

Les difficultés d'apprentissage procédural chez les enfants dysphasiques

L. DESMOTTES, T. MEULEMANS, C. MAILLART

Université de Liège. Adresse : Unité de Logopédie Clinique, rue de l'Aunaie, 30, Bâtiment B.38, 4000 Liège, Belgique. Email : lise.desmottes@ulg.ac.be

RÉSUMÉ : *Les difficultés d'apprentissage procédural chez les enfants dysphasiques*

Cet article présente les données de la littérature suggérant que l'apparition des troubles langagiers et non langagiers des enfants dysphasiques peut être liée à des difficultés d'apprentissage procédural touchant principalement les traitements séquentiels. En effet, les enfants dysphasiques rencontrent des difficultés pour apprendre des séquences visuo-motrices et langagières. Ces difficultés ne se limitent pas à l'apprentissage initial, mais elles s'étendent également à la phase de consolidation en mémoire à long terme. Enfin, des travaux récents montrent qu'il est possible d'améliorer les capacités d'apprentissage procédural, ce qui ouvre la voie vers de nouvelles pistes de rééducation.

Mots clés : *Dysphasie – Apprentissage procédural – Apprentissage séquentiel – Développement du langage.*

SUMMARY: *Procedural learning difficulties in children with Specific Language Impairment*
Through a review of the literature, this paper shows that linguistic and non-linguistic disorders in children with specific language impairment might be linked to difficulties in procedural learning, especially regarding sequential abilities. Indeed, children with specific language impairment encounter difficulties to learn visuo-motor and linguistic sequences. These difficulties are not limited to initial learning but extend to the consolidation stage in long-term memory. Finally, recent studies show that it is possible to improve procedural learning abilities, suggesting new avenues for rehabilitation.

Key words: *Specific Language Impairment – Procedural learning – Sequential learning – Language development.*

RESUMEN: *Las dificultades del aprendizaje procedimental en niños disfásicos*

Este artículo presenta los datos de la literatura que sugieren que la aparición de los trastornos del lenguaje y del no lenguaje de los niños disfásicos puede estar relacionada con las dificultades del aprendizaje procedimental que afectan principalmente a los tratamientos secuenciales. En efecto, los niños con disfasia tienen dificultades para aprender secuencias visual-motoras y del lenguaje. Estas dificultades no se limitan al aprendizaje inicial, puesto que también se extienden a la fase de consolidación de la memoria a largo plazo. Por último, recientes trabajos muestran que es posible mejorar las capacidades de aprendizaje procedimental, lo que abre una vía hacia nuevas líneas de reeducación.

Palabras clave: *Disfasia – Aprendizaje procedimental – Aprendizaje secuencial – Desarrollo del lenguaje.*

La dysphasie est un trouble spécifique, sévère et persistant du développement du langage oral, qui interfère avec la vie quotidienne et la réussite scolaire de l'enfant. Si la dysphasie touche, à des degrés variables, tous les aspects du développement langagier, ce sont généralement la phonologie et la morphosyntaxe qui sont les plus affectées. Les enfants dysphasiques présentent en effet de nombreuses déformations phonologiques, utilisent peu de marqueurs de complexité syntaxique et éprouvent des difficultés marquées dans l'utilisation de la morphologie inflexionnelle (marques de temps, d'accord et de nombre ; Marinellie, 2004). Mais la dysphasie ne se limite pas aux troubles langagiers. De plus en plus d'études révèlent la présence de troubles associés : difficultés attentionnelles, exécutives ou encore motrices (Hill, 2001).

Les troubles à l'origine de la dysphasie restent au cœur de nombreux débats. Pendant de nombreuses années, les auteurs ont privilégié la piste d'un déficit linguistique spécifique, principalement au niveau des marqueurs grammaticaux (Gopnik & Crago, 1991). Toutefois, ces théories n'ont pas permis d'expliquer l'ensemble des difficultés associées à la dysphasie. D'autres auteurs ont alors suggéré des théories en termes de traitements cognitifs généraux, non spécifiques au langage, telles qu'un déficit de la mémoire de travail (Archibald & Gathercole, 2007) ou encore un ralentissement général de la vitesse de traitement (Miller *et al.*, 2001).

Récemment, des chercheurs ont avancé l'idée que la dysphasie serait liée à un déficit de la mémoire procédurale, entraînant des difficultés d'apprentissage de séquences langagières (ordre des sons dans les mots et des mots dans les phrases) et des habiletés motrices (Ullman & Pierpont, 2005). L'originalité de cette hypothèse est qu'elle permet de rendre compte d'un large éventail de difficultés langagières (phonologie et morphosyntaxe) et non langagières (motricité notamment) des enfants dysphasiques, et qu'elle offre également une explication à l'hétérogénéité des troubles en fonction des structures cérébrales qui sont affectées.

Cet article propose une synthèse des travaux de recherche qui portent sur les liens entre la mémoire procédurale et les difficultés langagières des enfants dysphasiques.

MÉMOIRE PROCÉDURALE ET LANGAGE

Dans le prolongement des idées de Cohen et Squire (1980), Ullman (2004) élabore un modèle intégratif déclaratif/procédural du développement langagier. Selon ce modèle, le développement du langage est sous-tendu par deux systèmes de mémoire distincts mais interdépendants : la mémoire déclarative et la mémoire procédurale.

La mémoire déclarative, qui repose principalement sur les lobes temporaux médians, est responsable de l'encodage, du stockage et du rappel conscient des connaissances générales sur le monde (mémoire sémantique) ou

d'événements spécifiques (mémoire épisodique). Dans certains cas, l'apprentissage via la mémoire déclarative est rapide : une seule exposition à l'information est suffisante pour la mémoriser. Dans d'autres cas, une exposition répétée ou un effort cognitif sont nécessaires pour apprendre (ex : étudier pour un examen) et récupérer une information (ex : répondre à une question lors d'un examen). Ce système mnésique est dit explicite car les informations encodées sont verbalisables et accessibles à la conscience. Au niveau du langage, la mémoire déclarative serait importante pour l'acquisition du vocabulaire et des connaissances sémantiques.

