

# **Élaboration d'une Batterie Courte d'Évaluation de la Séquentialité chez des enfants de CE2**

## **Passations auprès de 101 enfants tout-venant et de 3 enfants porteurs d'un trouble développemental spécifique (études de cas)**

---

Mémoire en vue de l'obtention du Certificat de Capacité d'Orthophonie

présenté par **CAOUISSIN Noémie et LEMARCHAND Lucie**  
dirigé par **Madame MANSY-DANNAY**, Maître de conférences en psychologie, Université de Lille II

soutenu publiquement en juin 2015

### **RÉSUMÉ**

Ce mémoire traite de la séquentialité, de la mémoire de l'ordre et du lien aujourd'hui démontré avec le développement du langage. La séquentialité est un concept de plus en plus étudié, qui intervient dans la motricité, la musique, l'articulation, la parole, le langage, le dénombrement, la planification et autres activités humaines. L'entraînement séquentiel présente un intérêt certain dans la pratique orthophonique selon de récents travaux. Des bénéfices ont été observés aussi bien chez les enfants tout-venant que chez les enfants dysphasiques, dyslexiques, dyscalculiques ou présentant une déficience intellectuelle. Cependant, il n'existe pas d'outil standardisé ayant pour but de mettre en évidence des difficultés séquentielles. Ainsi, nous avons entrepris la création d'un outil d'évaluation qui se veut complet, spécifique à la séquentialité et utilisable dans la pratique orthophonique. Nous avons également élaboré un système de notation propre à la séquentialité en prenant en compte l'ordre relatif d'une séquence et les types et nombres d'erreurs séquentielles. La passation de la Batterie Courte d'Évaluation de la Séquentialité a été réalisée, en vue d'une normalisation, auprès de 101 enfants de CE2. Aussi avons-nous entrepris une étude de cas de 3 enfants porteurs d'un trouble spécifique développemental : dyscalculique, dyslexique et dysphasique, pour lesquels nous avons pu observer des difficultés séquentielles.

**Mots-clés** : Séquentialité – Mémoire de l'ordre – Évaluation – Normalisation – Trouble spécifique développemental

### **ABSTRACT**

This report deals with sequential treatment, memory for serial order and how those two are linked to language development but also numerical development and motor function development. Indeed, sequentiality is a concept which has an impact on motor skills, music skills, enunciation, language, numerical skills, planning and other human activities. Recent studies show the positive effects of a sequential training in speech therapies. As a matter of fact, the benefits of such practice have been noticed with children who have a disorder such as dyslexia, dysphasia, dyscalculia, deficiency but also with children who don't have any trouble. However, nowadays, there isn't any tool to highlight sequentiality trouble. Therefore, we have created an assessment tool with a specific notation system which takes under account serial-order and sequential errors. This test could be used by speech therapist. The execution of the "Batterie Courte d'Évaluation de la Séquentialité" (The Short Assessment Set of Sequentiality) was executed, in order to make a standardization, on 101 third grade children aged between 8 and 9. We have also done a case study by assessing 3 children with dyscalculia, dyslexia and dysphasia. It appears that those children had more sequential difficulties.

**Keywords** : Sequentiality - Memory for serial-order - Test - Standardization - Specific Developmental Disorder

### **INTRODUCTION**

La séquentialité et la mémoire de l'ordre sont des notions de plus en plus étudiées dans la littérature scientifique. Elles constituent une problématique de recherche actuelle. Hurlstone et al. (2014), Majerus et

al. (2008) et Majerus (2010a) cherchent notamment à prouver l'incidence des capacités séquentielles et de la mémoire de l'ordre dans le développement du langage et des compétences mathématiques, chez les enfants tout-venant, mais aussi dans les troubles spécifiques développementaux (dyscalculie, Attout et al., 2014). Il existerait des difficultés de traitement de l'ordre et de la séquentialité chez ces enfants. Il n'existe cependant pas d'outil standardisé ni de norme concernant le développement de la séquentialité chez l'enfant. Aucun consensus sur l'évaluation séquentielle, ni sur le système de notation, permettant de comparer scientifiquement les résultats n'est établi. Ainsi, avons-nous décidé de créer une batterie courte d'évaluation des capacités séquentielles. Pour cela, nous sommes parties des travaux universitaires précédents de Mahieux et Outrebon (2007), Maatouk et Dufour (2010), Marquet (2011) et Delos (2012).

Nous présenterons dans un premier temps le contexte théorique de notre travail en exposant les notions principales relatives à la séquentialité et à la mémoire de l'ordre. Nous présenterons ensuite nos buts et hypothèses. Puis, nous exposerons la méthodologie employée pour l'étude et l'analyse des données recueillies. Nous rendrons alors compte de nos résultats, que nous interpréterons et discuterons dans la partie suivante. Aussi, proposerons-nous des critiques et des perspectives à notre travail.

## **CONTEXTE THÉORIQUE**

### **La séquentialité**

Une séquence se définit comme un ensemble d'unités traitées successivement. Semjen (1994) la définit en fonction de la nature, du nombre, de l'ordre et de l'organisation temporelle de ses constituants (tempo et structure rythmique). D'après Dominey (2000), tous les actes, gestes et pensées s'inscrivent dans une séquence. La gestion des séquences permettrait l'apprentissage de la motricité, du langage, de la musique, etc. Pour Naglieri et Das (2003), le processus séquentiel est impliqué dans l'intégration d'informations présentées dans un ordre sériel particulier. Il intervient dès que cette information doit être rappelée ou complétée dans un ordre spécifique. La séquentialité intervient dans différents domaines, notamment les domaines moteur, du langage oral et du langage écrit ainsi que du dénombrement. En effet, dans le domaine moteur, toute activité motrice correspond à une séquence de mouvements coordonnés. L'ensemble des productions humaines y compris les productions langagières orales (gestes phonatoires et articulatoires), la lecture (saccades oculaires), l'écriture (gestes graphiques) sont effectuées à partir d'une séquence motrice. Dans le domaine du langage oral, toute production verbale constitue une séquence par la mise en ordre des phonèmes, des syllabes et des mots pour exprimer la pensée. Aussi, les erreurs telles que les lapsus reflètent typiquement, d'après Rossi (2001), le caractère séquentiel de la production du langage. Dans le domaine du langage écrit, de même que pour le langage oral, la phrase transcrite constitue une séquence composée d'un certain nombre d'unités agencées selon un ordre imposé par la langue. De plus, la séquentialité joue un rôle primordial dans le développement de la conscience phonologique et du développement de la voie d'assemblage. Dans le domaine du dénombrement, la séquentialité est également très présente. En effet, il s'agit de synchroniser deux séquences : le pointage moteur ou mental et une énonciation orale ou mentale de la chaîne numérique, nécessitant de surcroît la mémorisation des éléments. Le développement des capacités de dénombrement est graduel, séquentiel et lent (Wynn, 1992). Au cours de l'acquisition du nombre, se développent également les capacités de sériation, relatives au nombre ordinal, soit à la relation d'ordre des éléments. L'étude d'Attout et al. (2014) précise que de bonnes performances de rétention de l'ordre sériel, par opposition aux tâches de rétention simple des items, prédisent de bonnes performances numériques et de calcul. Enfin, notons qu'un nombre est une séquence de chiffres dont les éléments et l'ordre respectent une rigueur. Il est indispensable de préserver l'ordre de cette séquence-ci : en effet, « 184 » et « 148 » ne sont pas équivalents.

