, 2006), seraient impliqués dans la gestion de la structure hiérarchique des phrases, et dans la vérification de l'ordre des mots (Friederici et al., 2003; Moro et al., 2001). La compréhension des phrases complexes, comme les phrases relatives objet (i.e. énoncés non canoniques), induit en outre une activation plus intense des aires de Wernicke et de Broca (Pulvermüller & Fadiga, 2010), d'un faisceau de matière blanche reliant l'aire de Broca et le striatum (ce dernier appartenant aux ganglions de la base, Teichmann et al., 2015), ainsi que de l'insula droite (Walenski et al., 2019).

De façon tout à fait remarquable, l'aire de Broca et les ganglions de la base sont également impliqués dans des processus d'exécution motrice (Fadiga et al., 2009; Teichmann et al., 2015). Ceci permet d'appréhender une proximité fonctionnelle entre la syntaxe langagière et la motricité, jusqu'à l'existence d'une syntaxe qui pourrait être supramodale (Greenfield, 1991; Pulvermüller, 2014; Pulvermüller & Fadiga, 2010), à savoir qu'elle régirait la combinaison hiérarchique d'un matériel cognitif qu'il soit linguistique ou moteur (Brozzoli et al., 2019 ; Fazio et al., 2009; Greenfield, 1991; Roy et al., 2013). Pulvermüller (2014) compare la structure imbriquée de la syntaxe à la succession organisée d'étapes motrices permettant de réaliser une action vers un but précis. À l'instar de la syntaxe linguistique, chaque action du quotidien pourrait être décomposée en plusieurs étapes hiérarchiquement imbriquées les unes dans les autres comme [ouvrir la porte [allumer la lumière] fermer la porte], évoquant ainsi l'existence d'une syntaxe motrice (Roy et Arbib, 2005). Bien que cette analogie suscite des débats au sein de la communauté scientifique (Moro, 2014), plusieurs études réalisées chez l'enfant et l'adulte illustrent ce lien fonctionnel entre syntaxe langagière et motricité.

D'un point de vue développemental, les observations longitudinales d'enfant âgés de 11 à 36 mois ont conduit Greenfield (1991) à soutenir l'hypothèse d'un substrat neuronal commun pour expliquer la concordance des acquisitions langagières (production de sons puis de mots-phrases) et des acquisitions motrices (empilement puis encastrement de pots). Dans le domaine de la pathologie, la forte comorbidité entre le Trouble Développemental de la Coordination (TDC) et le TDL admise par le DSM-V (2015), constitue un élément supplémentaire en faveur d'un partage neuronal entre langage et motricité (Leonard & Hill, 2014). Plusieurs études soulignent en effet la co-occurrence de fragilités dans le domaine moteur chez les patients porteurs d'un TDL (Albaret & de Castelneau, 2009; Hill, 2001) : l'acquisition motrice peut être retardée, et la motricité à la fois globale et fine peut être fragile, voire déficitaire (Sack et al., 2022; Sanjeevan et al., 2015; Sanjeevan & Mainela-Arnold, 2019). L'hypothèse du déficit procédural (Ullman & Pierpont, 2005) tente d'éclairer cette co-occurrence des déficits langagiers et moteurs. La mémoire procédurale, qui repose sur l'activation du cortex frontal et des ganglions de la base (striatum et pallidum; Ullman, 2001, 2006), serait impliquée dans les apprentissages et le contrôle de nouvelles compétences motrices et langagières, dont la grammaire. Selon Ullman et ses collègues, un dysfonctionnement du striatum chez les enfants porteurs d'un TDL engendrerait un déficit d'apprentissage procédural à l'origine de leurs difficultés à apprendre et à appliquer un ensemble de règles dans les domaines moteur et langagier (Albaret & de Castelneau, 2009; Ullman & Pierpont, 2005). Goffman et Gerken (2020) nuancent toutefois cette hypothèse en évoquant plutôt un déficit d'apprentissage séquentiel

au vu des difficultés significatives des patients présentant un TDL dans les tâches impliquant un séquençage d'action, en particulier pour de nouveaux mouvements (Sanjeevan & Mainela-Arnold, 2019).

L'idée d'une syntaxe motrice (i.e. composante hiérarchique de l'action) et d'un lien structurel avec la syntaxe linguistique est par ailleurs étayée par une étude réalisée auprès d'enfants porteurs d'un TDL, comparés à un groupe contrôle d'enfants neurotypiques (Roy et al., 2013). Une tâche de déplacement d'objet nécessitant une planification des actions, à savoir soulever puis déplacer l'objet, était proposée aux enfants. Le poids de l'objet n'était pas toujours connu par les participants. La réalisation de ce déplacement d'objet en deux phases (soulever-déplacer) nécessiterait une hiérarchisation des sous-étapes de l'action, rendant la tâche motrice comparable à la structure hiérarchique des propositions relatives enchâssées. Les mesures cinématiques du mouvement ont montré qu'en situation de poids inconnu, le comportement de tous les enfants était similaire : après avoir saisi l'objet, ils ajustaient leurs mouvements en fonction de son poids lors de la phase de déplacement. Néanmoins, en situation de poids connu, alors que les enfants neurotypiques anticipaient le poids de l'objet, les enfants porteurs d'un TDL n'intégraient pas cette information et déplaçaient l'objet comme en situation de poids inconnu. Roy et collègues ont alors établi un lien entre les troubles d'intégration syntaxique des phrases complexes chez les enfants avec un TDL et leurs difficultés à hiérarchiser les étapes d'une action dirigée vers un but (ici un déplacement d'objet), laissant entrevoir un potentiel partage neuronal entre les mécanismes syntaxiques moteur et langagier.

Dans cette perspective d'un ancrage de la syntaxe dans les réseaux sensorimoteurs, notre équipe a mis en évidence un partage neurofonctionnel entre le traitement syntaxique et le maniement d'outil chez des adultes neurotypiques (Brozzoli et al., 2019; Thibault et al., 2021). Une première étude comportementale a démontré un lien fonctionnel entre la production syntaxique et l'utilisation d'un outil (Brozzoli et al., 2019). La tâche syntaxique consistait à produire oralement des énoncés à partir de mots donnés et la tâche motrice consistait à placer un maximum de pions dans une planche percée à l'aide d'un outil (i.e. pince mécanique). L'utilisation d'une pince ajoute un niveau hiérarchique dans le programme moteur, puisque l'individu doit intégrer l'outil comme faisant partie de son corps, modifiant subtilement la planification des étapes hiérarchisées dans la réalisation du mouvement (Martel et al., 2016, 2022). Nos résultats ont révélé que l'habileté à manipuler un outil était prédictive de l'habileté à produire des phrases syntaxiquement correctes. Dans une seconde étude utilisant l'Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle (IRMf), nous avons ensuite montré un partage de corrélats cérébraux entre la compréhension de phrases complexes et la

manipulation de l'outil (Thibault et al., 2021). La tâche motrice consistait à déplacer un pion d'un côté à l'autre d'une planche percée soit avec une pince, soit à main nue. La tâche de compréhension syntaxique consistait à lire des phrases coordonnées et des phrases subordonnées relatives sujet ou objet (e.g. « L'écrivain qui admire le poète écrit un article » ou « L'écrivain que le poète admire écrit un article »), et à répondre à une affirmation sur ces phrases (e.g. « L'écrivain admire le poète »). Une tâche contrôle de type *n-back* sollicitant la mémoire de travail était également proposée. Des mots étaient présentés successivement sur un écran et les participants devaient indiquer par un appui bouton dès qu'ils détectaient un mot présenté un essai ou trois essais auparavant. Les données en IRMf ont montré un chevauchement neuroanatomique au sein des ganglions de la base (pallidum bilatéraux et noyau caudé gauche) spécifique à la tâche de compréhension des phrases relatives objet et à la manipulation avec l'outil. Aucun recouvrement d'activité cérébrale n'a été observé entre la manipulation à main nue et la tâche syntaxique, ni entre la manipulation avec l'outil et la tâche de mémoire de travail.

Le partage de ressources entre traitement d'énoncés complexes et utilisation d'outil se traduit en outre par un transfert de compétences inter-domaines au niveau comportemental. Chez les adultes neurotypiques, un entraînement moteur consistant à insérer des pions dans les trous d'une planche avec la pince améliore en effet la compréhension des phrases relatives objet et réciproquement, un entraînement syntaxique consistant à répondre à des questions de compréhension sur ces phrases améliore les performances avec l'outil. Aucune amélioration significative de la compréhension des phrases syntaxiquement complexes n'est observée après un entraînement moteur réalisé à main nue ou après le visionnage de vidéos. Une troisième condition contrôle à main nue, sans outil mais mimant les contraintes sensorimotrices de la pince, ne révèle pas non plus de bénéfice sur la compréhension des structures syntaxiques complexes. L'effet de l'entraînement avec l'outil est donc spécifique et ne peut être attribué à une plus grande difficulté sensorimotrice de la tâche, mais bien à la complexité accrue de la structure syntaxique motrice.

L'ensemble de ces résultats suggèrent que les ganglions de la base, mobilisés à la fois pour le traitement de phrases complexes et l'utilisation d'outil, soient le siège d'une syntaxe supramodale au service du langage et de la motricité. Sur le plan comportemental, ce partage neurofonctionnel s'incarne par un transfert d'apprentissage entre les compétences motrices et syntaxiques qui s'expliquerait par un processus de plasticité cérébrale à court terme dans les noyaux gris centraux, ou par une pré-activation de cette même zone (Thibault et al., 2021).

Un entraînement moteur avec l'outil pour améliorer la syntaxe dans le TDL ?