La mémoire procédurale recouvre principalement les habiletés motrices et les routines cognitives. Des recherches plus récentes ont montré qu'elle est aussi impliquée dans des opérations cognitives de plus haut niveau, telles que l'apprentissage de séquences (Seger, 2006). Contrairement à la mémoire déclarative, l'apprentissage via la mémoire procédurale est souvent lent. Une exposition répétée à l'information est nécessaire avant que l'habileté ou la connaissance ne soit acquise (ex : apprendre à rouler à vélo). Ce système mnésique dépendrait d'un large réseau de structures incluant le cortex préfrontal, les ganglions de la base (striatum) et le cervelet (Packard & Knowlton, 2002). Au niveau du langage, Ullman (2004) suggère que la mémoire procédurale serait impliquée dans l'apprentissage des règles combinatoires et des procédures qui gouvernent les régularités de la langue. Ce système de traitement séquentiel, de détection et d'apprentissage de régularités permettrait ainsi l'accès à la syntaxe, à la morphologie (conjugaison des verbes réguliers) et aux aspects phonologiques (combinaisons des sons).

MÉMOIRE PROCÉDURALE ET DYSPHASIE

Ullman et Pierpont (2005) postulent l'existence d'une dysfonction striatale dans la dysphasie, qui serait responsable d'un déficit de l'apprentissage procédural. Cette hypothèse permet de rendre compte d'un profil langagier souvent retrouvé chez les enfants dysphasiques, à savoir des capacités en grammaire et en phonologie fortement altérées et un niveau lexical relativement préservé. Selon les auteurs, un déficit de la mémoire procédurale entraînerait des difficultés à traiter et à maintenir des séquences, à détecter et à apprendre des régularités. Or, ces aptitudes sont fondamentales pour la découverte et l'apprentissage des règles morphosyntaxiques et phonologiques de la langue. En outre, certains aspects de la grammaire, comme la morphologie inflexionnelle, feraient davantage appel aux habiletés séquentielles et seraient par conséquent plus touchés lorsque la mémoire procédurale est altérée (Sengottuvel *et al.*, 2013). En effet, la morphologie inflexionnelle indique la relation entre les différents mots dans une phrase. La connaissance des relations de courte et de longue distance dans une phrase (relations adjacentes et disjointes) est obligatoire pour marquer ces inflexions. En revanche, la morphologie dérivationnelle n'a pas de rôle syntaxique : elle modifie les mots de manière isolée (noms, verbes, adjectifs et adverbes) et

serait donc moins touchée par un déficit de la mémoire procédurale.

Des difficultés de mémoire de travail, des difficultés motrices et un déficit d'attention sont souvent associés à la dysphasie. Or, ces habiletés non linguistiques seraient également sous-tendues par le circuit fronto-striatal. L'atteinte ne serait donc pas spécifique au langage mais toucherait tous les aspects de la cognition qui sont sous-tendus par les circuits reliant les régions frontales aux ganglions de la base. En revanche, les aspects lexicaux, c'est-à-dire les connaissances mémorisées spécifiques aux mots et aux savoirs, dépendraient de la mémoire déclarative, sous-tendue par les lobes temporaux médians, et seraient relativement préservés dans la dysphasie. Face à un déficit affectant la mémoire procédurale, Ullman et Pierpont proposent que le système déclaratif tente de compenser ce déficit par la mémorisation d'exemplaires et par l'apprentissage et l'utilisation de règles explicites. Autrement dit, l'enfant dysphasique mémoriserait des morceaux de phrases entendues (issus du discours qui lui est adressé) et aurait tendance à les reproduire tels quels. Il ne parviendrait pas à déduire implicitement certaines règles et généraliserait très peu (cf. à ce sujet l'article de Leroy *et al.* dans ce même numéro).

Bien que prometteuse, la théorie d'Ullman et Pierpont a néanmoins fait l'objet de plusieurs critiques. Elle ne permet pas d'expliquer l'ensemble des difficultés langagières pouvant être observées chez les enfants dysphasiques, comme les troubles pragmatiques. De plus, un déficit du système procédural ne peut pas à lui seul être responsable des difficultés rencontrées par les enfants dysphasiques. Il y a des raisons de penser que le système procédural et le système déclaratif interagissent plutôt qu'agissent de manière isolée. De même, plusieurs auteurs considèrent que de nombreuses interactions existent entre les niveaux sémantique et syntaxique et même phonologique. Karmiloff et Karmiloff-Smith (2003) suggèrent que l'enfant utilise une partie du système linguistique (ex : la phonologie) pour progresser dans l'apprentissage d'un autre niveau linguistique (ex : la syntaxe). En outre, contrairement aux idées émises par Ullman et Pierpont, le développement

du lexique serait également sous-tendu par le système d'apprentissage procédural. Certaines études ont en effet révélé des associations entre le niveau de vocabulaire et les mécanismes d'extraction de régularités (Evans *et al.*, 2009). L'ensemble de ces éléments a amené certains auteurs à considérer la dysphasie comme résultant d'un déficit plus large touchant les mécanismes d'extraction de régularités aussi bien lexicales que morphosyntaxiques (Hsu & Bishop, 2010).

