

MEMOIRE

En vue de l'obtention du
Certificat de Capacité d'Orthophonie
présenté par :

Laura BRUN

soutenu publiquement en juin 2015 :

**Les impacts de la dysphasie sur la
cognition mathématique
chez des enfants du CP au CM2**

MEMOIRE dirigé par :

Françoise DUQUENNE-BOIDEIN, Neuropédiatre, Hôpital Saint Vincent de Paul, Lille

Claire LAVOINE, Orthophoniste, Hôpital Saint Vincent de Paul, Lille

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier Mme Boidein, neuropédiatre, et Mme Lavoine, orthophoniste à l'hôpital Saint Vincent de Paul à Lille, d'avoir accepté d'encadrer ce mémoire.

Je remercie plus particulièrement Mme Moulin, orthophoniste libérale et maître de stage, pour sa disponibilité, son regard critique et son aide précieuse.

Merci également aux enfants et à leur famille pour leur participation à cette étude, ainsi qu'aux orthophonistes m'ayant accueillie cette année.

Enfin, un grand merci à ma famille qui m'a accompagnée toutes ces années. Merci pour leurs encouragements et leur soutien au quotidien.

Résumé :

Le trouble spécifique du langage oral qu'est la dysphasie a fait l'objet de très nombreux travaux. Néanmoins, rares sont ceux qui ont exploré ses liens avec la cognition mathématique.

La présente étude s'intéresse aux impacts de la dysphasie sur la cognition mathématique chez des enfants du CP au CM2. Son objectif principal est d'en préciser les composantes spécifiquement affectées par le trouble du langage oral. Pour ce faire, la batterie neurocognitive Zareki-R a été administrée à quinze enfants du CP au CM2, dont un premier groupe est constitué d'enfants dysphasiques, un deuxième d'enfants présentant un trouble de la cognition mathématique et un dernier d'enfants tout-venants.

Les notes totales des enfants dysphasiques les situent à la limite de la zone pathologique. Sur l'ensemble des épreuves proposées, aucune n'est intégralement réussie, 31% sont majoritairement réussies et 46% sont majoritairement voire intégralement échouées. Concernant les 23% restantes, il n'a pas été possible de conclure sur leur degré d'affection. Les domaines de la cognition mathématique les plus affectés par la dysphasie sont le transcodage, le calcul mental oral, la résolution de problèmes oraux et la mémoire de travail (même si cette dernière est une compétence transversale non spécifique).

La présente étude permet ainsi d'affirmer la présence de difficultés dans la construction de la cognition mathématique chez les enfants dysphasiques recrutés. Dès lors, comme le diagnostic de dysphasie se pose dans le temps, il semblerait judicieux d'intégrer préventivement les pré-requis mathématiques à la prise en charge précoce d'enfants présentant un trouble du langage oral.

Mots-clés :

Trouble spécifique du langage oral – Dysphasie – Cognition mathématique – Enfants (6-12 ans) – Recherche – Orthophonie

Abstract :

Dysphasia is a specific language impairment which was the object of numerous works. Nevertheless, rare are the ones which explored its links with the mathematical cognition.

The present study is interested in the impacts of dysphasia on the mathematical cognition at children of the 1st year until the 5th year of primary school. Its main objective is to specify the components specifically affected by the language impairment. To do it, the neurocognitive Zareki-R battery was administered to fifteen children of the 1st year until the 5th year of primary school: a first group constituted by dysphasic children, a second by children presenting a disorder of the mathematical cognition and a last one of control children.

The total marks of the dysphasic children place them on the verge of pathological zone. On all the proposed tests, none is entirely made a success, 31% are mainly made a success and 46% are mainly even entirely failed. Concerning the 23% remaining, it was impossible to end on their degree of affection. The domains of the mathematical cognition the most affected by dysphasia are the transcoding, the oral mental calculation, the oral problems' resolution and the working memory (even if this latter isn't a specific competence).

The present study so allows to assert the presence of difficulties in the the mathematical cognition's construction at the dysphasic children recruited. From then one, as the dysphasia's diagnosis settles in time, it would seem sensible to integrate preventively the mathematical requirements into the premature care of the children who are presenting a language impairment.