Au regard des déficits persistants dans le domaine syntaxique (Güven & Leonard, 2020), notamment pour des énoncés complexes tels que des phrases subordonnées relatives (Courteau et al., 2023; Montgomery et al., 2016; Tuller et al., 2012), il semble pertinent de soutenir les habiletés syntaxiques des patients porteurs d'un TDL afin de les accompagner au mieux dans leurs parcours académique et professionnel (Conti-Ramsden et al., 2018; Dubois et al., 2020). L'objectif de la présente étude est de tester les bénéfices potentiels d'un entraînement moteur avec un outil sur la compréhension de phrases plus ou moins complexes syntaxiquement chez un groupe d'adolescents porteurs d'un TDL. Afin de s'assurer que l'outil est déterminant, les performances syntaxiques d'un second groupe d'adolescents porteurs d'un TDL sont examinées dans la même tâche de compréhension de phrases après un entraînement moteur sans outil, mais avec une configuration manuelle mimant les contraintes sensorimotrices de l'outil (i.e. condition « main contrainte »; cf. Thibault et al., 2021 et section Méthodes). Notre hypothèse est que seul l'entraînement avec l'outil devrait donner lieu à un transfert d'apprentissage vers la syntaxe langagière : la compréhension des phrases complexes (propositions subordonnées relatives objet enchâssées au centre) devrait être améliorée chez les adolescents porteurs d'un TDL ayant bénéficié de l'entraînement moteur avec l'outil mais pas chez ceux ayant réalisé l'entraînement moteur avec la main contrainte.

MÉTHODES

Participants

Quinze adolescents porteurs d'un TDL ont été recrutés pour être inclus dans l'étude, selon les critères d'inclusion et d'exclusion suivants : être âgé de 10 à 17 ans et de langue maternelle française, être droitier et lecteur, avoir reçu le diagnostic de TDL par un orthophoniste, ne pas être bilingue précoce (i.e. seconde langue apprise avant l'âge de 5 ans), et ne pas pratiquer d'instrument de musique ou ne pas en avoir pratiqué pendant plus de trois ans.

Au total, 13 participants répondant à ces critères ont pu être inclus : six participants ont été affectés au groupe « outil » (i.e. groupe expérimental ; 5 filles, âge moyen : 13 ans 1 mois, score au test de latéralité manuelle d'Edimbourg (Oldfield, 1971) $\geq 0,6$), et sept ont été affectés au groupe « main contrainte » (i.e. groupe contrôle ; 4 filles, âge moyen : 13 ans, score de latéralité manuelle $\geq 0,6$). Les informations relatives au profil cognitif des deux groupes d'adolescents porteurs d'un TDL (suivi orthophonique, présence de troubles associés etc.) sont présentées en Annexe (Tableau A1). Le protocole a été approuvé par le Comité de Protection des Personnes OUEST IV (69HCL17_0359

NCT03223090), et l'ensemble des participants ainsi que leurs tuteurs légaux ont signé un formulaire de consentement après avoir été informés de la procédure.

Lors d'une première visite d'inclusion, nous avons vérifié l'éligibilité des participants à l'étude. Après avoir recueilli les bilans diagnostiques des orthophonistes objectivant le TDL, nous nous sommes assurés de la dominance manuelle droite des participants avec le test de latéralité manuelle d'Edimbourg (Oldfield, 1971). Nous avons ensuite évalué leurs habiletés motrices et langagières initiales à l'aide, respectivement, du Purdue Pegboard Test (Tiffin, 1948) et de trois épreuves langagières de la batterie EVALEO 6-15 (Launay et al., 2018). Ces épreuves motrices et langagières ont été administrées dans un ordre aléatoire : certains participants débutaient par les épreuves langagières (lecture de textes non-signifiant et signifiant, et tâche de compréhension écrite de phrases), d'autres par les épreuves motrices (Purdue Pegboard Test). L'effet de l'entraînement moteur sur le traitement syntaxique a été évalué lors d'une deuxième visite.

Bilan des habiletés motrices initiales

Le niveau initial de dextérité manuelle des participants a été évalué avec le Purdue Pegboard Test (Tiffin, 1948), qui consiste à placer des pions avec la main dominante (ici, droite) dans des trous circulaires d'une planche (Figure 1A), en commençant d'abord par la colonne de droite. Les participants réalisaient la tâche à main nue pendant trois séries de trente secondes chacune. Pendant trois autres séries de trente secondes, ils inséraient les pions avec un outil (i.e. pince d'une longueur de trente centimètres ; Figure 1B). La modalité d'insertion des pions était contrebalancée entre les participants : certains commençaient la tâche à main nue, d'autres avec l'outil. Le nombre de pions correctement insérés a été comptabilisé.

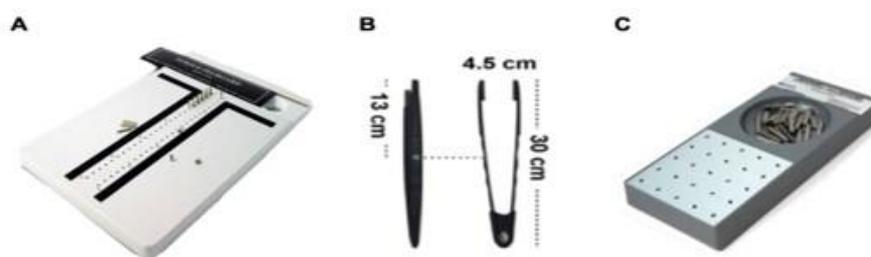


Figure 1. Matériel utilisé pour le bilan des habiletés motrices initiales : A) Purdue Pegboard Test (Tiffin, 1948) ; B) Pince utilisée comme outil (image : Brozzoli et al., 2019) ; C) Grooved Lafayette Test.

Le comptage du nombre de pions correctement insérés révèle, comme attendu, des performances avec l'outil (4 pions insérés en moyenne) inférieures à celles à main nue (12,8 pions en moyenne) chez les deux groupes d'adolescents (ANOVA modèle mixte : Effecteur (Outil vs Main) X Groupe

d'Entraînement (Outil vs Main contrainte), incluant le facteur Sujet comme facteur aléatoire : [F(1,63)=412,07 ; p<0,001]). Les participants affectés au groupe d'entraînement moteur avec la main contrainte (9 pions en moyenne) présentent en outre un niveau initial de dextérité manuelle sensiblement supérieur à celui des adolescents affectés au groupe d'entraînement avec l'outil (7,8 pions en moyenne), que les pions soient insérés avec l'outil ou à main nue [F(1,11)=4,837 ; p=0,05]).

Bilan des habiletés langagières initiales

Test d'identification du mot écrit

Selon le modèle simple de la lecture de Gough et Tunmer (1986 ; *Simple View of Reading*), il est indispensable pour appréhender les difficultés de traitement syntaxique à l'écrit d'évaluer précisément les capacités d'Identification du Mot Écrit (IME) (ou « décodage ») des participants (Collège Français d'Orthophonie, 2022; Macchi et al., 2016; Sprenger-Charolles, 2017). L'IME serait automatisée au niveau CE2 d'après le livret d'utilisateur de la batterie d'évaluation du langage écrit et du langage oral EVALEO 6-15 (Launay et al., 2018, 2022). Nous avons proposé une tâche de lecture d'un texte non signifiant et d'un texte signifiant issus de cette batterie aux participants porteurs d'un TDL afin de nous assurer de l'efficacité de leur capacité de décodage. Une comparaison de leurs performances en termes de vitesse de lecture et de nombre d'erreurs de lecture par rapport à leur niveau scolaire et à leur âge chronologique a permis d'obtenir leur niveau de lecture.

L'ensemble des adolescents possède un niveau de lecture supérieur ou égal au niveau CE2 (niveau minimum : CE2 ; niveau maximum : 3^{ème}) (Tableau A2 en Annexe), indiquant une automatisation de la lecture leur permettant de réaliser la tâche syntaxique de compréhension écrite de phrases (Launay et al., 2022). Des différences qualitatives de niveau de lecture sont néanmoins observées entre les deux groupes, les adolescents du groupe main contrainte (niveau moyen : CM2 < moy < 6^{ème}) présentant un niveau de lecture moyen légèrement inférieur à celui du groupe outil (niveau moyen : 5^{ème} < moy < 4^{ème}).

Test de compréhension syntaxique à l'écrit

La tâche de compréhension syntaxique issue de la batterie EVALEO 6-15 (Launay et al., 2018) consiste à lire des phrases isolées puis à les apparier à d'autres phrases ayant le même sens. Le score total de réponses correctes et le temps de réponse sont analysés. Un étalonnage en sept classes permet d'évaluer le niveau de compréhension syntaxique de l'enfant/adolescent par rapport à ce qui est attendu à son âge et à son niveau scolaire sur des structures syntaxiques précises. La classe 1 correspond à la zone pathologique, la classe 7 à la zone très supérieure, et les classes 3 à 5

correspondent à la norme attendue, à savoir aux résultats de 60% de la population étudiée de la batterie d'évaluation.

Des analyses qualitatives montrent que les adolescents porteurs d'un TDL de notre population se situent en moyenne dans les classes 2 et 3 (classe minimum : 1, classe maximum : 6 ; Tableau A3 en Annexe). Des différences de niveau de compréhension syntaxique semblent exister entre les groupes : le groupe affecté à l'entraînement avec la main contrainte apparaît comme moins performant en score moyen de réponses correctes (classe 2,14) mais plus performant en termes de rapidité de réponse (classe 3,71) que le groupe affecté à l'entraînement avec l'outil (score moyen : classe 3,5 ; temps moyen : classe 3,17). Autrement dit, les adolescents du groupe main contrainte traitent dans l'ensemble plus rapidement mais moins précisément les énoncés syntaxiques que les adolescents du groupe outil.