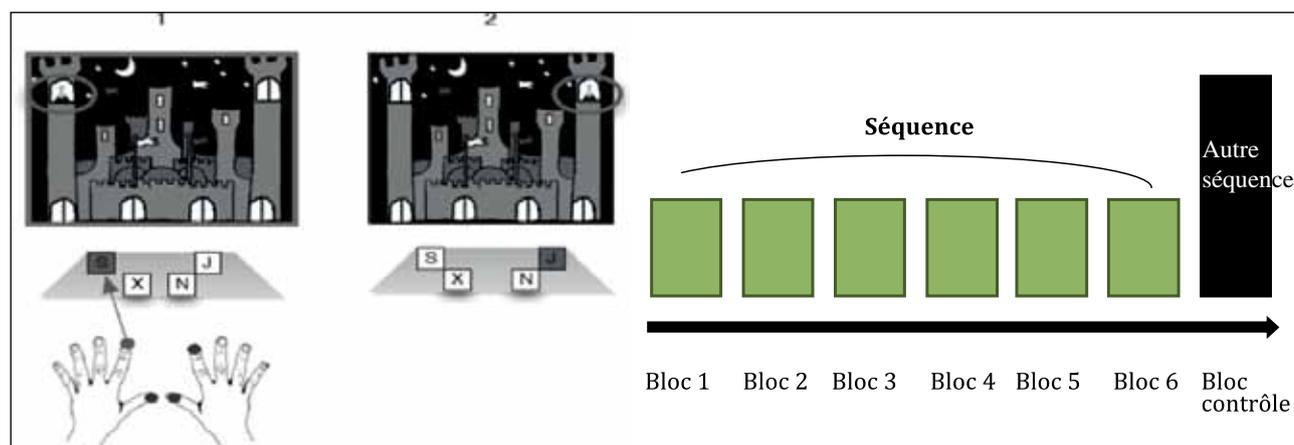
ÉVALUATION DES CAPACITÉS D'APPRENTISSAGE SÉQUENTIEL DANS LA DYSPHASIE

Plusieurs études ont tenté d'éprouver l'hypothèse d'un déficit d'apprentissage procédural dans la dysphasie. La plupart des travaux ont porté sur la capacité des enfants dysphasiques à apprendre implicitement des séquences isolées ou présentées dans un flux langagier. Plus récemment, quelques auteurs se sont intéressés aux étapes ultérieures de l'apprentissage, et notamment aux processus de consolidation en mémoire à long terme. Ces travaux sont présentés ci-dessous.

Apprentissage de séquences isolées

Selon Conway et Christiansen (2006), il existerait un mécanisme général commun pour l'apprentissage de séquences, qu'elles soient auditives, visuelles ou motrices. Une altération de ce mécanisme engendrerait un déficit généralisé de l'apprentissage de séquences aussi bien au niveau moteur que langagier. Ainsi, la majorité des études ont utilisé des variations de la tâche de temps de réaction sériel (TRS) qui consiste à apprendre de manière implicite une séquence visuo-motrice (cf. *figure 1*). Si les enfants dysphasiques souffrent d'un déficit de l'apprentissage séquentiel, ils présenteront des difficultés pour apprendre une séquence visuo-motrice contenue dans une tâche de TRS. De telles difficultés ne peuvent être imputées à des troubles de la perception de la parole ou de la mémoire de travail verbale puisqu'il s'agit d'une tâche visuo-motrice.

Figure 1. Dispositif et déroulement d'une tâche de TRS.



La tâche de TRS consiste à réagir le plus vite possible à l'apparition d'une cible sur un écran d'ordinateur. Le participant n'est pas informé du fait que la cible (par ex : un sorcier) se déplace à l'écran (dans une des 4 fenêtres du château) selon une séquence particulière (comportant par exemple 10 stimuli : 4-2-3-1-3-2-4-3-2-1, où 1, 2, 3 et 4 correspondent aux 4 endroits d'apparition possible de la cible). Dans les tâches de TRS classiques, les participants doivent appuyer sur la touche du clavier (S, X, N ou J) correspondant à la localisation de la cible présente sur l'écran (si le sorcier apparaît dans la fenêtre du château située en haut à gauche, le participant appuie sur la touche S du clavier). La séquence d'apprentissage se répète à travers plusieurs blocs (ex : 6 blocs) hormis en fin d'apprentissage où la cible apparaît selon une nouvelle séquence (bloc contrôle). L'apprentissage est attesté par une amélioration de la vitesse de réponse au fil des blocs et par un ralentissement de la vitesse de réponse lorsqu'ils sont confrontés à la nouvelle séquence (bloc contrôle).

Tomblin *et al.* (2007) furent les premiers à examiner les capacités d'apprentissage de séquence au moyen de la tâche de TRS auprès de 85 adolescents dysphasiques et contrôles âgés de 15 ans. La tâche comprenait 4 blocs de 100 essais. Dans les premier et dernier blocs, le stimulus apparaissait de manière aléatoire, tandis qu'il suivait une séquence répétée de 10 éléments durant les blocs 2 et 3. Les auteurs ont tout d'abord mis en évidence une diminution des temps de réaction lors des blocs 2 et 3, tant pour les adolescents dysphasiques que pour les adolescents contrôles, ce qui témoigne d'un apprentissage de la séquence. Cet apprentissage était néanmoins significativement plus lent pour les adolescents dysphasiques. Afin d'explorer les relations entre la tâche de TRS et les habiletés langagières, les auteurs ont ré-analysé les données en regroupant les participants selon leurs habiletés grammaticales et lexicales. Lorsque les adolescents sont classés suivant leurs habiletés grammaticales, les résultats sont très similaires aux précédents : l'apprentissage de la séquence est significativement plus lent pour le groupe dont les capacités grammaticales sont faibles. En revanche, lorsque les adolescents sont regroupés selon leurs habiletés lexicales, on ne retrouve plus de différence d'apprentissage entre les groupes. Ces résultats corroborent les prédictions d'Ullman et Pierpont et indiquent que de faibles capacités d'apprentissage d'une séquence visuo-motrice sont spécifiquement associées à de faibles habiletés grammaticales.