### **La mémoire à court terme et la rétention de l'ordre sériel**

La séquentialité correspond à la mise en activité de la mémorisation de l'ordre des éléments. La mémoire à court terme permet le traitement de l'information pendant son stockage même. Sa capacité serait d'environ 5 à 9 éléments (7 plus ou moins 2 éléments) et le maintien de l'information en mémoire à court terme serait limité à quelques secondes. Il existe inévitablement des variations interindividuelles et des variations dépendant du type d'information, des caractéristiques d'encodage et des caractéristiques de rappel de l'information. D'après Brin-Henry et al. (2011), la mémoire à court terme serait le support de la mémoire de travail, que l'on mesure par l'empan mnésique. En 1974, Baddeley et Hitch proposent un modèle de la mémoire de travail considéré comme « un des modèles de la mémoire à court terme les plus influents jusqu'à aujourd'hui » (Majerus, 2008, page 328) où la mémoire de travail y est représentée comme un système à trois composantes : un administrateur central amodal (ou centre exécutif) et deux systèmes périphériques (boucle phonologique et calepin visuo-spatial) (Seigneuric et al., 2001). En 2000, Baddeley ajoute à ce modèle de base un quatrième composant : un buffer épisodique (Majerus et Van der Linden, 2001).

Traditionnellement, l'augmentation de l'empan, au cours du développement de l'enfant, est interprétée comme reflétant l'accroissement des capacités de la boucle phonologique (Baddeley, 1986, cité

par Majerus, 2010a), définie comme un système stockant temporairement des informations à support verbal (Majerus et Van der Linden (2001). Pendant longtemps, la boucle phonologique a été considérée comme indépendante du système langagier ; or, les connaissances langagières déterminent la quantité de mots correctement rappelés dans les tâches de mémoire à court terme verbale. Pour Majerus (2008), différentes études démontrent l'intervention des connaissances langagières dans les tâches de mémoire à court terme avec, notamment, la présence d'effets langagiers (effet de lexicalité, effet phonotactique, effet de fréquence lexicale, du degré d'imagerie et du voisinage phonologique). Ces données sont confirmées par les données en neuro-imagerie fonctionnelle qui montrent l'activation des régions qui sous-tendent le traitement langagier (régions temporales supérieures, moyennes et inférieures) lors de la réalisation de tâches de mémoire à court terme et lors de la phase de maintien, alors même que les stimuli verbaux ne sont plus présents (Majerus, 2010a).

Il est couramment admis que les tâches de mémorisation dites «actives» comme les doubles tâches font appel à des processus attentionnels. Cependant, des travaux récents montrent que même les tâches dites «passives» font intervenir des processus attentionnels. Les données en neuro-imagerie fonctionnelle mettent en évidence des réseaux activés dans les tâches de mémoire à court terme. Il ressort qu'un même réseau, le réseau fronto-pariétal, s'active, que les tâches soient en lien avec la mémoire à court terme verbale ou la mémoire à court terme visuo-spatiale (Majerus, 2010a). Les mémoires à court terme verbales et visuo-spatiales ont donc plus de processus en commun que postulé dans le modèle de la mémoire de travail. Ces processus en commun sont de nature attentionnelle et renvoient au concept de «task-related attention» exploré dans les études de Todd et al. (2005).

Majerus (2008) distingue deux types d'informations mémorisées lors des tâches de mémoire à court terme verbale : l'information «item», correspondant aux caractéristiques phonologiques et sémantiques des stimuli verbaux à mémoriser, et l'information «ordre sériel» correspondant à l'ordre séquentiel dans lequel les différents stimuli d'une liste ont été présentés. Les travaux présentés par Majerus (2008) suggèrent que la mémoire à court terme pour l'information «item» verbale dépend de l'activation temporaire du système de représentations langagières et que la mémoire à court terme pour l'ordre sériel dépendrait d'un système spécialisé spécifique.

Ainsi, Majerus (2010a) indique la nécessité de création de nouveaux modèles théoriques de la mémoire à court terme intégrant des interactions avec le système langagier, des interactions avec les capacités attentionnelles et le traitement de l'ordre sériel. Majerus et al. (2009a ; Majerus, 2009, 2010b, cités par Majerus, 2010a) proposent un modèle à trois composantes de la mémoire à court terme. Majerus (2010a, page 11) précise que «la nature du code utilisé pour représenter l'information «ordre sériel» reste cependant encore non spécifiée et devra faire l'objet de recherches futures». Néanmoins, il est déjà évident de conclure qu'une simple tâche de mémoire à court terme, comme l'empan de chiffres ou de mots, ne met pas en jeu un système de stockage spécifique mais bien l'interaction de multiples systèmes : connaissances à long terme (langage) et systèmes exécutifs (contrôle attentionnel, interférence).

Encore plus récemment, Hurlstone et al. (2014) parlent du problème de l'ordre sériel comme l'un des plus complexes et des plus difficiles à appréhender en psychologie et ils nous montrent bien que le développement d'un modèle permettant la compréhension du système de rétention de l'ordre sériel est un questionnement très actuel.