Matériel et tâches expérimentales

Tâche syntaxique de compréhension de phrases

Nous avons évalué l'effet de l'entraînement moteur (avec l'outil ou la main contrainte) sur le traitement syntaxique de phrases plus ou moins complexes dans une tâche informatisée inspirée de celle proposée par Thibault et al. (2021). Dans cette étude réalisée auprès d'adultes neurotypiques, chaque phrase était présentée segment par segment au centre de l'écran, chaque segment étant présenté pendant 500ms pour un total de six segments (entrecoupés par un écran blanc de 100ms). Une affirmation test relative à la phrase s'affichait ensuite et le participant devait décider si elle était vraie ou fausse en appuyant sur l'un de deux boutons avec la main gauche. Les structures syntaxiques du protocole étaient des propositions coordonnées, des propositions subordonnées relatives sujet (PSR sujet) et des propositions subordonnées relatives objet (PSR objet). Pour chaque phrase, quatre affirmations possibles pouvaient être présentées, la moitié étant vraies et l'autre moitié fausses.

Nous avons adapté cette tâche au profil de notre population plus jeune et présentant des difficultés langagières. Un corpus de 29 phrases (PSR sujet et PSR objet uniquement) composées de 14 syllabes et incluant des mots contrôlés selon leur fréquence d'usage à partir de la base de données Manulex (Ortega & Lété, 2010) a été créé. Des exemples de phrases et d'affirmations test sont donnés dans le Tableau 1. De plus, afin de limiter l'impact des déficits de mémoire de travail chez l'individu porteur d'un TDL (Montgomery et al., 2016, 2021; Montgomery & Evans, 2009), les phrases étaient présentées dans leur intégralité, en une seule fois. Ce changement d'affichage sur l'écran permettait au participant de prendre le temps nécessaire pour traiter l'énoncé. Une fois que le participant

pensait l'avoir compris, il pressait la touche espace du clavier, de sa main non dominante (i.e. gauche), afin d'afficher l'affirmation test. Le participant disposait alors d'un temps maximal de 5 secondes pour décider si l'affirmation relative à la phrase était vraie ou fausse en appuyant sur l'un de deux boutons avec la main gauche. Au début de la tâche, la consigne de répondre le plus correctement possible était lue par le participant sur l'écran d'ordinateur puis reformulée oralement par l'expérimentatrice pour s'assurer de la bonne compréhension. Nous avons mesuré le taux de réponses correctes aux affirmations test (en %) ainsi que le temps de réponse correcte, correspondant à la durée (en ms) entre l'affichage de l'affirmation test et la réponse donnée par l'appui bouton.

Tableau 1. Types et exemples de propositions subordonnées relatives (PSR) enchâssées et affirmations correspondantes proposées dans la tâche syntaxique de compréhension de phrases.

	Phrases	Affirmations
PSR sujet	Le sergent qui détruit le dossier écoute le voyou.	Le voyou écoute le sergent.
	Le voyou qui détruit le dossier écoute le sergent.	Le sergent écoute le voyou.
PSR objet	Le sergent que le voyou écoute détruit le dossier.	Le voyou détruit le dossier.
	Le voyou que le sergent écoute détruit le dossier.	Le sergent détruit le dossier.

Entraînement moteur avec l'outil

En support de l'entraînement moteur, nous avons utilisé le Grooved Pegboard (Lafayette Instrument). Il s'agit d'une planche percée comprenant cinq trous par ligne dans lesquels des pions rainurés en forme de clés doivent être insérés suivant une orientation particulière (Figure 1C). D'après la progression motrice observée chez l'adulte neurotypique (Thibault et al., 2021), deux planches sont nécessaires pour éviter que les performances plafonnent (planche complète remplie) en un bloc de deux minutes (l'entraînement étant réalisé en 9 blocs de deux minutes). Deux planches étaient donc disposées devant chaque adolescent. Pour chaque planche, les pions devaient être insérés de gauche à droite, l'un après l'autre (i.e. il n'était pas possible de saisir deux pions en même temps) et ligne par ligne. Une fois la première planche remplie, les participants pouvaient continuer sur la seconde en suivant la même procédure. Si un pion tombait, le participant devait en saisir un autre. La consigne était de faire de son mieux en plaçant le maximum de pions dans la planche percée. Le nombre de pions correctement insérés a été comptabilisé.

Entraînement moteur contrôle avec la main contrainte

Afin de reproduire les contraintes sensorimotrices de l'outil au niveau de la main dominante, chaque participant affecté au groupe main contrainte devait croiser le majeur et l'index (le majeur par dessus l'index), ces deux doigts étant maintenus solidaires au niveau de la phalange proximale (os digital directement en contact du métacarpe) à l'aide d'un ruban adhésif dermo-compatible et de Velcro. Cette configuration formait ainsi une « pince digitale » (Figure 2). Dans un deuxième temps, une couche de Velcro déposée entre deux couches du même ruban était fixée sur les pulpes des deux doigts, entravant ainsi le retour sensoriel. Lors de l'entraînement moteur, il était demandé aux participants de saisir les pions rainurés avec cette pince manuelle sans utiliser le pouce, l'annulaire ni l'auriculaire. Le matériel et la procédure étaient identiques à ceux du groupe outil, à savoir que les adolescents disposaient de deux planches dans lesquelles ils devaient insérer les pions rainurés de gauche à droite, ligne par ligne, une planche après l'autre.

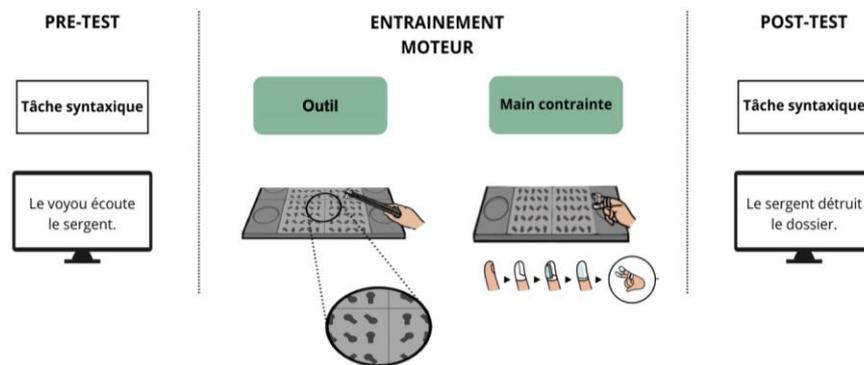


Figure 2. Procédure expérimentale visant à évaluer les performances de compréhension de phrases relatives sujet ou objet avant (pré-test) et après (post-test) un entraînement moteur avec l'outil ou avec la main contrainte.

Procédure expérimentale

Chaque participant réalisait la tâche syntaxique de compréhension de phrases une première fois (pré-test), immédiatement suivie de l'entraînement moteur, lui-même suivi de la même tâche syntaxique (post-test ; Figure 2). La tâche syntaxique pré-test commençait par une phase de familiarisation avec le matériel et les stimuli ; deux blocs de 32 phrases chacun, séparés par une pause d'une minute, étaient ensuite proposés. Les participants devaient répondre aux affirmations test sur les phrases avec leur main non dominante (i.e. gauche) afin d'éviter toute interférence avec l'utilisation de la main droite pour l'entraînement moteur. L'association des touches du clavier correspondant aux réponses « vrai » ou « faux » était contrebalancée entre les participants. L'ordre des structures syntaxiques était en outre randomisé.

Après la tâche syntaxique pré-test, chaque participant réalisait l'entraînement moteur, soit avec l'outil soit avec la main contrainte selon le groupe auquel il était affecté. Une étape pratique d'une minute permettait de se familiariser avec la tâche. La consigne donnée au participant était de saisir, déplacer et insérer un maximum de pions dans les trous de la/des plaque(s) avec l'outil ou la main contrainte pendant 9 blocs de deux minutes, entrecoupés d'une pause d'une minute. Immédiatement après, le participant effectuait la tâche syntaxique post-test sur ordinateur dans les mêmes conditions que dans la tâche syntaxique du pré-test (excepté la phase de familiarisation). Les phrases de la tâche syntaxique proposées en post-test étaient différentes de celles proposées en pré-test.

Analyses statistiques

Pour la tâche syntaxique de compréhension de phrases, le taux de réponses correctes (en %) aux affirmations test ainsi que les temps de réponse ont été analysés à l'aide de deux ANOVAs à modèle mixte avec Entraînement moteur (Outil vs Main contrainte) X Session (Pré- vs Post-test) et Structure syntaxique (Propositions subordonnées relatives Sujet vs Objet), selon une distribution binomiale (logit, statistique) pour le taux de réponses correctes (correcte = 1 ou incorrecte = 0), et une distribution normale pour les temps de réponse. L'analyse des temps de réponse porte sur les réponses correctes uniquement, les valeurs extrêmes au-delà de 2 écarts type de la moyenne étant exclues. Enfin, pour mesurer la progression et les différences de performances au cours de l'entraînement moteur selon la condition d'insertion des pions, une ANOVA à modèle mixte incluant les facteurs Entraînement moteur (Outil vs Main contrainte) et Bloc (1 à 9) a été effectuée sur le nombre de pions correctement insérés. Le seuil de significativité retenu pour l'ensemble des analyses statistiques est $p < 0,05$.