Des difficultés d'apprentissage de séquences visuo-motrices ont également été rapportées chez des enfants dysphasiques plus jeunes âgés de 7 à 8 ans (Lum *et al.*, 2010), de 8 à 13 ans (Sengottuvel *et al.*, 2013) ou encore de 7 à 11 ans (Hsu & Bishop, 2014) en utilisant des tâches de TRS similaires à celle utilisée par Tomblin *et al.* Par ailleurs, dans une étude à plus grande échelle, Lum *et al.* (2011) montrent des capacités d'apprentissage séquentiel altérées chez 51 enfants dysphasiques âgés de 10 ans, même après avoir contrôlé la performance en mémoire de travail.

Deux études ont eu recours à des tâches d'apprentissage de séquences de stimuli auditifs (Gabriel *et al.*, 2013b) et linguistiques (Hsu & Bishop, 2014). Ces deux études ont mis en évidence un apprentissage moins précis d'une séquence de stimuli auditifs non linguistiques (tonalités) chez les enfants dysphasiques et un apprentissage altéré d'une séquence de stimuli linguistiques (items lexicaux), ces performances ne pouvant à nouveau pas être expliquées par des difficultés en mémoire de travail.

L'ensemble de ces études apportent des éléments robustes en faveur d'un déficit significatif du système d'apprentissage procédural dans la dysphasie et rejoignent l'idée d'un mécanisme général commun pour l'apprentissage de séquences, qu'elles soient visuelles, auditives ou linguistiques.

Les facteurs qui influencent l'apprentissage de séquences

Plusieurs travaux ont porté sur l'identification des facteurs qui influencent l'apprentissage de séquences chez les enfants dysphasiques. Ils montrent que la quantité d'entraînement, la présence de difficultés motrices, la sévérité des difficultés langagières ou encore la complexité d'une séquence sont des facteurs qui modulent l'apprentissage.

Gabriel et collaborateurs (2012) ont reproduit les études précédentes en doublant le nombre de présentations de la séquence (48 expositions au lieu de 25) et en utilisant un écran tactile comme mode de réponse. Grâce à l'apposition de cet écran sur celui de l'ordinateur, l'enfant appuie directement sur le stimulus, éliminant ainsi toute influence d'un apprentissage d'associations « position à l'écran – touche du clavier » et donc toute difficulté au niveau des processus cognitifs requis par cet apprentissage ainsi qu'au niveau de la motricité fine. Les auteurs mènent deux expériences, la première avec le clavier d'ordinateur et la seconde avec l'écran tactile. Sur la base de l'hypothèse du déficit procédural, les auteurs prédisent que, même avec l'écran tactile et une présentation de la séquence plus importante, les enfants dysphasiques devraient présenter des difficultés d'apprentissage de séquence. Si, dans la première expérience, les enfants dysphasiques montrent des temps de réaction plus lents ainsi qu'un nombre d'erreurs plus important par rapport au groupe contrôle, ces différences de groupe disparaissent dans la seconde expérience. En effet, avec l'écran tactile, les enfants dysphasiques sont aussi rapides et précis que les enfants tout-venant. Autrement dit, ils sont capables d'apprendre la séquence de la même manière que les enfants contrôles si la séquence est suffisamment répétée¹ et si le mode de réponse est adapté à leurs difficultés.

¹ Notons toutefois que, contrairement au mode de réponse, les auteurs n'ont pas directement manipulé la durée d'exposition à la séquence. Les enfants des deux expériences étaient tous exposés à 48 présentations de la séquence, soit une durée d'entraînement longue. Dès lors, une étude comparant les performances des enfants dysphasiques dans deux conditions (entraînements court vs long) permettrait de déterminer s'ils sont ou non sensibles à la fréquence d'occurrence de la séquence.

L'étude de Mayor-Dubois *et al.* (2012) va également dans le sens d'une influence des difficultés motrices sur la performance des enfants dysphasiques dans une tâche de TRS. Les auteurs montrent que les enfants dysphasiques sans trouble moteur associé, bien que plus lents que les enfants contrôles, réussissent à apprendre la séquence visuo-motrice. En revanche, les enfants dysphasiques avec troubles moteurs associés ne montrent aucun apprentissage de la séquence.

Lum et Bleses (2012) mettent en avant l'impact de la sévérité des difficultés langagières dans l'habileté à apprendre une séquence isolée. Les auteurs observent que des enfants dysphasiques dont les difficultés langagières sont limitées à la sphère expressive, montrent une faiblesse (et non un déficit) dans l'apprentissage de la séquence.

Enfin, Gabriel *et al.* (2013a) se sont intéressés au facteur de complexité de la séquence et montrent que les enfants dysphasiques ne parviennent pas à détecter et à apprendre une séquence plus longue.

Face à ces résultats hétérogènes, Lum *et al.* (2014) rassemblent sous forme d'une méta-analyse l'ensemble des études ayant utilisé une tâche de TRS chez les enfants dysphasiques. Parmi les 8 études intégrées dans leur revue, la plupart indique une altération des capacités d'apprentissage procédural, ce qui conforte l'hypothèse proposée par Ullman et Pierpont. Par ailleurs, les difficultés d'apprentissage procédural seraient plus importantes quand les enfants dysphasiques sont jeunes et que la longueur d'exposition à la séquence est courte. À l'inverse, les difficultés des enfants dysphasiques seraient moins évidentes lorsqu'ils sont plus âgés et qu'ils bénéficient d'un entraînement plus long à la séquence. Les auteurs font alors l'hypothèse que les enfants plus âgés et/ou exposés plus longtemps à la séquence pourraient avoir recours à des stratégies de compensation.