### **Évaluation et rééducation de la séquentialité**

L'évaluation doit dégager qualitativement et quantitativement des difficultés. Selon Rondal (2000), une procédure, ou une tâche, peut s'appeler test, lorsqu'elle permet la mesure de ce qu'elle étudie, qu'elle est valide, fiable et sensible. Le test se doit également d'être spécifique. Zazzo (1969, cité par Sockeel et Anceaux, 2002) considère qu'un test est une épreuve devant être strictement définie dans ses conditions d'application et dans son mode de notation, afin de permettre de situer un sujet par rapport à une population, elle-même définie. Un test doit être standardisé pour être le plus objectif possible. La standardisation correspond au recours à l'étalonnage, au caractère fixe de sa présentation, de son administration et de sa correction. Elle permet l'obtention de normes à partir de résultats numériques. C'est pourquoi il convient de définir et d'uniformiser le matériel utilisé, les conditions de passation et les modalités de notation.

Les erreurs séquentielles peuvent altérer les séquences de différentes natures, selon le domaine concerné. Nous pourrions observer des phénomènes d'omission, d'ajout, d'interversion, de substitution, d'anticipation, de persévération ou encore de résurgence.

Depuis quelques années, des travaux universitaires sur la séquentialité sont menés. Ils se sont intéressés à l'intérêt d'une rééducation des capacités séquentielles chez des enfants tout-venant dans le domaine du langage oral (Delos, 2012), chez des enfants dyslexiques (Champdoyseau et Juston, 2003, Marquet, 2011), chez des enfants dysphasiques (Champdoyseau et Juston, 2003) et auprès d'enfants déficients intellectuels (Balu-Onfray et Caze-Blanc, 2005). De manière générale, il semble que l'entraînement des capacités séquentielles apporte un bénéfice des performances, dans les domaines concernés par la séquentialité. Ces travaux se sont appuyés sur ceux de Coevet et De Coatpont (2001) qui ont créé un livret de rééducation «En avant les petits indiens...». Mansy et Guerrien (2004) ont démontré

qu'un entraînement séquentiel composé d'exercices verbaux et moteurs améliorerait la conscience phonologique et séquentielle et qu'il existait donc un lien entre les séquentialités motrice et verbale. Mahieux et Outrebon (2007) ont voulu mesurer les capacités séquentielles des enfants en élaborant le premier outil d'évaluation des capacités séquentielles. Elles ont établi que les capacités séquentielles sont indépendantes de la modalité d'entrée ou de sortie, que la nature des cibles influence grandement la réussite aux épreuves et que la séquentialité suivait un développement hétérogène (grâce à l'étude par domaines). A ce jour, aucun outil standardisé ne permet une évaluation spécifique de ces capacités. Les évaluations utilisées se voient modifiées et adaptées à chaque nouvelle étude. Il apparaît alors nécessaire de proposer un test de référence.

En neuropsychologie, les difficultés séquentielles sont évoquées entre autres dans des troubles tels que la dyslexie, la dyscalculie, la dysphasie, la déficience intellectuelle et l'autisme. Moings et Trentesaux (2010) ont montré l'existence d'un lien entre la maîtrise de l'ordre et les capacités de lecture. Les résultats de Hachmann et al. (2014) suggèrent un déficit des capacités de rétention de l'ordre, mais avec préservation de la mémoire des items, chez les individus présentant une dyslexie. Les processus de mémoire à court terme pour l'ordre sériel joueraient un rôle dans l'apprentissage de nouvelles représentations orthographiques comme c'est le cas dans l'apprentissage de nouvelles représentations phonologiques (Majerus et al., 2008). D'après Marquet (2011), un entraînement séquentiel chez des enfants normo-lecteurs et dyslexiques permettrait une amélioration de la lecture ainsi que des performances mnésiques. Ainsi, l'intérêt d'un entraînement de la conscience séquentielle dans la prise en charge des enfants dyslexiques est mis en évidence. Également, Majerus et al. (2009b.) ont montré qu'un entraînement séquentiel pouvait permettre de développer le stock lexical des sujets dysphasiques. Les habiletés séquentielles sont indispensables à la production et à la compréhension phonologique. Ainsi, un entraînement séquentiel agit principalement sur les troubles phonologiques. Enfin, Attout et Majerus (2014) ont étudié les déficits de mémoire de travail chez des enfants dyscalculiques et l'importance que joue l'ordre séquentiel. Ils ont observé que les capacités de rétention des items étaient comparables chez les enfants dyscalculiques et les sujets témoins, alors que les performances des enfants dyscalculiques étaient significativement déficitaires pour les tâches de rétention de l'ordre d'une séquence et pour les tâches de jugement de l'ordre numérique.

## **BUTS ET HYPOTHÈSES**

L'objectif de notre travail est de réaliser une batterie d'évaluation des capacités séquentielles chez les enfants de CE2 et l'élaboration d'un système de cotation fin et spécifique à la problématique des erreurs séquentielles et de la mémoire de l'ordre. Cette batterie doit être courte et réalisable en une trentaine de minutes. Elle devrait pouvoir être prochainement normalisée puis étalonnée pour permettre son usage dans la pratique orthophonique.

Nous nous demandons si les capacités séquentielles dépendent d'un domaine en particulier (verbal, moteur, rythmique, visuo-spatial) et si celles-ci se développent de manière hétérogène. Nous supposons que les compétences séquentielles sont hétérogènes dans les différents domaines (Mahieux et Outrebon, 2007). Aussi, nous formulons l'hypothèse qu'un système de cotation centré sur l'ordre relatif, comme celui que nous créons, permet de mieux évaluer les capacités séquentielles. Nous postulons également que les épreuves rythmiques devraient être fortement liées aux épreuves d'empans et aux autres épreuves séquentielles. Enfin, nous pensons que les enfants avec un trouble spécifique développemental rencontreront des difficultés aux épreuves séquentielles.