RÉSULTATS

Tâche syntaxique de compréhension de phrases

Taux de réponses correctes

L'effet principal de la Session est significatif [$\text{Chisq}=6,575$; $p=0,01$], les performances de tous les participants s'améliorant significativement entre le pré-test et le post-test (moyenne \pm erreur standard : pré-test : $57 \pm 5\%$; post-test : $64 \pm 4\%$). L'effet de la Structure syntaxique est également significatif [$\text{Chisq}=29,99$; $p < 0,001$], les participants montrent un meilleur traitement des phrases subordonnées relatives (PSR) sujet que des relatives objet et ce, pour les deux groupes d'adolescents (PSR sujet : $67 \pm 4\%$; PSR objet : $53 \pm 5\%$). En outre, l'absence d'effet principal de l'Entraînement

[Chisq=2,09; p<0,148] indique que la différence de traitement syntaxique entre les groupes n'est pas significative, bien que les adolescents s'étant entraînés avec l'outil semblent légèrement plus performants que ceux du groupe main contrainte.

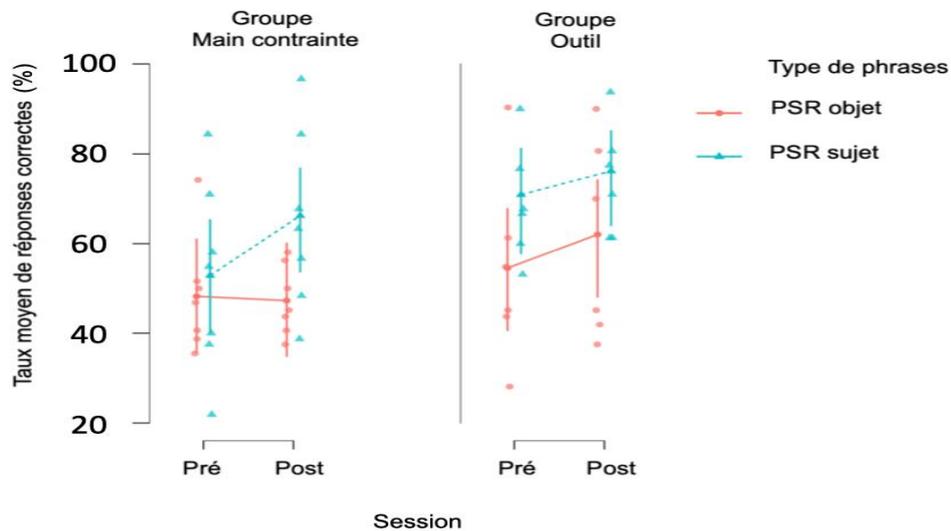


Figure 3. Taux moyen de réponses correctes (en %) selon le groupe d'entraînement moteur (main contrainte vs outil), la session (pré-test vs post-test) et le type de propositions subordonnées relatives (PSR sujet vs PSR objet).

Enfin, l'interaction des trois facteurs Session × Structure syntaxique × Entraînement n'apparaît pas significative [Chisq=2,16 ; p=0,142]. Néanmoins, une tendance semble se dégager avec une amélioration du taux de réponses correctes en post-test pour les relatives objet chez le groupe outil qui est quasi-inexistante chez le groupe main contrainte (Figure 3). Les deux groupes améliorent leur précision syntaxique pour le traitement des phrases relatives sujet de manière comparable.

Temps de réponses correctes

Les analyses statistiques révèlent un effet significatif de la Session [F (1,924.31)=50,22 ; p<0,001], les adolescents répondent plus vite après avoir bénéficié de l'entraînement moteur (2176 ± 115ms en post-test vs 2456 ± 115ms en pré-test). L'interaction significative Session × Entraînement [F (1,924.31)=6,44 ; p=0,011] souligne néanmoins que le groupe s'étant entraîné avec l'outil tire davantage profit de l'entraînement moteur (pour le groupe outil : 2050 ± 168ms en post-test vs 2431 ± 169ms en pré-test, p<0.001; pour le groupe main contrainte : 2301 ± 157ms en post-test vs 2481 ± 157ms en pré-test, p<0.05; post- vs pré-test groupe outil > pré- vs post-test groupe main, p=0.01; les significativités sont reportées après corrections pour comparaisons multiples avec des tests post-hoc de Tukey). Le type de Structure syntaxique a également un effet significatif [F (1,924.57)=12,83 ; p<0,001], les temps de réponses correctes sont plus courts pour les phrases relatives sujet (2245 ±

115ms) que pour les phrases relatives objet (2387 ± 116 ms) mais cet effet est indépendant du groupe ($[F(1,10.94)=0,436 ; p=0,523]$; Figure 4). Bien que l'interaction Session \times Structure syntaxique \times Entraînement n'atteigne pas le seuil de significativité [$F(1,924.25)=1,422 ; p=0,233$], après l'entraînement moteur, le temps de réponse tend à diminuer plus fortement pour les phrases relatives objet comparées aux relatives sujet chez le groupe outil, par rapport au groupe main contrainte.

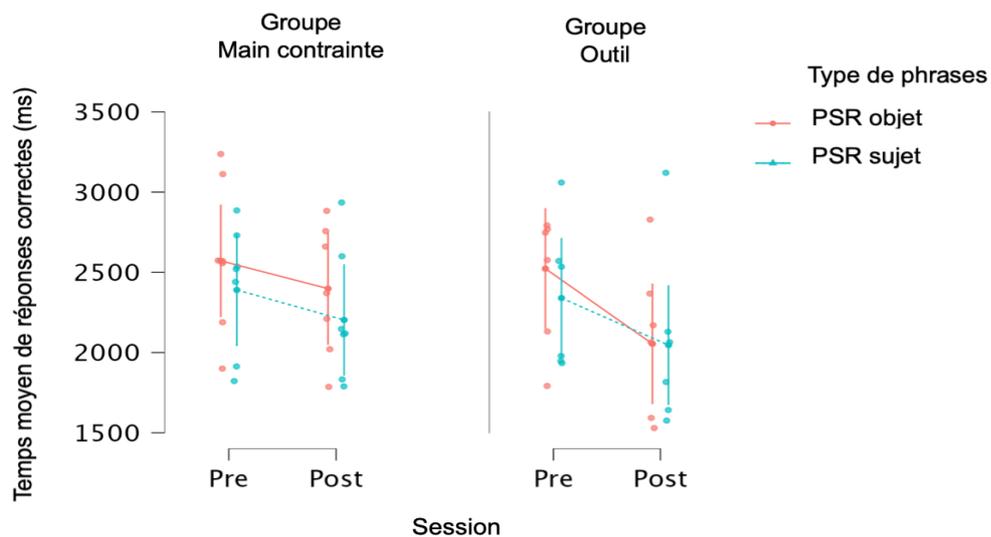


Figure 4. Temps moyen de réponses correctes (en ms) selon le groupe d'entraînement moteur (main contrainte vs outil), la session (pré-test vs post-test) et le type de propositions subordonnées relatives (PSR sujet vs PSR objet).

Performances motrices pendant l'entraînement

Nous observons un effet significatif du facteur Bloc [$F(8,80) = 15,213 ; p < 0,001$], tous les participants s'améliorent au cours de l'entraînement moteur (Figure 5). L'effet de l'Entraînement n'apparaît en revanche pas significatif [$F(1,10) = 0,604 ; p = 0,455$], la difficulté de la tâche motrice semble donc similaire pour les adolescents du groupe outil et ceux du groupe main contrainte. Enfin, l'interaction non significative Bloc \times Entraînement [$F(8,80) = 1,682 ; p = 0,116$] indique que la progression des performances au cours de la tâche ne diffère pas selon la modalité d'insertion des pions.

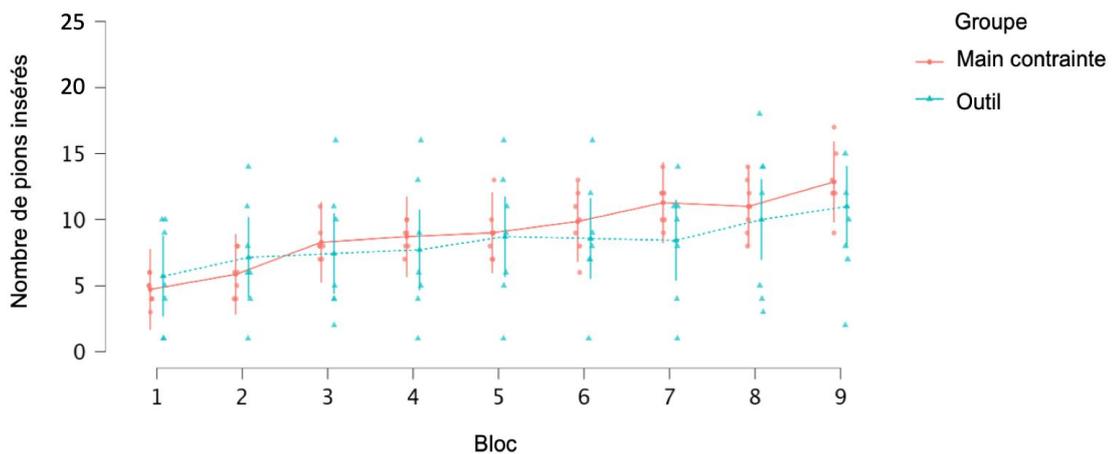


Figure 5. Nombre de pions correctement insérés selon le groupe (main contrainte vs outil) au cours des 9 blocs de l'entraînement moteur.