En résumé, la variabilité des résultats obtenus dans les études qui utilisent la tâche de TRS peut renvoyer à différents facteurs, et notamment à des différences méthodologiques concernant la séquence, mais également à des différences en termes de sévérité des difficultés langagières et de difficultés motrices associées.

Apprentissage de séquences présentées dans un flux langagier

Les études décrites ci-dessus se sont intéressées à l'apprentissage de séquences isolées. Ces situations expérimentales ne correspondent pas à la situation réelle d'apprentissage du langage : les séquences ne sont jamais aussi isolées. En effet, le flux de la parole se présente essentiellement comme un enchaînement continu de séquences de sons (les mots) et de mots (les phrases). Afin de se rapprocher des situations réelles de l'acquisition du langage, des travaux ont ainsi eu recours à des tâches qui présentent les séquences dans un flux langagier.

Apprentissage de régularités lexicales

Evans *et al.* (2009) et Mayor-Dubois *et al.* (2012) ont exploré les capacités des enfants dysphasiques à extraire des séquences de sons contenues dans un flux de parole. Dans ces deux études, les participants ont été confrontés à un flux continu de non-mots ou de tonalités. Les stimuli étaient construits de sorte que les probabilités adjacentes entre les paires de phonèmes (ou tonalités) soient plus élevées à l'intérieur des non-mots qu'entre les non-mots. En effet, tout comme dans le langage naturel, les suites de syllabes appartenant à un même mot (ex : entre *la* et *tion* du mot relation) sont plus fréquentes que des suites de syllabes appartenant à des mots différents (ex : entre *tion* et *en* des mots relation entre), ce qui va aider le tout jeune enfant (dès 6 mois) à découper la parole en mots et à former son vocabulaire (Saffran *et al.*, 1996). Après avoir entendu le flux continu de non-mots, les participants étaient soumis à une tâche de reconnaissance dans laquelle la connaissance de ces phonèmes ou tonalités était évaluée. Les résultats des deux études mettent en évidence que, contrairement aux enfants contrôles, les enfants dysphasiques présentent un niveau de performance qui n'excède pas celui du hasard. De façon intéressante, Evans *et al.* montrent qu'un temps d'exposition plus long aux stimuli permet de réduire la différence entre les deux groupes d'enfants. Avec une exposition plus longue aux stimuli, le taux de reconnaissance des enfants dysphasiques était supérieur au niveau du hasard. Néanmoins, une confusion entre des non-mots phonologiquement proches persistait chez les enfants dysphasiques.

Ainsi, les enfants dysphasiques éprouvent des difficultés à reconnaître les suites de phonèmes présentées dans un flux langagier. Une limitation des capacités à extraire les indices de frontières de mots peut entraîner des difficultés à segmenter la parole en mots et être ainsi à l'origine de difficultés lexicales.

Apprentissage de régularités syntaxiques

Quelques études se sont également intéressées à l'apprentissage de relations disjointes, étant donné leur rôle important dans l'acquisition du langage, notamment au niveau de la morphologie inflexionnelle. Être capable de détecter des relations entre des éléments syntaxiques séparés par d'autres éléments est crucial pour l'apprentissage et le traitement du langage (par ex : dans l'accord sujet-verbe). Ainsi, on parle de relations disjointes lorsque, dans la séquence « *aXb* », il existe un lien entre les éléments *a* et *b*, indépendamment de l'élément intervenant entre ces deux éléments (*X*). De plus, ce lien entre éléments disjointes (*a* et *b*) deviendrait encore plus saillant lorsque la variabilité entre ces deux éléments est importante (*X*). Par exemple, au niveau de l'apprentissage des terminaisons de conjugaison, la présentation de plusieurs exemplaires (*nous jouons*, *nous mangeons*, *nous dansons*, etc.) construits à partir d'une même structure (*nous radical+ons*) va permettre à l'enfant de découvrir le lien entre les deux éléments disjointes (*nous* et la terminaison *-ons*) et ainsi de se construire un schéma plus abstrait de la structure à apprendre (*nous radical+ons*).

Grunow *et al.* (2006) et Hsu *et al.* (2014) ont montré que des adultes et adolescents dysphasiques ne parvenaient pas à détecter les relations entre deux éléments disjoints malgré une variabilité importante de l'élément intermédiaire. Toutefois, Torkildsen *et al.* (2013) aboutissent à des résultats différents avec une structure langagière plus simple à apprendre. Leurs résultats indiquent que si les adultes contrôles parviennent à apprendre une structure (de type aX, bY) avec peu de variabilité, les adultes dysphasiques auraient davantage besoin de variabilité, c'est-à-dire d'être confrontés à un plus grand nombre d'exemplaires, pour apprendre la structure.

Par conséquent, un déficit de l'apprentissage de régularités disjointes pourrait expliquer les difficultés rencontrées par les enfants dysphasiques au niveau des inflexions grammaticales. Toutefois, en proposant un nombre suffisant d'exemples auxquels la structure s'applique, ils seraient capables d'apprendre et d'appliquer la structure à de nouveaux énoncés. Des études supplémentaires sont nécessaires afin d'approfondir le rôle de la variabilité comme facteur optimisant les capacités d'apprentissage des enfants dysphasiques.

Consolidation en mémoire procédurale

Si les études que nous avons jusqu'à présent décrites se sont focalisées sur la première étape de l'apprentissage (la phase d'apprentissage initial), il paraît nécessaire d'étendre les recherches en étudiant les étapes ultérieures : les enfants dysphasiques sont-ils capables de consolider en mémoire et d'automatiser les connaissances acquises ?