## **MÉTHODOLOGIE**

La création des épreuves séquentielles constituant la batterie courte d'évaluation des capacités séquentielles a fait l'objet d'une étude approfondie des travaux antérieurs sur la séquentialité et particulièrement sur l'étude des travaux de Mahieux et Outrebon (2007), qui ont proposé une première batterie d'évaluation de la séquentialité chez les enfants de CE2. L'outil proposé était particulièrement long et il comportait un grand nombre d'épreuves constituées chacune d'un unique item. Toutes nos épreuves ont été analysées et supprimées ou sélectionnées selon des critères précis, en lien avec la théorie. Le système de cotation élaboré est riche et complexe, avec une modalité de cotation générale et des modalités spécifiques à chaque épreuve. Il a été réfléchi et mis en place à partir des travaux de Maljean (2013, 2014) mettant en avant l'intérêt d'un mode de cotation centré sur l'ordre relatif. Suite à l'élaboration de la batterie et du système de cotation, nous avons procédé à deux passations-tests pour nous assurer de la faisabilité et de la pertinence de l'outil, du niveau de difficulté des épreuves, de la bonne compréhension des consignes et du temps de passation. Puis, nous avons recruté 101 enfants tout-venant, scolarisés en CE2 et les avons évalués à l'aide de notre batterie. Le temps de passation variait de 25 à 35 minutes.

Nous avons ensuite, à partir des résultats bruts recueillis, recherché la normalité de notre population à l'aide des coefficients d'asymétrie (test de Skewnes) et d'aplatissement (test de Kurtosis) des valeurs. Puis, la population n'étant pas strictement gaussienne pour certaines de nos épreuves, nous avons tenté de

normaliser nos données au moyen des catégories normalisées, et avons recherché la présence d'effets plafond ou plancher aux différentes épreuves.

Pour effectuer une analyse statistique de nos résultats et de nos épreuves, nous les avons regroupées en quatre grands domaines : le domaine du rythme (épreuves rythmiques), le domaine visuo-spatial (modalité d'entrée visuelle), le domaine verbal (modalité d'entrée auditivo-verbale) et le domaine moteur (épreuve strictement motrice). Un cinquième domaine « réponse motrice » nous a permis d'étudier l'impact du mode de réponse dans les capacités séquentielles : il regroupe des épreuves appartenant à d'autres domaines, dont le mode de réponse est effectivement moteur.

Nous avons alors pu, à partir des domaines créés et des valeurs brutes obtenues, étudier certaines corrélations dans le but de répondre à nos hypothèses et de nous assurer de la non-redondance et de la pertinence des différentes épreuves. Pour cela, nous avons utilisé le coefficient R de Bravais-Pearson. Il s'agit d'un test statistique paramétrique permettant d'analyser un ensemble de données en paires et de déterminer l'existence d'une association entre les deux variables. Précisons que R est un nombre sans dimension, c'est-à-dire sans unité. Il varie entre -1 et 1, avec 0 signifiant l'absence de corrélation. Les valeurs de la table de Bravais-Pearson dépendent du nombre de participants (101 ici) et du niveau de confiance (risque alpha p) que nous nous fixons. Dans notre étude, nous avons choisi d'étudier les corrélations avec un faible risque alpha, soit  $p < 0,01$  ; la valeur calculée de R doit alors être supérieure à 0,254. Dans ces cas là, avec  $R > 0,254$ , nous avons 1/100 chances de nous tromper en affirmant la présence d'une corrélation entre deux variables.

Suite à l'étude des corrélations, nous avons étudié les résultats qualitatifs obtenus au cours de la passation de notre batterie chez 3 enfants avec trouble spécifique développemental : un enfant dyscalculique, un enfant dyslexique et un enfant dysphasique. L'étude quantitative n'a pas été réalisée dans la mesure où la normalisation de notre batterie n'a pas abouti. Néanmoins, l'observation et l'analyse qualitative des résultats de ces enfants nous donnent des informations sur leurs capacités séquentielles. Il s'agit donc de présenter des études de cas.

## **RÉSULTATS**

### **Résultats des enfants tout-venant**

Il ressort des 101 passations effectuées que la batterie que nous avons créée ne comporte pas de biais de compréhension ou de passation. La faisabilité a pu être vérifiée. Les scores bruts obtenus mettent en évidence un plafonnement des scores à certaines épreuves puisque toutes les épreuves ont pu voir leur score maximal atteint. Les empan de chiffres endroit vont de 4 à 8. Les empan de chiffres envers vont de 2 à 6 avec le mode de cotation « empan classique » et de 3 à 7 selon le mode « empan ordre relatif ». Les empan de mots vont de 3 à 6. Le nombre total d'erreurs séquentielles s'étend de 8 à 55 (moyenne de 25,683) avec une fréquence plus élevée pour les omissions (moyenne de 8,188), et plus faible pour les persévérations/résurgences (moyenne de 1,475). La création de 5 catégories normalisées pour les épreuves où cela était réalisable n'aboutit pas à une normalisation de la batterie mais met en évidence des effets plafond pour certaines épreuves. Aussi, les résultats montrent une hétérogénéité inter-individuelle aux différentes épreuves chez les enfants de CE2 et nous permettent d'observer le développement des capacités séquentielles à cet âge.

### **Résultats de la recherche de corrélations**

Les corrélations inter-épreuves suggèrent un lien prépondérant entre l'épreuve de reproduction de rythmes et le reste des épreuves séquentielles (tous domaines et tout type de réponse). Cette recherche de corrélations a pour but de nous assurer de la cohérence et de la non-redondance de nos épreuves. Aussi, les épreuves ne sont pas toutes fortement corrélées et aucune paire n'est corrélée à  $R = 1$ . L'étude des corrélations inter-domaines, afin de vérifier la bonne composition de nos domaines et d'étudier le développement séquentiel, souligne un lien entre le domaine du rythme et, d'une part, le domaine verbal, et d'autre part, le domaine visuo-spatial, bien que les épreuves rythmiques respectent une modalité auditive. Aussi sont corrélés le domaine visuo-spatial et le domaine moteur. L'étude des corrélations intra-domaines souligne des corrélations entre certaines des épreuves appartenant à un même domaine, mais ces corrélations n'atteignent jamais 1. Nous n'observons aucune corrélation dans le domaine « réponse motrice » alors que la modalité de sortie est identique d'une épreuve à l'autre. Des corrélations intra-domaines existent mais ne sont pas prédominantes.