DISCUSSION

L'objectif de cette étude était de tester les bénéfices d'un entraînement moteur avec un outil pour améliorer le traitement syntaxique des phrases complexes chez les adolescents porteurs d'un TDL. Pour tester la spécificité de l'utilisation de l'outil, nous avons évalué le traitement syntaxique avant et après un entraînement moteur dans lequel un deuxième groupe d'adolescents porteurs d'un TDL réalisait la tâche motrice sans outil mais avec une configuration manuelle imitant les restrictions sensorimotrices de l'outil. Notre hypothèse était que les adolescents avec un TDL obtiendraient une performance significativement meilleure en compréhension de phrases relatives objet suite à l'entraînement moteur avec outil.

Des habiletés syntaxiques et motrices initiales différentes chez les deux groupes d'adolescents

Les données des épreuves d'évaluation des habiletés initiales en langage et en motricité fine évoquent des différences de niveaux entre les deux groupes d'adolescents porteurs d'un TDL. L'analyse qualitative des niveaux de lecture et des résultats à la tâche de compréhension écrite montre en effet que le groupe outil traite en moyenne plus précisément mais plus lentement les énoncés syntaxiques que le groupe main contrainte. Ces différences de niveau syntaxique initial peuvent être imputables au caractère aléatoire de la répartition des participants dans les deux groupes ainsi qu'à la sévérité variable du TDL, les performances syntaxiques de base étant plus ou moins altérées. En outre, bien que l'ensemble des participants possèdent un niveau de lecture supérieur ou égal au niveau CE2, suggérant un décodage automatisé (Launay et al., 2022), le niveau de lecture du groupe main contrainte est en moyenne légèrement inférieur à celui du groupe outil.

Cet écart inter-groupes pourrait être un facteur explicatif des différences de traitement syntaxique en modalité écrite, les adolescents du groupe main contrainte tendant à être globalement moins performants pour comprendre les phrases relatives que les adolescents du groupe outil (Figure 3). La présence de scores d'IME dans la norme mais aussi dans la zone de faiblesse chez les deux groupes d'adolescents illustre enfin la co-occurrence d'une fragilité, voire d'un déficit en IME chez l'enfant porteur d'un TDL, bien que ces difficultés de décodage ne soient pas systématiques et qu'elles soient sujettes à une variabilité inter-individuelle importante (Breault et al., 2019b; Macchi et al., 2016; Snowling et al., 2020; Talli, 2022).

La tâche motrice (Purdue Pegboard Test) évaluant le niveau de dextérité manuelle initiale indique également des différences inter-groupes, les adolescents affectés au groupe main contrainte étant plus habiles pour insérer des pions, que ce soit à main nue ou avec un outil, par rapport aux adolescents affectés au groupe outil. Bien que les participants ne présentent pas de trouble moteur associé (TDC) diagnostiqué, des fragilités motrices peuvent néanmoins exister et pourraient expliquer les profils différents d'habiletés motrices initiales en fonction de la répartition dans les deux groupes. Ces observations soulèvent d'autres limites potentielles à l'étude. Les adolescents inclus ont reçu un diagnostic par des professionnels de santé différents et présentent pour certains d'autres troubles neurodéveloppementaux (TND). Si la présence de comorbidités corrobore les données de la littérature qui suggèrent que la forme pure du TDL reste rare en clinique (Adlof, 2017; Bishop et al., 2017; Goffman & Gerken, 2020; Nicolson & Fawcett, 2007; Talli, 2022), nous ne pouvons maîtriser totalement le potentiel impact de ces TND sur le traitement syntaxique à l'écrit. La représentativité de notre échantillon est également questionnée au regard de la proportion relative du sexe des participants de l'étude, 9 filles pour 4 garçons, comparée à celle présentée dans la littérature, 3 à 4 garçons pour une fille (Bock et al., 2017), d'autant que le sexe masculin représente un facteur de risque pour développer un TDL (Bishop et al., 2017). Il serait ainsi pertinent d'augmenter la taille de l'échantillon, en envisageant un appariement des adolescents porteurs d'un TDL en fonction de leurs compétences initiales de traitement syntaxique à l'écrit évaluées par la batterie EVALEO 6-15 (Launay et al., 2018). En outre, afin d'assurer une plus grande comparabilité entre les groupes et de réduire la variabilité inter-individuelle, la compréhension syntaxique pourrait être évaluée, chez les mêmes participants, après l'entraînement moteur d'abord avec la main contrainte, puis avec l'outil (l'ordre étant inversé pour une partie des participants) dans un protocole de type « cross over ». Si le maniement de l'outil est l'élément catalyseur du transfert d'apprentissage à la syntaxe, le traitement des énoncés complexes chez les adolescents porteurs

d'un TDL devrait être amélioré, spécifiquement ou plus fortement suite à la tâche motrice effectuée avec l'outil plutôt qu'avec la main contrainte.

Effet de l'entraînement moteur sur la compréhension syntaxique

Conformément aux données de la littérature (Friedmann & Novogrodsky, 2004), nos résultats indiquent, pour l'ensemble des participants porteurs d'un TDL, que le traitement syntaxique des phrases relatives objet est plus complexe que celui des relatives sujet, en raison de leur structure non canonique dans la langue.

Les données montrent en outre que tous les adolescents améliorent leurs performances syntaxiques, en termes de précision et de rapidité de réponse, après l'entraînement moteur, quelles que soient la structure syntaxique et la modalité d'insertion des pions. Cette amélioration pourrait s'expliquer par un effet test-retest immédiat. Néanmoins, un bénéfice plus important de l'entraînement avec l'outil semble émerger. En effet, les adolescents porteurs d'un TDL s'étant entraînés avec la pince sont plus rapides pour comprendre les phrases relatives en post-test qu'en pré-test, ce gain de performances étant significativement supérieur à celui observé chez les adolescents s'étant entraînés avec la main contrainte. L'amélioration du traitement syntaxique dans le groupe outil tend en outre à être plus franche pour les propositions relatives objet que sujet, comparé au groupe main contrainte qui s'améliore sensiblement de la même manière pour les deux types de structures. L'avantage de l'entraînement avec l'outil est également observé sur la précision des réponses, bien que de façon moindre. Alors que les deux groupes d'adolescents présentent de meilleures performances pour les relatives sujet après l'entraînement moteur, le taux de réponses correctes pour les phrases relatives objet tend à s'améliorer uniquement chez ceux ayant manié l'outil. Dans l'ensemble, ces résultats suggèrent donc que chez les patients présentant un TDL, le traitement des phrases complexes tire davantage profit de l'entraînement avec l'outil que du même entraînement sans outil, quand bien même la configuration manuelle reproduit les contraintes sensorimotrices de l'outil. Cet effet ne peut être simplement attribué à la plus grande complexité de la tâche avec l'outil comme révélé par les analyses des performances motrices au cours de l'entraînement. Si le groupe main contrainte est initialement plus habile en termes de motricité fine au regard des résultats du Purdue Pegboard Test (Tiffin, 1948), les participants des deux groupes ont inséré un nombre de pions comparable et ont progressé de la même manière au cours des blocs d'entraînement moteur, quelle que soit la modalité d'insertion des pions. En accord avec les données obtenues chez l'adulte neurotypique (Thibault et al., 2021), notre étude suggère donc que

l'outil, qui complexifie la structure syntaxique de l'action, est un ingrédient essentiel pour le transfert de compétences entre motricité et syntaxe langagière.

Conclusions et implications pour la clinique

Les résultats de la présente étude confortent la pertinence de rééduquer le traitement syntaxique dans le TDL par le biais du maniement d'outil. Les résultats prometteurs sur l'amélioration de la compréhension des phrases complexes suite à un entraînement moteur avec l'outil encouragent à poursuivre les investigations avec un effectif d'adolescents porteurs d'un TDL plus important, ainsi qu'à évaluer le maintien des effets du transfert d'apprentissage entre les compétences motrices et langagières dans une étude de type *follow-up* à une ou plusieurs semaines d'intervalle. Une récente étude préliminaire menée auprès de 36 adultes neurotypiques francophones a d'ailleurs objectivé un maintien des effets de l'entraînement moteur avec l'outil une semaine plus tard (Augier, 2019).

Sur le plan clinique, si les approches mixtes semblent actuellement les plus efficaces pour la remédiation des énoncés complexes (Calder et al., 2018; Delage, 2021b; Ebbels, 2014; Finestack & Satterlund, 2018), un entraînement moteur avec l'outil pourrait être proposé en complément ou en renforcement d'un travail spécifique sur les propositions subordonnées relatives objet enchâssées au centre. Une remédiation du traitement de ces structures syntaxiques à l'écrit s'avère d'autant plus pertinente que les difficultés pour comprendre ces énoncés sont majorées en modalité écrite. En effet, le patient porteur d'un TDL ne peut s'appuyer sur les indices pragmatiques et contextuels pour déceler le sens à l'écrit (Castles et al., 2018), en particulier pour les structures non canoniques dans sa langue (Montgomery et al., 2017). Dans cette perspective, les orthophonistes pourraient instaurer en séance un temps de stimulation de la motricité fine à travers une activité motrice suffisamment complexe au regard de la dextérité manuelle du patient, mobilisant l'utilisation d'un outil pour saisir et déplacer des objets de petite taille selon un objectif précis. L'entraînement moteur proposé dans la présente étude et celle chez les adultes neurotypiques (Thibault et al., 2021) s'organise en neuf blocs de deux minutes, soit 18 minutes d'activité motrice permettant d'obtenir le transfert d'apprentissage de la tâche motrice vers la tâche syntaxique. Ce temps correspondant à la moitié de la durée minimale (30 minutes) pour les prises en soin pédiatriques (Fédération Nationale des Orthophonistes, 2020), il serait essentiel d'inscrire la remédiation du déficit syntaxique dans un projet de soin pluridisciplinaire en collaboration notamment avec des psychomotriciens, habilités à rééduquer les troubles de la motricité fine, avec comme ligne

directrice de proposer des tâches motrices complexes nécessitant l'incorporation d'un outil dans le schéma moteur.