Keywords :

Specific language impairment – Dysphasia – Mathematical cognition – Children (6-12 years) – Research – Speech therapy

Table des matières

Introduction	1
Contexte théorique, buts et hypothèses	4
1. La cognition mathématique et ses troubles	5
1.1. Approches théoriques	5
1.1.1. La théorie piagétienne	5
1.1.2. La place de la neuropsychologie et de la psychologie cognitive	5
1.1.2.1. Le modèle de Mc Closkey, Caramazza et Basili	5
1.1.2.2. Le modèle de Deloche et Seron	6
1.1.2.3. Le modèle de Dehaene et Cohen	6
1.1.2.4. Les apports de l'imagerie cérébrale fonctionnelle	6
1.2. Les principales acquisitions	7
1.2.1. Les compétences numériques précoces	7
1.2.2. Les procédures de quantification	8
1.2.2.1. Le subitizing	8
1.2.2.2. L'estimation globale	8
1.2.2.3. Le comptage	8
1.2.3. La chaîne numérique	9
1.2.3.1. La chaîne numérique orale	9
1.2.3.2. Les chaînes numériques écrites	9
1.2.3.3. Le transcodage	10
1.2.4. Les opérations arithmétiques	10
1.2.4.1. Les types de connaissances mobilisées	10
1.2.4.2. Entre procédures et récupération en mémoire	11
1.2.4.3. La place de la mémoire	12
1.2.5. La résolution de problèmes	12
1.3. Les troubles de la cognition mathématique	13
1.3.1. Les apports de la neuropsychologie et de l'imagerie chez l'enfant	13
1.3.1.1. Le modèle ADAPT	13
1.3.1.2. Les apports de la neuro-imagerie chez l'enfant	13
1.3.2. La dyscalculie développementale	14
1.3.2.1. Définition et critères diagnostiques	14
1.3.2.2. Hypothèses causales	15
1.3.2.3. Facteurs prédictifs du trouble	15
1.3.3. Les classifications	16
1.3.3.1. La classification de Temple	16
1.3.3.2. La classification de Von Aster	16
1.3.4. Les troubles fréquemment associés	16
2. La dysphasie	18
2.1. Définitions	18
2.1.1. Un trouble développemental complexe	18
2.1.1.1. Une dynamique hétérogène	18
2.1.1.2. Un trouble spécifique	18
2.1.1.3. Un trouble sévère	19
2.1.1.4. Un trouble persistant	19
2.1.1.5. Principaux indicateurs avant 5 ans	19
2.1.2. Difficultés diagnostiques	19
2.1.2.1. De la prudence dans la démarche	19
2.1.2.2. Trouble primaire/Trouble secondaire ?	20
2.1.2.3. Retard de parole ou de langage/Dysphasie ?	20