Nous avons étudié les corrélations des épreuves préalables (empan) pour justifier l'intérêt du mode de cotation en ordre relatif. Nous relevons de fortes corrélations entre les différents scores d'empan, hormis pour le score empan item envers. Ces corrélations peuvent être très élevées mais n'atteignent jamais 1. Dans le but de mettre en évidence les capacités de rétention de l'ordre et les performances aux épreuves séquentielles, nous avons relevé les 13 corrélations entre les scores d'empan et les différentes épreuves séquentielles (au risque  $p < 0,01$ ). L'épreuve de reproduction de rythmes est corrélée à tous les empan, comme elle était corrélée à toutes les épreuves. Nous notons que les scores d'empan sont uniquement

corrélés aux épreuves rythmiques et verbales. Il n'existe aucune corrélation empan/épreuve visuo-spatiale ou empan/épreuve motrice. Les empan corrélés aux épreuves sont principalement les empan de chiffres endroit et les empan de mots. Il existe davantage de corrélations avec les empan « ordre relatif », bien qu'elles ne soient pas significativement plus importantes que les corrélations avec les empan « classiques ». Les corrélations entre les différents types d'erreurs séquentielles nous suggèrent la prépondérance du nombre d'omissions sur le total d'erreurs séquentielles. Les empan sont fortement liés aux erreurs séquentielles : les corrélations obtenues sont négatives puisqu'on compare des scores à un nombre d'erreurs : les deux variables varient donc en sens inverse. Les corrélations obtenues suggèrent qu'un empan plus élevé réduit le nombre d'erreurs séquentielles commises. Tous les scores d'empan en « ordre relatif » sont corrélés à  $p < 0,01$  aux erreurs séquentielles, ce qui n'est pas le cas des empan « classique » et « item » ( $p < 0,05$ ). La corrélation du total des erreurs séquentielles est elle aussi plus forte avec les empan « ordre relatif ». Notons que le nombre d'omissions n'est corrélé qu'aux empan « item ».

### **Résultats des enfants dyscalculique, dyslexique et dysphasique**

Nous avons relevé des performances pouvant être différentes entre les trois enfants, qui ont pu atteindre des scores maximums pour certaines épreuves (effets plafond). Néanmoins, nous avons observé des résultats faibles à certaines épreuves, soulignant des difficultés dans le traitement séquentiel chez ces enfants avec un trouble spécifique développemental. Aussi, certains scores aux épreuves préalables révélaient de faibles empan. Les passations s'étant bien déroulées, cela montre l'acceptabilité de notre outil et la possibilité de son utilisation dans la pratique orthophonique.

Marie, enfant dyscalculique, scolarisée en classe de CE2 a rencontré des difficultés dans le traitement global de la séquence. Elle a effectué un nombre très important d'erreurs séquentielles avec une majorité d'omissions mais également beaucoup de substitutions, parfois étonnantes. Elle devait décomposer, compter, apparier les éléments d'une séquence un à un pour pouvoir comparer 2 séquences. L'analyse qualitative nous a permis d'observer la mise en place de moyens de compensation efficaces au regard des scores bruts, mais lui demandant une charge cognitive massive (attention et concentration) et engendrant un fort allongement du temps de passation.

Sébastien, dyslexique, scolarisé en classe de CM1 a rarement été mis en difficulté au cours des épreuves hormis pour l'épreuve « suite de désignations sur une planche de cubes » qu'il a massivement échouée. Cependant, son nombre total d'erreurs séquentielles est élevé avec une prépondérance d'interventions. Le temps de passation n'a pas été allongé.

Nous avons également observé chez Oriane, dysphasique diagnostiquée et scolarisée en classe de CE2, des difficultés de traitement séquentiel. Elle a commis de nombreuses omissions et n'a pas mis en place de stratégies de compensation. Les épreuves motrices et visuelles ont été davantage réussies que les épreuves verbales. La passation a nécessité 15 minutes de plus que la moyenne des enfants tout-venant évalués.

En somme, les enfants porteurs d'un trouble développemental spécifique ont montré des difficultés hétérogènes liées à un fonctionnement séquentiel différent.

## **DISCUSSION**

### **Interprétation et discussion des principaux résultats**

#### Le développement séquentiel

Nous observons une hétérogénéité dans les résultats recueillis aux différentes épreuves et dans le nombre d'erreurs séquentielles commises chez les enfants tout-venant ; ce qui nous indique des variations dans le développement inter-individuel des compétences séquentielles chez des enfants du même âge. Nous répondons donc à l'hypothèse d'un développement hétérogène des capacités séquentielles. De plus, les épreuves appartenant à un même domaine ne sont pas toutes corrélées. Cela peut s'expliquer par le fait que les capacités séquentielles ne se développent pas de façon homogène à l'intérieur d'un même domaine. Mahieux et Outrebon (2007) avaient déjà plaidé pour un développement hétérogène de la séquentialité intra-domaine. Nous confirmons donc l'hypothèse selon laquelle les compétences séquentielles seraient hétérogènes dans les différents domaines et ne dépendent alors pas d'un domaine en particulier. Bien que nous ayons observé des corrélations inter-épreuves mettant en lien des épreuves ayant un type de réponse identique (ex : verbale, motrice...), nous ne pouvons déduire l'existence d'un développement de la séquentialité autour de certains modes de réponses aux épreuves séquentielles. De plus, la création d'un domaine « réponse motrice » n'a pas montré de corrélations intra-domaines pouvant suggérer un lien entre les scores aux épreuves le composant. En somme, les corrélations, soit le développement de la séquentialité, ne semblent pas en lien avec la modalité de sortie des épreuves. Cela est cohérent avec les résultats obtenus par Mahieux et Outrebon (2007).

#### La pertinence de la sélection des épreuves

Nous avons pu relever des corrélations entre différentes épreuves mettant en jeu des compétences communes ou convergentes, quelle que soit leur modalité d'entrée ou de sortie. Cependant, aucune

corrélation inter-épreuves n'est supérieure à 0,447. Nous pouvons en déduire que nos épreuves n'évaluent pas strictement la même chose, c'est-à-dire qu'elles présentent bien toutes un intérêt dans l'évaluation de la séquentialité. Cela confirme la pertinence et la non-redondance de nos épreuves.