RÉFÉRENCES

- Adlof, S. M. (2017). Understanding Word Reading Difficulties in Children With SLI. *Perspectives of the ASHA Special Interest Groups*, 2(1), 71-77. <https://doi.org/10.1044/persp2.SIG1.71>
- Albaret, J.-M., & de Castelnau, P. (2009). Place des troubles de la motricité dans les troubles spécifiques du langage oral. *Développements*, 1(1), 5-13. Cairn.info. <https://doi.org/10.3917/devel.001.0005>
- Audollent, C., & Tuller, L. (2003). SLI : What are the long-term effects in French? *ANAE - Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 15, 264-270.
- Augier, M. (2019). *Amélioration du traitement de la syntaxe langagière par l'entraînement moteur avec outil chez des adultes neurotypiques et les perspectives chez les personnes ayant une aphasie de Broca.*
- Balthazar, C. H., Ebbels, S., & Zwitterlood, R. (2020). Explicit Grammatical Intervention for Developmental Language Disorder : Three Approaches. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 51(2), 226-246. https://doi.org/10.1044/2019_LSHSS-19-00046
- Balthazar, C. H., & Scott, C. M. (2018). Targeting Complex Sentences in Older School Children With Specific Language Impairment : Results From an Early-Phase Treatment Study. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 61(3), 713-728. https://doi.org/10.1044/2017_JSLHR-L-17-0105
- Bishop, D. V. M., Snowling, M. J., Thompson, P. A., Greenhalgh, T., & the Catalise consortium. (2016). CATALISE: A Multinational and Multidisciplinary Delphi Consensus Study. Identifying Language Impairments in Children. *PloS One*, 11(7), e0158753. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158753>
- Bishop, D. V. M., Snowling, M. J., Thompson, P. A., Greenhalgh, T., & the Catalise-2 consortium. (2017). Phase 2 of CATALISE: A multinational and multidisciplinary Delphi consensus study of problems with language development: Terminology. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 58(10), 1068-1080. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12721>
- Bock, N., Serre-Pradère, G., Robel, L., & Baubet, T. (2017). Regard pédopsychiatrique sur le diagnostic de dysphasie. *La psychiatrie de l'enfant*, 60(1), 167-196. <https://doi.org/10.3917/psy.601.0167>

- Boyle, J., McCartney, E., O'Hare, A., & Law, J. (2010). Intervention for mixed receptive-expressive language impairment: A review. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 52(11), 994-999. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2010.03750.x>
- Breault, C., Béliveau, M.-J., Labelle, F., Valade, F., & Trudeau, N. (2019a). Le trouble développemental du langage (TDL) : Mise à jour interdisciplinaire. *Neuropsychologie clinique et appliquée*, 3(Fall 2019), 64-81. <https://doi.org/10.46278/j.ncacn.20190717>
- Breault, C., Béliveau, M.-J., Labelle, F., Valade, F., & Trudeau, N. (2019b). Le trouble développemental du langage (TDL) : Mise à jour interdisciplinaire. *Neuropsychologie clinique et appliquée*, 3(Fall 2019), 64-81. <https://doi.org/10.46278/j.ncacn.20190717>
- Brozzoli, C., Roy, A. C., Lidborg, L. H., & Lövdén, M. (2019). Language as a Tool: Motor Proficiency Using a Tool Predicts Individual Linguistic Abilities. *Frontiers in Psychology*, 10, 1639. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01639>
- Calder, S. D., Claessen, M., Ebbels, S., & Leitão, S. (2020). Explicit Grammar Intervention in Young School-Aged Children With Developmental Language Disorder: An Efficacy Study Using Single-Case Experimental Design. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 51(2), 298-316. https://doi.org/10.1044/2019_LSHSS-19-00060
- Calder, S. D., Claessen, M., & Leitão, S. (2018). Combining implicit and explicit intervention approaches to target grammar in young children with Developmental Language Disorder. *Child Language Teaching and Therapy*, 34(2), 171-189. <https://doi.org/10.1177/0265659017735392>
- Caramazza, A., & Zurif, E. B. (1976). Dissociation of algorithmic and heuristic processes in language comprehension: Evidence from aphasia. *Brain and Language*, 3(4), 572-582. [https://doi.org/10.1016/0093-934X\(76\)90048-1](https://doi.org/10.1016/0093-934X(76)90048-1)
- Castles, A., Rastle, K., & Nation, K. (2018). Ending the Reading Wars: Reading Acquisition From Novice to Expert. *Psychological Science in the Public Interest: A Journal of the American Psychological Society*, 19(1), 5-51. <https://doi.org/10.1177/1529100618772271>
- Cirrin, F. M., & Gillam, R. B. (2008). Language Intervention Practices for School-Age Children With Spoken Language Disorders: A Systematic Review. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 39(1), S110-S137. [https://doi.org/10.1044/0161-1461\(2008/012\)](https://doi.org/10.1044/0161-1461(2008/012))

- Collège Français d'Orthophonie. (2022). Recommandations de Bonne Pratique d'Évaluation, de Prévention et de Remédiation des troubles du langage écrit chez l'enfant et l'adulte. CFO. <https://www.college-francais-orthophonie.fr/recommandations-de-bonne-pratique-en-langage-ecrit/>
- Comblain, A. (2004). La composante morphosyntaxique du langage dans les dysphasies : Données d'observation francophones. *Enfance*, 56(1), 36. <https://doi.org/10.3917/enf.561.0036>
- Contemori, C., & Garraffa, M. (2010). Comparison of modalities in SLI syntax: A study on the comprehension and production of non-canonical sentences. *Lingua*, 120(8), 1940-1955. <https://doi.org/10.1016/j.lingua.2010.02.011>
- Conti-Ramsden, G., Durkin, K., Toseeb, U., Botting, N., & Pickles, A. (2018). Education and employment outcomes of young adults with a history of developmental language disorder. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 53(2), 237-255. <https://doi.org/10.1111/1460-6984.12338>
- Coquet, F. (2020). *Morphosyntaxe*. Les carnets cliniques d'Ortho Édition.
- Courteau, E., Loignon, G., Steinhauer, K., & Royle, P. (2023). *Identifying Linguistic Markers of French-Speaking Teenagers With Developmental Language Disorder: Which Tasks Matter?* https://doi.org/10.1044/2022_JSLHR-21-00541
- Delage, H. (2021a). Efficacité d'une thérapie métalinguistique : Trois vignettes cliniques en morphosyntaxe. *ANAE. Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant*. <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:156251>
- Delage, H. (2021b). Efficacité des thérapies orthophoniques en langage oral : Données choisies de la littérature. *ANAE. Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant*. <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:156252>
- Delage, H., Durrleman, S., & Frauenfelder, U. H. (2016). Disentangling sources of difficulty associated with the acquisition of accusative clitics in French. *Lingua*, 180, 1-24. <https://doi.org/10.1016/j.lingua.2016.03.005>
- Delage, H., & Frauenfelder, U. (2012). Développement de la mémoire de travail et traitement des phrases complexes : Quelle relation? *SHS Web of Conferences*, 1, 1555-1573. <https://doi.org/10.1051/shsconf/20120100141>

- Dubois, P., St-Pierre, M.-C., Desmarais, C., & Guay, F. (2020). Young Adults With Developmental Language Disorder: A Systematic Review of Education, Employment, and Independent Living Outcomes. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research: JSLHR*, 63(11), 3786-3800. https://doi.org/10.1044/2020_JSLHR-20-00127
- Ebbels, S. (2014). Effectiveness of intervention for grammar in school-aged children with primary language impairments: A review of the evidence. *Child Language Teaching and Therapy*, 30, 7-40. <https://doi.org/10.1177/0265659013512321>
- Ebbels, S. (2007). Teaching grammar to school-aged children with specific language impairment using Shape Coding. *Child Language Teaching and Therapy*, 23(1), 67-93. <https://doi.org/10.1191/0265659007072143>
- Ebbels, S., Marić, N., Murphy, A., & Turner, G. (2014). Improving comprehension in adolescents with severe receptive language impairments: A randomized control trial of intervention for coordinating conjunctions. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 49(1), 30-48. <https://doi.org/10.1111/1460-6984.12047>
- Fadiga, L., Craighero, L., & D'Ausilio, A. (2009). Broca's Area in Language, Action, and Music. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169(1), 448-458. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04582.x>
- Fazio, P., Cantagallo, A., Craighero, L., D'Ausilio, A., Roy, A. C., Pozzo, T., Calzolari, F., Granieri, E., & Fadiga, L. (2009). Encoding of human action in Broca's area. *Brain*, 132(7), 1980-1988. <https://doi.org/10.1093/brain/awp118>
- Fédération Nationale des Orthophonistes. (2020). *Livret professionnel de l'orthophoniste 2021*. https://www.fno.fr/wp-content/uploads/2021/03/Livret_pro_FNO-adherents-V8-15-03-2021-3.pdf
- Finestack, L. H., & Satterlund, K. E. (2018). Current Practice of Child Grammar Intervention: A Survey of Speech-Language Pathologists. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 27(4), 1329-1351. https://doi.org/10.1044/2018_AJSLP-17-0168
- Fischer, M. H., & Zwaan, R. A. (2008). Embodied language: a review of the role of the motor system in language comprehension. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(6), 825-850. doi: 10.1080/17470210701623605. PMID: 18470815.