2.1.3.Retentissements sur la communication et les apprentissages.....	20
2.2.Les formes cliniques	21
2.2.1.Sémiologie des troubles possibles.....	21
2.2.1.1.Les troubles phonologiques et articulatoires.....	21
2.2.1.2.Les troubles du lexique et de la sémantique	21
2.2.1.3.Les troubles morphosyntaxiques	22
2.2.1.4.Les troubles pragmatiques et discursifs	22
2.2.2.Les classifications.....	23
2.2.2.1.La classification du DSM IV.....	23
2.2.2.2.La classification de Gérard.....	23
2.2.2.3.Intérêt des classifications ?.....	23
2.3.Troubles fréquemment associés.....	24
2.4.Approches théoriques.....	24
2.4.1.Théories linguistiques.....	24
2.4.2.Théories cognitives.....	25
3.Langage et habiletés numériques dans la littérature.....	27
3.1.La place du langage dans la cognition mathématique	27
3.1.1.Les partisans de la suprématie langagière.....	27
3.1.2.Les partisans du « sens du nombre ».....	28
3.1.3.Les partisans de l'interaction.....	28
3.2.Les esquisses d'un compromis ?.....	29
3.2.1.Le langage comme outil de calcul.....	29
3.2.1.1.La construction de la ligne numérique interne.....	29
3.2.1.2.Le langage dans le comptage.....	30
3.2.1.3.Le langage dans les opérations arithmétiques.....	30
3.2.1.4.Le langage dans la résolution de problèmes.....	31
3.2.2.La place du langage dans un modèle de traitement des nombres.....	31
3.2.2.1.Le rôle de l'hémisphère gauche dans le traitement numérique.....	31
3.2.2.2.Deux systèmes de calcul.....	32
3.2.2.3.Fonctionnement du traitement cérébral.....	32
3.3.Dysphasie et troubles du calcul.....	33
3.3.1.Étude de Girard, 1996.....	33
3.3.2.Étude de Camos, Fayol, Lacert, Bardi et Laquière, 1998.....	34
3.3.3.Étude de Vandendorre, 2002.....	34
3.3.4.Étude de Gaillard et Walladino-Braga, 2005.....	35
3.3.5.Etude de Fabrègues, 2012.....	36
3.3.6.Conclusions et discussion autour de ces études.....	36
4.Buts et hypothèses de la présente étude.....	37
Sujets, matériel et méthode.....	39
1.Présentation de la population.....	40
1.1.Groupe 1 : Enfants dysphasiques.....	40
1.1.1.Procédure de recrutement.....	40
1.1.1.1.Lieu.....	40
1.1.1.2.Modalités.....	40
1.1.2.Critères d'exclusion et d'inclusion.....	40
1.1.2.1.Critères d'exclusion.....	40
1.1.2.2.Critères d'inclusion.....	41
1.1.3.Caractéristiques de la population retenue.....	41
1.2.Groupe 2 : Enfants présentant des troubles de la cognition mathématique	41
1.2.1.Procédure de recrutement.....	41
1.2.1.1.Lieu.....	41
1.2.1.2.Modalités.....	42

1.2.2.Critères d'exclusion et d'inclusion.....	42
1.2.2.1.Critères d'exclusion.....	42
1.2.2.2.Critères d'inclusion.....	42
1.2.3.Caractéristiques de la population retenue.....	42
1.3.Groupe 3 : enfants témoins.....	43
1.3.1.Procédure de recrutement.....	43
1.3.1.1.Lieu.....	43
1.3.1.2.Modalités.....	43
1.3.2.Critères d'exclusion et d'inclusion.....	43
1.3.2.1.Critères d'exclusion.....	43
1.3.2.2.Critères d'inclusion.....	43
1.3.3.Caractéristiques de la population retenue.....	43
2.Présentation de la méthode.....	44
2.1.Passation de l'ELO.....	44
2.1.1.Présentation du test.....	44
2.1.2.Objectifs dans le mémoire.....	44
2.1.3.Épreuves sélectionnées.....	44
2.2.Passation du ZAREKI-R.....	45
2.2.1.Présentation du test.....	45
2.2.2.Objectifs dans le mémoire.....	45
2.2.3.Épreuves sélectionnées.....	45
2.3.Conditions générales de passation.....	46
Résultats.....	47
1.Évaluation préalable du niveau de langage oral.....	48
2.Évaluation des compétences de base.....	49
2.1.La chaîne numérique verbale.....	49
2.1.1.« Dénombrement de points ».....	49
2.1.2.« Comptage oral à rebours ».....	50
2.2.Les transcodages.....	50
2.2.1.« Dictée de nombres ».....	50
2.2.2.« Lecture de nombres ».....	51
2.3.La mémoire de travail : « Répétition de chiffres ».....	52
3.Évaluation des représentations du nombre.....	53
3.1.Les représentations quantitatives numériques.....	53
3.1.1.« Comparaison de deux nombres présentés oralement ».....	53
3.1.2.« Comparaison de nombres écrits ».....	53
3.2.Les représentations quantitatives analogiques.....	54
3.2.1.« Positionnement de nombres sur une échelle ».....	54
3.2.2.« Estimation visuelle de quantités ».....	55
3.3.La représentation qualitative : « Estimation qualitative en contexte ».....	56
4.Évaluation d'habiletés supérieures.....	57
4.1.Résolution d'opérations : « Calcul mental oral ».....	57
4.2.Résolution de problèmes : « Résolution de problèmes oraux ».....	57
5.Synthèse des résultats au Zareki-R.....	59
5.1.Synthèse des notes totales de tous les groupes.....	59
5.2.Synthèse des performances des enfants dysphasiques.....	59
Discussion.....	61
1.Rappel des principaux résultats observés.....	62
2.Critiques méthodologiques de l'étude.....	63
2.1.Critiques concernant la population d'étude.....	63
2.2.Critiques concernant l'outil utilisé.....	63
2.3.Critiques concernant les écarts-types de référence.....	64