L'intégration d'un nouvel apprentissage en mémoire est un processus complexe et dynamique qui se déroule par étapes (Doyon & Benali, 2005). Les informations fraîchement acquises ne sont pas d'emblée stockées sous une forme définitive en mémoire à long terme, elles subiraient au contraire une série de transformations au cours du temps (Karni *et al.*, 1998). Ces informations feront d'abord l'objet d'un encodage (apprentissage initial) avant d'être progressivement intégrées et consolidées en mémoire à long terme. La consolidation est le processus par lequel une représentation mnésique labile est progressivement convertie en une représentation plus permanente, qui peut être renforcée en l'absence d'entraînement supplémentaire (amélioration spontanée de la performance entre deux séances d'entraînement). Enfin, une fois automatisée, la connaissance acquise résiste aux interférences ainsi qu'à l'oubli. L'apprenant est alors capable d'appliquer sans peine la connaissance acquise à de nouvelles situations.

Plusieurs données convergent vers l'idée que différentes structures cérébrales seraient recrutées lors d'un apprentissage de séquence et que l'implication de ces structures seraient différentes selon le stade d'acquisition (Doyon *et al.*, 2003). L'apprentissage initial d'une séquence dépendrait à la fois du striatum et du cervelet alors que seul le striatum serait impliqué dans la consolidation et l'automatisation de la séquence. Par conséquent, si la dysphasie est due à une anomalie au niveau des ganglions de la

base (dont le striatum ; Ullman & Pierpont, 2005), nous avançons l'hypothèse que les enfants dysphasiques rencontreraient davantage de difficultés pour consolider et automatiser une séquence que pour en débiter l'apprentissage.

Deux études ont évalué l'étape de consolidation d'une séquence en mémoire à long terme et semblent confirmer l'hypothèse selon laquelle cette étape serait altérée dans la dysphasie. Hedenius *et al.* (2011) mettent en évidence une perte de la connaissance séquentielle apprise trois jours après l'entraînement chez les enfants dysphasiques. Les données de la seconde étude (Desmottes *et al.*, 2013) vont également dans le sens d'une altération de l'étape de consolidation qui pourrait entraver le processus d'automatisation des connaissances. En effet, si la trace mnésique n'est pas suffisamment intégrée en mémoire à long terme (en raison d'une consolidation inefficace ou partielle de la connaissance), l'apprenant éprouvera des difficultés pour récupérer l'information de façon rapide et sans effort cognitif. De même, une trace mnésique moins robuste en mémoire est plus sensible aux interférences créées par de nouveaux apprentissages. Face aux difficultés de consolidation des enfants dysphasiques, les futures études devront se pencher sur les conditions d'apprentissage qui optimisent l'intégration des connaissances en mémoire à long terme.

UN DÉFICIT LIMITÉ À L'APPRENTISSAGE SÉQUENTIEL ?

La majorité des études montre une altération du mécanisme d'apprentissage séquentiel et de consolidation en mémoire à long terme, qui pourrait expliquer certaines difficultés langagières des enfants dysphasiques. Récemment, quelques auteurs ont proposé des tâches d'apprentissage procédural non séquentielles afin de déterminer si les difficultés sont limitées à l'apprentissage de séquences ou au contraire s'étendent à d'autres situations d'apprentissage procédural, telles que l'apprentissage de certaines habiletés motrices ou de règles cognitives. Si la dysphasie est liée à un déficit global de l'apprentissage procédural, les enfants dysphasiques présenteront des difficultés dans toute tâche impliquant la mémoire procédurale.

Des études ont eu recours à des tâches de classification probabiliste qui visent à faire apprendre au participant l'association entre une combinaison d'indices et un résultat. Dans le paradigme original, la tâche de prédiction de la météo (Knowlton *et al.*, 1996a), le participant doit prédire le temps qu'il va faire sur la base de la combinaison de 4 cartes aux motifs géométriques distincts. Ces études montrent des niveaux de performances similaires chez les enfants dysphasiques et contrôles uniquement lorsqu'un grand nombre d'essais est proposé (Mayor-Dubois *et al.*, 2012 ; Lukács & Kemény, 2014).

D'autres encore ont évalué les capacités des enfants dysphasiques à apprendre de nouvelles habiletés motrices, notamment au moyen d'une tâche de dessin en miroir (Desmottes *et al.*, 2014). Il s'agit de suivre le tracé d'un

dessin (figure géométrique) dont le participant voit le résultat uniquement au travers d'un miroir. Dans cette étude, deux entraînements ont été comparés : un entraînement constant (la même figure est présentée tout au long de l'entraînement) et un entraînement variable (des figures différentes sont proposées à chaque essai). Dans les deux conditions, les mouvements à réaliser étaient identiques : tracer des lignes horizontales, verticales et des diagonales. Cependant, dans le groupe de l'entraînement constant, la suite de mouvements à réaliser était toujours la même (tracer une étoile), alors que dans l'entraînement variable, la suite des mouvements à effectuer était différente d'un essai à l'autre (tracer une étoile, un circuit, etc.). Les données de l'étude indiquent que les enfants dysphasiques acquièrent et transfèrent l'habileté de dessin en miroir de la même manière que les enfants tout-venant lorsqu'ils sont entraînés sur un matériel variable. En revanche, les enfants dysphasiques ne parviennent pas à égaliser le niveau de performance des enfants contrôles lorsqu'ils sont entraînés sur un matériel constant. Autrement dit, la généralisation serait particulièrement complexe lorsque le matériel d'apprentissage n'est pas suffisamment varié.

En résumé, les tâches d'apprentissage procédural non séquentielles ne semblent pas aussi bien réussies chez les enfants dysphasiques que chez les enfants tout-venant. Pour apprendre, les enfants dysphasiques ont besoin d'un entraînement intensif et varié (encodage plus riche de l'information). Ces données soutiennent l'idée d'un déficit plus global du système d'apprentissage procédural dans la dysphasie.