#### Le rythme et la séquentialité

Les résultats observés montrent une omniprésence de corrélations entre les épreuves rythmiques et les autres épreuves, ainsi qu'avec les scores d'empans. En effet, comme nous l'avons précisé dans notre partie théorique, la séquence est entre autres définie par son organisation temporelle (constituée du tempo et de la structure rythmique). Les compétences rythmiques sont ainsi directement mises en jeu dans la séquentialité. De plus, leur rôle dans la production de la parole et la production de mouvements (la danse, par exemple) n'est plus à démontrer. C'est dans cet intérêt que le rythme est déjà fréquemment travaillé en orthophonie, notamment dans la prise en charge des retards de parole. En somme, les épreuves rythmiques nous donnent des informations sur les capacités séquentielles globales. Nous pouvons alors confirmer notre hypothèse selon laquelle les épreuves rythmiques seraient fortement liées aux autres épreuves y compris aux épreuves d'empans, soient aux compétences séquentielles.

#### Les empans et la séquentialité

Le nombre total des erreurs séquentielles est négativement corrélé aux différents scores d'empans. Ainsi, il existe bien un lien entre le nombre d'erreurs séquentielles et les empans. Également, nous avons relevé des corrélations entre le nombre d'omissions et les empans item. Ces derniers s'intéressent spécifiquement au nombre de constituants de la séquence, c'est pourquoi l'empan item exerce un lien direct avec le nombre d'omissions commises.

Nous avons remarqué que les scores d'empans, issus des épreuves préalables, sont uniquement corrélés à des épreuves des domaines verbal et rythmique. Ceci est certainement lié au fait que les épreuves d'empans utilisées ici sont proposées avec un support auditif uniquement, comme les épreuves verbales et rythmiques. Pour obtenir des empans en lien avec nos épreuves visuo-spatiales, nous aurions peut-être dû évaluer des empans visuels. Cela, nous aurait certainement permis d'observer une dissociation des capacités mnésiques en fonction du type de matériel utilisé.

L'empan envers nous apparaît moins corrélé aux résultats séquentiels que l'empan endroit et met plus rapidement les enfants en échec en leur demandant une plus grande mobilisation attentionnelle. Aussi, dans le cadre de la séquentialité, nous pouvons nous interroger sur la pertinence de l'évaluer en plus de l'évaluation de l'empan endroit de chiffres. De plus, la cotation de l'empan item envers est à relativiser : il peut être très élevé chez certains enfants capables de restituer un grand nombre des constituants de la séquence, sans pouvoir en respecter l'ordre « envers », et il peut être faible chez des enfants ne pouvant restituer toute la séquence de chiffres, du fait de l'importante charge cognitive que cela représente de renverser la séquence. Ainsi nous devons nous interroger sur le calcul de ce score qui est moins pertinent isolément mais qui apporte des informations par comparaison à d'autres scores.

Les corrélations entre les scores d'empans peuvent être très élevées, ce qui semble logique, notamment entre les empans endroit et les empans envers, car les 6 scores sont calculés sur les mêmes items. Aussi, les trois empans endroit, les trois empans envers et les trois empans de mots sont chacun calculés sur les mêmes réponses. Nous avons observé de nombreuses corrélations entre les différents scores d'empans mais elles n'atteignent jamais 1, ce qui montre que les trois scores allant dans le même sens, ne sont pourtant pas identiques. Il existe alors une différence entre les systèmes de cotation : classique, item et ordre relatif ; d'où l'intérêt de les utiliser désormais. La pertinence de la cotation ordre relatif nous apparaît aussi dans l'étude des corrélations des scores d'empans au nombre d'erreurs séquentielles et dans l'étude des corrélations entre les empans et les épreuves de la batterie. Il nous semble donc essentiel qu'il faille désormais privilégier la cotation de l'empan en ordre relatif, pour déterminer l'empan d'un individu, l'empan classique étant moins représentatif des performances des enfants. Nous confirmons ainsi l'hypothèse posée précédemment selon laquelle un système de cotation centré sur l'ordre relatif permettrait d'évaluer les capacités séquentielles avec une meilleure précision.

#### Interprétation des résultats dyscalculique, dyslexique et dysphasique

Notre batterie a été créée dans le but d'une utilisation orthophonique, afin de détecter d'éventuels troubles séquentiels chez des enfants bénéficiant d'un suivi. Nos trois passations auprès d'enfants porteurs d'un trouble spécifique se sont bien déroulées. La batterie semble ainsi adaptée à la pratique orthophonique. Cependant, nous avons remarqué un temps de passation allongé pour l'enfant dyscalculique et l'enfant dysphasique. Mais, puisque nous utilisons un ordre circulaire pour la passation auprès des 101 participants, il sera possible de sélectionner certaines épreuves afin de raccourcir le temps de passation ou cibler l'évaluation des capacités séquentielles. Aussi, la passation pourra être réalisée en plusieurs fois. L'évaluation a souligné l'existence de troubles séquentiels chez ces trois enfants.

#### **Problèmes rencontrés et critiques méthodologiques du travail**

La sélection des épreuves a été particulièrement longue et fastidieuse. Dans le but d'obtenir une batterie courte, utilisable en orthophonie, nous avons dû réduire considérablement le nombre d'épreuves présentes dans les mémoires précédents traitant de l'évaluation des capacités séquentielles. Ces choix ont

parfois été difficiles. Ainsi, les épreuves étant réduites, le champ d'exploration des compétences séquentielles est plus restreint.

La décision de ne pas respecter la consigne d'arrêt de la BALE dans nos épreuves préalables d'empan nous a permis une comparaison entre les cotations en empan classique et celles en empan ordre relatif, mais fait cependant ressortir une fatigabilité chez les enfants.

De plus, certaines épreuves de notre livret pourraient être modifiées (items, choix du support, choix du matériel, modalité d'entrée, tableau de cotation...), nous proposons ces modifications dans le mémoire.

La création d'un système de cotation est longue et complexe. Ainsi, nous étions dans l'obligation de nous appuyer sur les travaux théoriques actuels. Cependant, nous avons dû opter pour une partie car il n'existe pas, à ce jour, de consensus littéraire sur les critères de cotation de l'évaluation séquentielle.

Lors des essais de normalisation, nous avons rencontré des difficultés du fait de la non-normalité de notre population. Il ne nous a alors pas été possible de proposer une norme avec moyennes et écart-types chez les enfants tout-venant, mais le calcul de catégories normalisées était, lui, en partie réalisable.