3. Discussion des principaux résultats.....	65
3.1. Résultats de « haute fiabilité ».....	65
3.1.1. Les domaines intégralement préservés	65
3.1.2. Les domaines intégralement affectés.....	65
3.2. Résultats de « fiabilité moyenne ».....	68
3.2.1. Les domaines majoritairement préservés.....	68
3.2.2. Les domaines majoritairement affectés.....	71
3.3. Résultats de « faible fiabilité ».....	74
4. Place de l'étude et perspectives orthophoniques.....	75
Conclusion.....	76
Bibliographie.....	79
Liste des annexes.....	87
Annexe n°1 : Récapitulatif des écarts-types des notes obtenues à toutes les épreuves du Zareki-R par l'ensemble de la population.....	88
Annexe n°2 : Comparaison des résultats de la présente étude à ceux des études françaises précédentes.....	88
Annexe n°3 : Dictée de nombres – Résultats détaillés.....	88
Annexe n°4 : Lecture de nombres – Résultats détaillés.....	88
Annexe n°5 : Calcul mental oral – Résultats détaillés.....	88
Annexe n°6 : Dénombrement de points – Résultats détaillés.....	88
Annexe n°7 : Comptage oral à rebours – Résultats détaillés.....	88
Annexe n°8 : Estimation visuelle de quantités – Résultats détaillés.....	88
Annexe n°9 : Estimation qualitative en contexte – Résultats détaillés.....	88
Annexe n°10 : Résolution de problèmes oraux – Résultats détaillés.....	88
Annexe n°11 : Répétition de chiffres – Résultats détaillés	88
Annexe n°12 : Comparaison de nombres oraux – Résultats détaillés.....	88
Annexe n°13 : Comparaison de nombres écrits – Résultats détaillés	88
Annexe n°14 : Positionnement de nombres sur une échelle verticale – Résultats détaillés	88

Introduction

L'horloge de la maison, les inscriptions sur le four ou le lave-vaisselle, les publicités sur un magazine ou à la télévision, puis plus tard le compteur de vitesse, l'argent dans le porte-feuille, des horaires de rendez-vous,... Très tôt, l'enfant baigne dans l'univers numérique qui ne le quittera plus. Il devra apprendre à maîtriser les nombres et leur signification pour devenir autonome en toute situation.

Cet aspect du développement des compétences nécessaires à une vie adulte autonome a été l'objet de recherches relativement récentes. Des travaux ont mis en évidence des compétences numériques précoces chez le bébé, et même chez certains animaux (Dehaene, 2010). Ces compétences seraient possibles grâce à ce qui est appelé « le sens du nombre ». Cette intuition numérique donnerait accès à une arithmétique très approximative participant à la survie des espèces. L'évolution a fait que l'homme a développé une compétence supplémentaire grâce à laquelle il a pu organiser ses connaissances en différents systèmes : le langage. Cela lui a ainsi permis de désigner une infinité d'éléments et de développer une arithmétique précise sur laquelle s'est bâtie et fonctionne la société actuelle.

Qu'en est-il alors de ceux à qui le langage fait défaut ? Cette étude s'intéresse aux personnes ayant développé un trouble spécifique du langage oral appelé dysphasie. Bien que peu fréquent (3 à 7%, Schelstraete, 2011), ce trouble est extrêmement handicapant, dès la petite enfance et tout au long de la vie.

De nombreux travaux ont étudié et étudient encore ce trouble complexe. Ses manifestations sont nombreuses et diverses, de même que ses origines ou encore ses conséquences. La plupart des recherches se sont orientées sur les répercussions d'un tel trouble au niveau du langage oral, ou encore du langage écrit. En revanche, très peu nombreuses sont celles qui ont exploré le lien entre dysphasie et cognition mathématique.