QUELLES IMPLICATIONS CLINIQUES ?

Des études montrent que la mémoire de travail s'améliore grâce à un entraînement adapté et que les effets bénéfiques de cet entraînement se généralisent à d'autres fonctions cognitives (Thorell *et al.*, 2009). Dans ce cas, l'entraînement de la mémoire procédurale aurait-il aussi des effets bénéfiques sur d'autres fonctions cognitives, et plus particulièrement l'acquisition du langage ? En se basant sur les travaux réalisés au niveau de la mémoire de travail, l'équipe de Christopher Conway a élaboré un programme d'entraînement des capacités d'apprentissage séquentiel et l'a ensuite proposé à des adultes tout-venant et à des enfants implantés cochléaires². Il s'agit d'une procédure d'entraînement visuo-spatial qui, d'un point de vue conceptuel, est similaire à d'autres tâches d'entraînement de la mémoire de travail. Si les tâches standard de mémoire de travail consistent à rappeler une série de stimuli qui n'ont aucune relation intrinsèque avec les autres (ex : des séries de chiffres aléatoires), les séries de stimuli utilisées

² La période de surdité avant la compensation par un implant cochléaire aurait de réelles conséquences sur l'apprentissage séquentiel. Un enfant porteur d'un implant cochléaire serait en effet capable d'apprendre précisément (détecter et discriminer) les sons individuels présentés en séquence (des mots) mais éprouverait des difficultés pour réaliser des opérations cognitives de plus haut niveau sur ces sons (apprendre les régularités séquentielles des mots) qui forment la base de la grammaire.

par Conway *et al.* partagent toutes une structure sous-jacente qui peut être implicitement apprise. L'originalité de ce programme de rééducation est donc d'entraîner les participants à encoder et à reproduire des séquences de stimuli visuels construites à partir des mêmes régularités. Lors de chaque séance d'entraînement, les règles de construction des séquences changent, de sorte que les participants n'apprennent pas une règle spécifique mais améliorent progressivement leurs capacités à apprendre toutes sortes de régularités, ce qui favorise la généralisation. Bien que préliminaires, les résultats montrent qu'après 4 à 5 jours d'entraînement, les adultes présentent non seulement de meilleures capacités à apprendre des séquences de stimuli, mais aussi de meilleurs scores au niveau de la mémoire de travail et des fonctions exécutives. Après 10 séances d'entraînement, les enfants implantés cochléaires se sont significativement améliorés dans des tâches de répétition de pseudo-mots et d'apprentissage de séquences visuelles non entraînées. Ce programme d'entraînement paraît donc prometteur et offre de nouvelles pistes d'intervention pour le traitement des troubles du langage et des apprentissages. La prochaine étape consistera à établir dans quelle mesure ce programme d'entraînement optimise les fonctions langagières, et plus spécifiquement les aspects syntaxiques du langage.

CONCLUSION

De manière générale, la dysphasie semble liée à un déficit au niveau du traitement séquentiel mais s'étendrait également à d'autres situations d'apprentissage procédural. Si les difficultés apparaissent dès l'encodage (étape initiale de l'apprentissage), nous avons aussi relevé l'importance d'étudier les étapes ultérieures de l'apprentissage. En effet, la consolidation, l'automatisation et la généralisation des connaissances acquises ont jusqu'à présent été très peu explorées et mériteraient d'être approfondies dans les études futures. Par ailleurs, les prochains travaux ne pourront faire l'économie de s'intéresser aux conditions d'apprentissage qui optimisent les capacités de rétention et de généralisation chez ces enfants. Enfin, outre son intérêt théorique indéniable, les résultats des travaux de Conway et collaborateurs, bien que préliminaires, mettent en avant de nouvelles pistes thérapeutiques ayant des répercussions dans la prise en charge de la dysphasie.

RÉFÉRENCES

- ARCHIBALD, L.M. & GATHERCOLE, S.E. (2007). The complexities of complex memory span: Storage and processing deficits in specific language impairment. *Journal of Memory and Language*, 57 (2), 177-194.
- COHEN, N.J. & SQUIRE, L.R. (1980). Preserved learning and retention of pattern-analyzing skill in amnesia: Dissociation of knowing how and knowing that. *Science*, 210, 207-210.
- CONWAY, C.M. & CHRISTIANSEN, M.H. (2006). Statistical learning within and between modalities: Pitting abstract against stimulus-specific representations. *Psychological Science*, 17, 905-912.
- DESMOTTES, L., MEULEMANS, T., DJELLALI, S. & MAILLART, C. (2013). *Implicit learning and consolidation in children with specific language impairment*. Poster session presented at Child Language Seminar.