### **Perspectives**

Des modifications doivent impérativement être apportées afin d'envisager une normalisation de la batterie auprès d'enfants de CE2 et, par la suite, un étalonnage de celle-ci. En effet, les effets plafond ou les problèmes de traitement statistique mis en évidence par l'étude des coefficients d'asymétrie et d'aplatissement des valeurs ainsi que des catégories normalisées obtenues témoignent de la nécessité de complexifier et/ou d'augmenter le nombre d'items des épreuves concernées. La batterie, telle qu'elle est construite à ce jour, pourrait en revanche être administrée auprès d'enfants de CP ou CE1, pour lesquels le niveau de complexité pourrait être adéquat et ne nécessiter aucune modification.

Nous pourrions améliorer le système de cotation, en créant par exemple un manuel de correction des erreurs difficiles à analyser, qui pourraient être rencontrées, ou en calculant un score total à notre batterie afin d'observer des hétérogénéités inter-individuelles sur le développement global de la séquentialité.

Enfin, notre outil devra faire l'objet d'un travail de remaniement, de normalisation et d'étalonnage, pour qu'il puisse être utilisé dans la pratique à des fins comparatives et de dépistage de difficultés des troubles de la séquentialité et de la mémoire de l'ordre.

### **Intérêts orthophoniques de notre travail**

Notre travail a consisté en la création d'un outil d'évaluation de la séquentialité destiné à la pratique orthophonique, qui devait respecter les critères méthodologiques de construction d'un test avec une standardisation permettant l'obtention de scores relatifs à la norme, pouvant être retranscrits sur le compte-rendu de bilan orthophonique. L'évaluation des troubles de la séquentialité revêt des intérêts divers dans le champ de l'orthophonie, tels que la recherche sur le développement cognitif de l'enfant ou sur la fréquence et la place des difficultés séquentielles chez les enfants atteints d'une pathologie particulière (trouble spécifique développemental, trisomie 21, autisme, etc.).

Notre batterie permet l'évaluation globale de la séquentialité et prend en compte différentes modalités et différents domaines. Nous tenons à rappeler que l'entraînement séquentiel a déjà montré son intérêt chez les dyslexiques, les dysphasiques et les déficients intellectuels.

De plus, à travers cet outil, les orthophonistes évaluant la séquentialité pourraient se rendre compte de l'intérêt de cette problématique dans leur champ de compétences. Face à ce constat, la problématique de la séquentialité pourrait se développer.

## **CONCLUSION**

Notre travail a ainsi abouti à la création d'une batterie courte d'évaluation des capacités séquentielles et à l'élaboration d'un système de cotation prenant en compte l'ordre relatif dans une séquence et respectant la problématique de la séquentialité. Nous avons présenté notre batterie à 101 enfants tout-venant de CE2, ainsi qu'à 3 enfants présentant un trouble spécifique développemental (dyscalculie, dyslexie et dysphasie). La passation de cet outil dure une trentaine de minutes (jusqu'à 60 minutes chez les enfants présentant un trouble spécifique). La création des catégories normalisées a mis en évidence la présence d'effets plafond pour certaines épreuves, qui nécessiteront des remaniements : modification des épreuves par ajout d'items et/ou complexification de l'épreuve. La batterie pourrait éventuellement être présentée en l'état pour une normalisation auprès d'enfants de CP/CE1. La batterie n'a, de ce fait, pas encore pu être normalisée.

L'étude des corrélations à partir des scores bruts obtenus lors des 101 passations suggère que nos épreuves sont pertinentes et spécifiques à l'exploration des capacités séquentielles ; aussi nous ne relevons pas d'épreuves qui soient redondantes et vaines. Les résultats aux différents empan soulignent des différences de scores entre la cotation utilisée traditionnellement dans les tests d'évaluation de l'empan mnésique et la prise en compte de l'ordre, avec la cotation de l'empan ordre relatif. Il nous paraît nécessaire de suggérer l'adoption de la cotation de l'empan « ordre relatif ». Globalement, nous avons observé une hétérogénéité inter-individuelle des performances aux différentes épreuves, avec des difficultés n'intéressant



pas un domaine de la séquentialité en particulier. Aussi, les résultats des enfants présentant un trouble spécifique développemental suggèrent l'existence de difficultés séquentielles chez ces enfants. La comparaison des résultats quantitatifs à la norme sera indispensable et devra être effectuée suite à la normalisation de l'outil.

La batterie courte d'évaluation de la séquentialité que nous proposons apparaît fonctionnelle et spécifique à la problématique. Nous souhaiterions qu'elle puisse, à l'avenir, être utilisée dans le cadre des évaluations orthophoniques du langage oral, du langage écrit ou encore des logico-mathématiques. Nous espérons que l'étude des capacités séquentielles intéressera davantage de professionnels et qu'elle saura causer un impact sur la prise en charge orthophonique.

## REFERENCES

Attout L, Noël MP, Majerus S (2014). The relationship between working memory for serial order and numerical development: a longitudinal study. *Developmental Psychology* : 50(6) : 1667-79.

Baddeley AD, Hitch GJ (1974). Working memory. In : Bower GH (Ed.). *The psychology of learning and motivation*. San Diego, Academic press : 47-90.

Baddeley A (1986). *Working memory*. Oxford, Clarendon Press/Oxford University Press.

Baddeley AD (2000). The episodic buffer : a new component of working memory ? *Trends in Cognitive Sciences* : 4(11) : 417-423.

Balu-Onfray C, Caze-Blanc L (2005). *Intérêt orthophonique d'un travail de séquentialité auprès d'enfants déficients intellectuels*. Mémoire d'orthophonie. Université de Lille 2.

Brin-Henry F, Courrier C, Lederlé E, Masy V (2011). *Dictionnaire d'Orthophonie*. Villeneuve d'Ascq, Ortho Edition.

Champdoyseau AL, Juston B (2003). *Intérêt orthophonique d'un travail de séquentialité auprès d'enfants dyslexiques et dysphasiques*. Mémoire d'orthophonie. Université de Lille 2.

De Coatpont A, Coevoet P (2001). *Relation langage-motricité : intérêt d'un travail de séquentialité*. Mémoire d'orthophonie. Université de Lille 2.

Delos T (2012). *Protocole de rééducation de la séquentialité dans les troubles de développement du langage oral*. Mémoire d'orthophonie. Université de Lille 2.