- Friederici, A. D. (2002). Towards a neural basis of auditory sentence processing. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(2), 78-84. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01839-8](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01839-8)
- Friederici, A. D., Rüschemeyer, S.-A., Hahne, A., & Fiebach, C. J. (2003). The role of left inferior frontal and superior temporal cortex in sentence comprehension: Localizing syntactic and semantic processes. *Cerebral Cortex (New York, N.Y.: 1991)*, 13(2), 170-177. <https://doi.org/10.1093/cercor/13.2.170>
- Friedmann, N., & Novogrodsky, R. (2004). The acquisition of relative clause comprehension in Hebrew: A study of SLI and normal development. *Journal of Child Language*, 31(3), 661-681. <https://doi.org/10.1017/S0305000904006269>
- Goffman, L., & Gerken, L. (2020). An alternative to the procedural~declarative memory account of developmental language disorder. *Journal of Communication Disorders*, 83, 105946. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2019.105946>
- Gough, P. B., & Tunmer, W. E. (1986). Decoding, Reading, and Reading Disability. *Remedial and Special Education*, 7(1), 6-10. <https://doi.org/10.1177/074193258600700104>
- Greenfield, P. (1991). Language, tools and brain: The ontogeny and phylogeny of hierarchically organized sequential behavior. *Behavioral and Brain Sciences*, 14. <https://doi.org/10.1017/S0140525X00071235>
- Güven, S., & Leonard, L. B. (2020). Production of noun suffixes by Turkish-speaking children with developmental language disorder and their typically developing peers. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 55(3), 387-400. <https://doi.org/10.1111/1460-6984.12525>
- Herbet, G., & Duffau, H. (2020). Revisiting the Functional Anatomy of the Human Brain: Toward a Meta-Networking Theory of Cerebral Functions. *Physiological Reviews*, 100(3), 1181-1228. <https://doi.org/10.1152/physrev.00033.2019>
- Hill, E. L. (2001). Non-specific nature of specific language impairment: A review of the literature with regard to concomitant motor impairments. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 36(2), 149-171. <https://doi.org/10.1080/13682820010019874>

- Hsu, H. J., & Bishop, D. V. M. (2010). Grammatical Difficulties in Children with Specific Language Impairment: Is Learning Deficient? *Human Development*, 53(5), 264-277.
<https://doi.org/10.1159/000321289>
- Lafayette Instrument. *Grooved Pegboard*. Modèle 32025.
- Launay, L., Maeder, C., Roustit, J., & Touzin, M. (2022). *Livret de l'utilisateur-Notes méthodologiques, théoriques et statistiques* (5nd édition). Ortho Édition.
https://www.evaleo6-15.fr/medias/fichiers/2022-10-19-21-25-25_1027595.pdf
- Launay, L., Maeder, C., Roustit, J., & Touzin, M. (2018). *EVALEO 6-15 – Batterie d'évaluation du langage oral et du langage écrit chez les sujets de 6 à 15 ans*.
- Law, J., Garrett, Z., & Nye, C. (2005). Speech and Language Therapy Interventions for Children with Primary Speech and Language Delay or Disorder. *Campbell Systematic Reviews*, 1(1), 1-85.
<https://doi.org/10.4073/csr.2005.5>
- Leonard, L. (2014). Specific Language Impairment Across Languages. *Child Development Perspectives*, 8(1), 1-5. <https://doi.org/10.1111/cdep.12053>
- Leonard, L., & Hill, E. L. (2014). Review: The impact of motor development on typical and atypical social cognition and language: a systematic review. *Child and Adolescent Mental Health*, n/a-n/a. <https://doi.org/10.1111/camh.12055>
- Leonard, L., Deevy, P., Fey, M. E., & Bredin-Oja, S. L. (2013). Sentence Comprehension in Specific Language Impairment: A Task Designed to Distinguish Between Cognitive Capacity and Syntactic Complexity. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 56(2), 577-589.
[https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2012/11-0254\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2012/11-0254))
- Leroy, S., Parisse, C., & Maillart, C. (2014). *Le manque de généralisation chez les enfants dysphasiques : Une étude longitudinale*.
- Leroy, S., Parisse, C., & Maillart, C. (2009). *Les difficultés morphosyntaxiques des enfants présentant des troubles spécifiques du langage oral : Une approche constructiviste*.
- Lum, J. A. G., Conti-Ramsden, G., Page, D., & Ullman, M. T. (2012). Working, declarative and procedural memory in specific language impairment. *Cortex; a Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, 48(9), 1138-1154.
<https://doi.org/10.1016/j.cortex.2011.06.001>

- Macchi, L., Casalis, S., & Schelstraete, M.-A. (2016). La lecture chez les enfants avec des troubles spécifiques d'articulation, de parole et/ou de langage oral : Une revue narrative de littérature. *L'Année psychologique*, *116*(4), 547-595. <https://doi.org/10.3917/anpsy.164.0547>
- Maillart, C. (2022). Introduction. Le trouble développemental du langage : Enjeux actuels : *Enfance*, *N° 1*(1), 5-23. <https://doi.org/10.3917/enf2.221.0005>
- Martel, M., Boulenger, V., Koun, E., Finos, L., Farnè, A., & Roy, A. C. (2022). Body schema plasticity is altered in Developmental Coordination Disorder. *Neuropsychologia*, *166*, 108136. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2021.108136>
- Martel, M., Cardinali, L., Roy, A. C., & Farnè, A. (2016). Tool-use: An open window into body representation and its plasticity. *Cognitive Neuropsychology*, *33*(1-2), 82-101. <https://doi.org/10.1080/02643294.2016.1167678>
- Montgomery, J. W. (2004). Sentence comprehension in children with specific language impairment : Effects of input rate and phonological working memory. *International Journal of Language & Communication Disorders*, *39*(1), 115-133. <https://doi.org/10.1080/13682820310001616985>
- Montgomery, J. W., Gillam, R. B., & Evans, J. L. (2021). A New Memory Perspective on the Sentence Comprehension Deficits of School-Age Children With Developmental Language Disorder: Implications for Theory, Assessment, and Intervention. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, *52*(2), 449-466. https://doi.org/10.1044/2021_LSHSS-20-00128
- Montgomery, J. W., Gillam, R. B., Evans, J. L., & Sergeev, A. V. (2017). "Whatdunit?" Sentence Comprehension Abilities of Children With SLI: Sensitivity to Word Order in Canonical and Noncanonical Structures. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *60*(9), 2603-2618. https://doi.org/10.1044/2017_JSLHR-L-17-0025
- Montgomery, J. W., Gillam, R. B., & Evans, J. L. (2016). Syntactic Versus Memory Accounts of the Sentence Comprehension Deficits of Specific Language Impairment Looking Back, Looking Ahead. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research: JSLHR*, *59*(6), 1491-1504. https://doi.org/10.1044/2016_JSLHR-L-15-0325
- Montgomery, J. W., & Evans, J. L. (2009). Complex Sentence Comprehension and Working Memory in Children With Specific Language Impairment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *52*(2), 269-288. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2008/07-0116\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2008/07-0116))

- Moro, A. (2014). Response to Pulvermüller: The syntax of actions and other metaphors. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(5), 221. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2014.01.012>
- Moro, A., Tettamanti, M., Perani, D., Donati, C., Cappa, S. F., & Fazio, F. (2001). Syntax and the Brain: Disentangling Grammar by Selective Anomalies. *NeuroImage*, 13(1), 110-118. <https://doi.org/10.1006/nimg.2000.0668>
- Nicolson, R. I., & Fawcett, A. J. (2007). Procedural learning difficulties: Reuniting the developmental disorders? *Trends in Neurosciences*, 30(4), 135-141. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2007.02.003>
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97-113. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)
- Ortega, A., & Lété, B. (2010). *eManulex: Electronis version of Manulex and Manulex-infra databases*. <http://www.manulex.org>
- Parisse, C., & Maillart, C. (2009). Specific language impairment as systemic developmental disorders. *Journal of Neurolinguistics*, 22(2), 109-122. <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2008.07.004>
- Parisse, C., & Maillart, C. (2004). Le développement morphosyntaxique des enfants présentant des troubles de développement du langage: Données francophones. *Enfance*, 56(1), 20-35. <https://doi.org/10.3917/enf.561.0020>
- Price, C. J. (2012). A review and synthesis of the first 20years of PET and fMRI studies of heard speech, spoken language and reading. *NeuroImage*, 62(2), 816-847. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.04.062>
- Prigent, G., Parisse, C., Leclercq, A.-L., & Maillart, C. (2015). Complexity markers in morphosyntactic productions in French-speaking children with specific language impairment (SLI). *Clinical Linguistics & Phonetics*, 29(8-10), 701-718. <https://doi.org/10.3109/02699206.2015.1020451>
- Pulvermüller, F. (2014). The syntax of action. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(5), 219-220. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2014.01.001>
- Pulvermüller, F., & Fadiga, L. (2010). Active perception: Sensorimotor circuits as a cortical basis for language. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(5), 351-360. <https://doi.org/10.1038/nrn2811>