- DESMOTTES, L., MAILLART, C., LEJOLY, K. & MEULEMANS, T. (2014). *Is there a global procedural learning deficit in children with Specific Language Impairment?* Poster session presented at National Academy of Neuropsychology Conference.
- DOYON, J. & BENALI, H. (2005). Reorganization and plasticity in the adult brain during learning of motor skills. *Current Opinion in Neurobiology*, 15, 161-167.
- DOYON, J., PENHUNE, V. & UNGERLEIDER, L.G. (2003). Distinct contribution of the cortico-striatal and cortico-cerebellar systems to motor skill learning. *Neuropsychologia*, 41, 252-262.
- EVANS, J., SAFFRAN, J.R. & ROBE-TORRES, K. (2009). Statistical Learning in Children with Specific Language Impairment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 52, 321-335.
- GABRIEL, A., MAILLART, C., STEFANIAK, N., LEJEUNE, C., DESMOTTES, L. & MEULEMANS, T. (2013a). Procedural learning in specific language impairment: effects of sequence complexity. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 19 (3), 264-271.
- GABRIEL, A., MEULEMANS, T., PARISSÉ, C. & MAILLART, C. (2013b). Procedural learning across modalities in french speaking children with specific language impairments. *Applied Psycholinguistics*, 1-10.
- GABRIEL, A., STEFANIAK, N., MAILLART, C., SCHMITZ, X. & MEULEMANS, T. (2012). Procedural visual learning in children with specific language impairment. *American Journal of Speech Language Pathology*, 21 (4), 329-341.
- GOPNIK, M. & CRAGO, M.B. (1991). Familial aggregation of a developmental language disorder. *Cognition*, 39, 1-50.
- GRUNOW, H., SPAULDING, T.J., GÓMEZ, R.L. & PLANTE, E. (2006). The effects of variation on learning word order rules by adults with and without language-based learning disabilities. *Journal of Communication Disorders*, 39, 158-170.
- HEDENIUS, M., PERSSON, J., TREMBLAY, A., ADI-JAPHA, E., VERISSIMO, J., DYE, C.D., ALM, P., JENNISCHE, M., TOMBLIN, J.B. & ULLMAN, M.T. (2011). Delayed motor skill acquisition in kindergarten children with language impairment. *Research in Developmental Disabilities*, 32 (6), 2362-2375.
- 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.
- HSU, H.J. & BISHOP, D.V.M. (2010). Grammatical difficulties in children with specific language impairment (SLI): is learning deficient? *Human Development*, 53, 264-277.
- HSU, H.J. & BISHOP, D.V.M. (2014). Sequence-specific procedural learning deficits in children with specific language impairment. *Developmental Science*, 17 (3), 352-365.
- HSU, H.J., TOMBLIN, J.B. & CHRISTIANSEN, M.H. (2014). Impaired statistical learning of non-adjacent dependencies in adolescents with specific language impairment. *Frontiers in Psychology*, 5, 352-365.
- KARMILOFF, K. & KARMILOFF-SMITH, A. (2003). *Comment les enfants entrent dans le langage*. Paris : Retz.
- KARNI, A., MEYER, G., REY-HIPOLITO, C., JEZZARD, P., ADAMS, M.M., TURNER, R. & UNGERLEIDER, L.G. (1998). The acquisition of skilled motor performance: fast and slow experience-driven changes in primary motor cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 95 (3), 861-868.
- KNOWLTON, B.J., MANGELS, J.A. & SQUIRE, I.R. (1996). A neostriatal habit learning system in humans. *Sciences*, 273, 1399-1402.
- LUKÁCS, Á. & KEMÉNY, F. (2014). Domain-General Sequence Learning Deficit in Specific Language Impairment. *Neuropsychology*, 472-483.
- LUM, J. & BLESES, D. (2012). Declarative and procedural memory in Danish speaking children with specific language impairment. *Journal of Communication Disorders*, 45 (1), 46-58.
- LUM, J., CONTI-RAMSDEN, G., PAGE, D.K. & ULLMAN, M. (2011). Working, Declarative and Procedural Memory in Specific Language Impairment. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 1138-1154.
- LUM, J.A.D., CONTI-RAMSDEN, G., MORGAN, A.T. & ULLMAN, M.T. (2014). Procedural learning deficit in children with specific language impairment (SLI): A meta-analysis of serial reaction time task performance. *Cortex*, 51, 1-10.
- LUM, J. A., GELGIC, C. & CONTI-RAMSDEN, G. (2010). Research report: Procedural and declarative memory in children with and without specific language impairment. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 45 (1), 96-107.
- MARINELLIE, S.A. (2004). Complex syntax used by school-age children with specific language impairment (SLI) in child-adult conversation. *Journal of Communication Disorders*, 37, 517-533.
- MAYOR-DUBOIS, C., ZESIGER, P., VAN DER LINDEN, M. & ROULET-PEREZ, E. (2012). Nondeclarative learning in children with specific language impairment: predicting regularities in the visuomotor, phonological, and cognitive domains. *Child Neuropsychology*, 14-22.
- MILLER, C.A., KAIL, R., LEONARD, L.B. & TOMBLIN, J. (2001). Speed of processing in children with specific language impairment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 44 (2), 416-433.
- PACKARD, M.G. & KNOWLTON, B.J. (2002). Learning and memory functions of the basal ganglia. *Annual Review of Neuroscience*, 25, 563-593.
- SAFFRAN, J.R., ASLIN, R.N. & NEWPORT, E.L. (1996). Statistical learning by 8-month-old infants. *Science*, 274, 1926-1928.
- SEGER, C.A. (2006). The basal ganglia in human learning. *The Neuroscientist*, 12, 285-290.
- SENGOTTUVEL, K. & RAO, P.K.S. (2013). Aspects of grammar sensitive to procedural memory deficits in children with specific language impairment. *Research in Developmental Disabilities*, 34, 3317-3331.
- THORELL, L., LINDQVIST, S., NUTLEY, S., BOHLIN, G. & KLINGHERB, T. (2009). Training and transfer effects of executive functions in preschool children. *Developmental Science*, 1-8.
- TOMBLIN, J.B., MAINELA-ARNOLD, E., & ZHANG, X. (2007). Procedural learning and adolescents with and without specific language impairment. *Language Learning and Development*, 3 (4), 269-293.
- TORKILDSEN, J., DAILEY, N.S., AGUILAR, J.M, GOMEZ, R. & PLANTE, E. (2013). Exemplar variability facilitates rapid learning of an otherwise unlearnable grammar by individuals with language-based learning disability. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 56, 618-629.
- ULLMAN, M.T. (2004). Contributions of memory circuits to language: The declarative/procedural model. *Cognition*, 92, 231-270.
- ULLMAN, M. & PIERPONT, E. (2005). Specific language impairment is not specific to language: the procedural deficit hypothesis. *Cortex*, 41, 399-433.