Dominey PF, Ramus F (2000). Neural network processing of natural language: Sensitivity to serial, temporal and abstract structure of language in the infant. *Psychology Press* : 15(1) : 87-127.

Dufour E, Maatouk S (2009). *Élaboration d'un outil d'évaluation des troubles de la séquentialité chez les enfants dyslexiques de 8 à 12 ans*. Mémoire d'orthophonie. Université de Lille 2.

Hachmann WM, Bogaerts L, Szmalec A, Woumans E, Duyck W, Job R (2014). Short-term memory for order but not for item information is impaired in developmental dyslexia. *Annals of Dyslexia* : 64 : 121-136.

Hurlstone MJ, Hitch GJ, Baddeley AD (2014). Memory for Serial Order Across Domains : An Overview of the Literature and Directions for Future Research. *Psychological Bulletin* : 140(2) : 339-373.

Jacquier-Roux M, Lequette C, Pouget G, Valdois S, Zorman M (2010). *BALE : Batterie Analytique du Langage Écrit*. Grenoble, Groupe Cogni-Sciences - Université Pierre Mendès-France.

Maatouk S, Dufour E (2010). *Élaboration d'un outil d'évaluation des troubles de la séquentialité chez les enfants dyslexiques de 8 à 12 ans*. Mémoire d'Orthophonie, Université de Lille 2.

Mahieux F, Outrebon C (2007). *Élaboration d'une batterie comparant les capacités séquentielles dans différents domaines chez les enfants de CE2*. Mémoire d'orthophonie. Université de Lille 2.

Majerus S, Van Der Linden M (2001). La composante verbale de la mémoire de travail : le modèle de Baddeley et les conceptions apparentées. In : Majerus S, Van Der Linden M, Belin C (éd.). *Relations entre perception, mémoire de travail et mémoire à long terme*. Marseille, Solal : 13-50.

Majerus S (2008). La mémoire verbale à court terme : un simple produit des interactions entre systèmes langagiers, attentionnels et de traitement de l'ordre sériel ? *Psychologie Française* : 53 : 327-341.

- Majerus S, Poncelet M, Van der Linden M, Weekes BS (2008). Lexical learning in bilingual adults : The relative importance of short-term memory for serial order and phonological knowledge. *Cognition* : 107(2) : 395-419.
- Majerus S (2009). Verbal short-term memory and temporary activation of language representations : the importance of distinguishing item and order information. In : Thorn AS, Page M (Eds.). Interactions between short-term and long-term memory in the verbal domain. Hove, *Psychology Press* : 244-276.
- Majerus S, Heiligenstein L, Gautherot N, Poncelet M, Van Der Linden M (2009a). The impact of auditory selective attention on verbal short-term memory and vocabulary development. *Journal of Experimental Child Psychology* : 103 : 66-86.
- Majerus S, Leclercq AL, Grossmann A, Billard C, Touzin M, Van der Linden M, Poncelet M (2009b). Serial order short-term memory capacities and specific language impairment : no evidence for a causal association. *Cortex, Journal Elsevier* : 45(6) : 708-720.
- Majerus S (2010a). Les multiples déterminants de la mémoire à court terme : Implications théoriques et évaluatives. *Développements* : 4 : 5-15.
- Majerus S (2010b). Das verbale Kurzzeitgedächtnis als Produkt der Interaktion zwischen Aufmerksamkeitskapazitäten, Sequenzverarbeitung und Aktivierung des Sprachsystems. *Psychologische Rundschau* : 61 : 10-17.
- Maljean R (2013). *Enjeux de l'évaluation et de la cotation, différences interindividuelles dans les stratégies du maintien de l'ordre sériel*. Mémoire de Psychologie, Université de Lille 3.
- Maljean R (2014). *Profils cognitifs de l'organisation sérielle, hypothèse item/ordre et degré d'autonomie chez la personne âgée dépendante*. Mémoire de Psychologie, Université de Lille 3.
- Mansy A, Guerrien A (2004). Entraînement de la motricité séquentielle et production orale chez l'enfant. *Glossa* : 87 : 4-14.
- Marquet A (2011). « *Relations entre lecture et mémorisation de l'ordre des éléments dans une séquence* » : Étude auprès d'enfants normo-lecteurs et d'enfants dyslexiques et entraînement aux différentes stratégies de mémorisation de l'ordre. Mémoire d'orthophonie. Université de Lille 2.
- Moings H, Trentesaux L (2010). *Relations entre les capacités de la mémoire de l'ordre et les capacités de lecture au cycle 3*. Mémoire pour l'obtention du Diplôme d'État de Psychologue Scolaire. Université de Lille 3.
- Naglieri JA, Das JP (2003). « Planning, Attention, Simultaneous, Successive (PASS) Theory : A revision of the concept of intelligence ». In : Flanagan DP, Harrison PL (2005). Contemporary Intellectual Assessment : Theories, tests, and issues. *The Guilford Press* : 120-135.
- Rondal JA, Seron X (2000). Évaluation du langage. In : *Troubles du langage : bases théoriques, diagnostic et rééducation*, Bruxelles, Mardaga : 373-434.
- Rossi M (2001). Les lapsus et la production de la parole. *Psychologie française* : 46(1) : 27-41.
- Saussure (1967). *Cours de Linguistique Générale*. Paris, Grande bibliothèque Payot : 170-175.
- Seigneuric A, Gyselinck V, Ehrlich MF (2001). La mémoire de travail dans la compréhension du langage : quel système pour quelles fonctions ? In : Majerus S, Van Der Linden M, Belin C (Eds.). *Relations entre perception, mémoire de travail et mémoire à long terme*. Marseille, Solal : 83-115.
- Semjen A (1994). Qu'y a-t-il de programmé dans les activités motrices ? Les avatars du programme moteur. *Science et motricité* : 23 : 48-57.
- Sockeel P, Anceaux F (2002). La démarche expérimentale en psychologie. Paris, In Press.
- Todd JJ, Fougny D, Marois R (2005). Visual short-term memory load suppresses temporo-parietal junction activity and induces inattention blindness. *Psychological Science* : 16 : 965-972.
- Wynn K (1992). Children's acquisition of the number words and the counting system. *Cognitive Psychology* : 24(2) : 220-251.
- Zazzo (1969). *Manuel pour l'examen psychologique de l'enfant*. Neuchâtel, Delachaux.