- Ross-Lévesque, É., Desmarais, C., Arsenault, C., & Demers-Jacques, G. (2019). *La compréhension syntaxique des enfants de maternelle ayant un trouble développemental du langage : Phrases simples et complexes*. 43(1).
- Roy, A. C., Curie, A., Nazir, T., Paulignan, Y., des Portes, V., Fourneret, P., & Deprez, V. (2013). Syntax at hand : Common syntactic structures for actions and language. *PloS One*, 8(8), e72677. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072677>
- Roy, A. C., & Arbib, M. A. (2005). The syntactic motor system. *Gesture*, 5(1-2), 7–37. <https://doi.org/10.1075/gest.5.1.03roy>
- Sack, L., Dollaghan, C., & Goffman, L. (2022). Contributions of early motor deficits in predicting language outcomes among preschoolers with developmental language disorder. *International Journal of Speech-Language Pathology*, 24(4), 362-374. <https://doi.org/10.1080/17549507.2021.1998629>
- Sanjeevan, T., & Mainela-Arnold, E. (2019). Characterizing the Motor Skills in Children with Specific Language Impairment. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 71(1), 42-55. <https://doi.org/10.1159/000493262>
- Sanjeevan, T., Rosenbaum, D. A., Miller, C., van Hell, J. G., Weiss, D. J., & Mainela-Arnold, E. (2015). Motor Issues in Specific Language Impairment: A Window into the Underlying Impairment. *Current Developmental Disorders Reports*, 2(3), 228-236. <https://doi.org/10.1007/s40474-015-0051-9>
- Snowling, M. J., Hayiou-Thomas, M. E., Nash, H. M., & Hulme, C. (2020). Dyslexia and Developmental Language Disorder: Comorbid disorders with distinct effects on reading comprehension. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 61(6), 672-680. <https://doi.org/10.1111/jcpp.13140>
- Sprenger-Charolles, L. (2017). A learning progression based on statistics on the French orthography (from Manulex-Morpho): For typical and atypical beginning readers. *ANAE - Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 29, 247-256.
- Talli, I. (2022). Trouble développemental du langage et trouble spécifique d'apprentissage de la lecture : Rôle du vocabulaire et de la compréhension écrite. *Enfance*, 2(2), 233-253. <https://doi.org/10.3917/enf2.222.0233>

- Teichmann, M., Rosso, C., Martini, J.-B., Bloch, I., Brugières, P., Duffau, H., Lehericy, S., & Bachoud-Lévi, A.-C. (2015). A cortical-subcortical syntax pathway linking Broca's area and the striatum: A Broca-Striatum Pathway for Syntax. *Human Brain Mapping, 36*(6), 2270-2283. <https://doi.org/10.1002/hbm.22769>
- Thibault, S., Py, R., Gervasi, A. M., Salemme, R., Koun, E., Lövdén, M., Boulenger, V., Roy, A. C., & Brozzoli, C. (2021). Tool use and language share syntactic processes and neural patterns in the basal ganglia. *Science, 374*(6569), eabe0874. <https://doi.org/10.1126/science.abe0874>
- Tiffin, J. (1948). *Test de dextérité manuelle Purdue*.
- Tuller, L., Henry, C., Sizaret, E., & Barthez, M.-A. (2012). Specific language impairment at adolescence: Avoiding complexity. *Applied Psycholinguistics, 33*(1), 161-184. <https://doi.org/10.1017/S0142716411000312>
- Ullman, M. T. (2006). Is Broca's Area Part of a Basal Ganglia Thalamocortical Circuit? *Cortex, 42*(4), 480-485. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70382-4](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70382-4)
- Ullman, M. T. (2001). A neurocognitive perspective on language: The declarative/procedural model. *Nature Reviews Neuroscience, 2*(10), Article 10. <https://doi.org/10.1038/35094573>
- Ullman, M. T., & Pierpont, E. I. (2005). Specific language impairment is not specific to language: The procedural deficit hypothesis. *Cortex; a Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior, 41*(3), 399-433. [https://doi.org/10.1016/s0010-9452\(08\)70276-4](https://doi.org/10.1016/s0010-9452(08)70276-4)
- Walenski, M., Europa, E., Caplan, D., & Thompson, C. K. (2019). Neural networks for sentence comprehension and production: An ALE-based meta-analysis of neuroimaging studies. *Human Brain Mapping, 40*(8), 2275-2304. <https://doi.org/10.1002/hbm.24523>
- Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin & Review, 9*(4), 625-636. <https://doi.org/10.3758/BF03196322>
- Zwitserslood, R., Wijnen, F., van Weerdenburg, M., & Verhoeven, L. (2015). 'MetaTaal': Enhancing complex syntax in children with specific language impairment--a metalinguistic and multimodal approach. *International Journal of Language & Communication Disorders, 50*(3), 273-297. <https://doi.org/10.1111/1460-6984.12131>

ANNEXE

Tableau A1. Profil cognitif des adolescents porteurs d'un TDL inclus dans l'étude.

N°	Sexe	Age	Classe	Date de la pose du diagnostic	Intitulé du diagnostic du TDL	Comorbidités	Traitements	PES ortho	Résultats tests lecture d'ÉVALEO 6-15	
									IME	Niveau de lecture
2003	F	10 ans 8 mois	CM2	sept-23	trouble développemental du langage modéré	RAS	RAS	suivi orthophonique 1 fois par semaine	faible	CE2
2004	F	11 ans 2 mois	6ème	sept-19	dysphasie	dyscalculie	séretide (anti-histaminique)	suivi orthophonique 1 fois par semaine depuis 3 ans	Faible	CM1
2005	M	15 ans 2 mois	3ème	sept-15	trouble développemental du langage	trouble du raisonnement	RAS	suivi orthophonique actuel 1 fois par semaine	Norme	3ème
2006	M	15 ans 2 mois	3ème	juin-14	dysphasie	- Trouble de l'attention - difficultés praxiques	traitement méthylphénidate	suivi orthophonique 1 fois par semaine depuis 6 ans	Faible	CE2
2007	F	15 ans 5 mois	2nde	mars-14	trouble spécifique du langage oral	trouble du raisonnement	RAS	suivi orthophonique 1 fois par semaine depuis 6 ans	Norme	3ème
2008	M	10 ans 9 mois	CM2	nov-17	dysphasie	RAS	RAS	suivi orthophonique depuis ses 2 ans	Norme	4ème
2009	F	11 ans et 7 mois	CM2	nov-20	dysphasie	fragilités de lecture	RAS	suivi orthophonique arrêté depuis 1 an	faible	CM1
1005	F	16 ans 1 mois	3ème	juin-12	dysphasie expressive phonologico-syntaxique sévère	- multidys - difficultés praxiques - difficultés en mémoire de travail	RAS	2 séances par semaine entre ses 5 et 15 ans	Faible	4ème-6ème
1009	F	13 ans 3 mois	5ème	nov-15	dysphasie mnscique/TSLO		Medikinet 30mg LP	du CE1 à la 6ème par périodes de 18 mois	Norme	3ème
1012	F	12 ans 9 mois	5ème	avr-19	Dysphasie	- Dyscalculie - Troubles anxieux - Dyspraxie bucco-faciale	RAS	2 séances par semaine depuis l'âge de 3 ans	Faible	6ème
1013	F	10 ans 10 mois	CM2	juil-19	TSLO	Trouble de la fluence	RAS	Aucun suivi orthophonique	Norme	6ème
1014	M	11 ans 3 mois	6ème	mars-19	Dysphasie phonosyntaxique sévère	HPI écarté car QI hétérogène	RAS		Norme	6 ème
1017	F	14 ans 9 mois	3ème	2016	Dyphasie lexicale syntaxique	- Hypothèse d'un TDA - Lenteur d'exécution - Difficultés en motricité fine et utilisation des outils scolaire	RAS	Arrêté, suivie pendant 2 ans	Norme	3 ème

Tableau A2. Habiletés langagières initiales des adolescents porteurs d'un TDL (1). Niveau d'identification du mot écrit (IME) et niveau de lecture aux textes Evalouette et La Mouette (EVALEO 6-15; Launay et al., 2018) des adolescents porteurs d'un TDL affectés au groupe d'entraînement moteur avec l'outil ou avec la main contrainte.

	N° Participant	Niveau d'Identification du Mot Écrit (IME)	Niveau de lecture (âge scolaire)
GROUPE OUTIL	1005	Faible	5 ^{ème}
	1009	Norme	3 ^{ème}
	1012	Faible	6 ^{ème}
	1013	Norme	6 ^{ème}
	1014	Norme	6 ^{ème}
	1017	Norme	3 ^{ème}
	Moyenne		5 ^{ème} < moy < 4 ^{ème}
GROUPE MAIN CONTRAINTE	2003	Faible	CE2
	2004	Faible	CM1
	2005	Norme	3 ^{ème}
	2006	Faible	CE2
	2007	Norme	3 ^{ème}
	2008	Norme	4 ^{ème}
	2009	Faible	CM1
	Moyenne		CM2 < moy < 6 ^{ème}

Tableau A3. Habiletés langagières initiales des adolescents porteurs d'un TDL (2). Résultats de l'épreuve de compréhension de phrases écrites (EVALEO 6-15; Launay et al., 2018) chez les deux groupes adolescents porteurs d'un TDL en fonction du type d'entraînement moteur. Les numéros de classe sont donnés pour chaque participant pour le score total de réponses correctes et le temps de réponse. Les moyennes par groupe sont également reportées.

	N° Participant	Score (n° de classe)	Temps (n° de classe)
GROUPE OUTIL	1005	1	1
	1009	4	4
	1012	2	4
	1013	4	4
	1014	4	3
	1017	6	3
	Moyenne	3,5	3,17
GROUPE MAIN CONTRAINTE	2003	4	4
	2004	1	4
	2005	1	5
	2006	1	5
	2007	2	3
	2008	2	4
	2009	4	1
	Moyenne	2,14	3,71