L'objectif principal de la présente étude est de préciser quelles sont les composantes de la cognition mathématique qui sont affectées par la dysphasie et quels sont le(s) dysfonctionnement(s) les rendant inopérantes.

Pour y répondre, cinq enfants dysphasiques du CP au CM2 ont été recrutés et évalués. Leurs résultats ont ensuite été comparés à ceux de cinq enfants contrôles

pour déterminer le niveau d'atteinte des compétences, ainsi qu'à ceux de cinq enfants présentant un trouble de la cognition mathématique afin d'établir une comparaison dans le type d'affections observées. Cela dans le but de pointer les aspects spécifiques de la cognition mathématique affectés par la dysphasie.

Une première partie s'attachera à rassembler les données de la littérature scientifique traitant de la cognition mathématique et de ses troubles, de la dysphasie, ainsi que des liens qui ont pu déjà être établis entre le langage et les habiletés numériques. Après avoir présenté la population recrutée dans cette étude et la méthodologie appliquée, il s'agira d'exposer les résultats obtenus par l'ensemble des sujets aux différentes épreuves. S'en suivra alors une discussion autour des principaux résultats relevés et analysés.

Contexte théorique, buts et hypothèses

La présente étude a émergé à partir de travaux menés sur les liens entre le langage et les habiletés numériques.

1. La cognition mathématique et ses troubles

1.1. Approches théoriques

1.1.1. La théorie piagétienne

Les travaux fondateurs portant sur le raisonnement logico-mathématique ont été menés par Piaget au début des années 50 et ont dominé pendant longtemps les recherches en mathématiques. Le nombre serait un concept inconnu pour le nourrisson, qui apprendrait à le construire et à le maîtriser durant son enfance, en passant par différents stades de développement. Or, des études ultérieures ont montré que l'enfant, même très jeune, est déjà sensible au nombre.

1.1.2. La place de la neuropsychologie et de la psychologie cognitive

Dans un premier temps, c'est la neuropsychologie qui a permis de faire progresser les connaissances sur les processus de calcul, et cela chez l'adulte cérébrolésé. Les différentes études menées grâce à l'analyse de cas uniques d'acalculie ont abouti à l'élaboration de trois modèles cognitifs.

1.1.2.1. Le modèle de Mc Closkey, Caramazza et Basili

Le plus ancien, le modèle modulaire de Mc Closkey, Caramazza et Basili (1985), figure 1, suppose que le traitement du nombre passe obligatoirement par la représentation sémantique de la quantité. Cette représentation permet ensuite l'interaction de trois modules (compréhension des nombres, production des nombres et procédures de calcul), qui peuvent être affectés sélectivement.

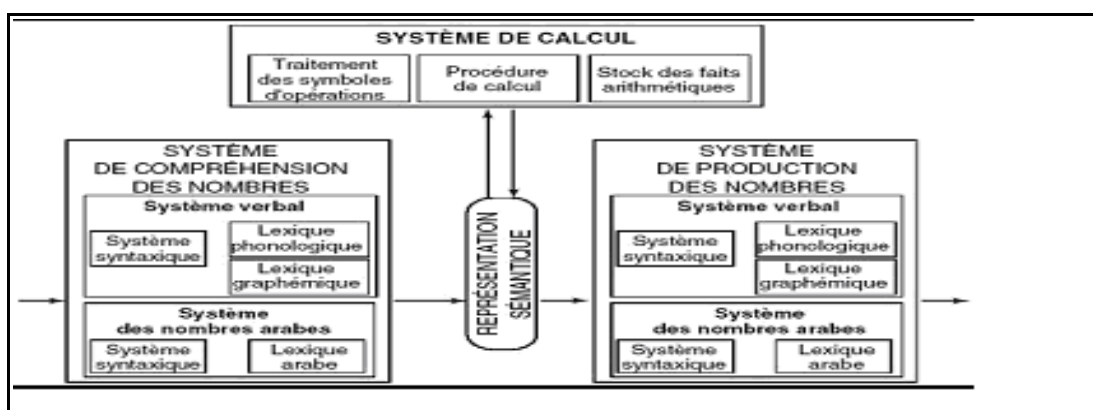


Figure 1 : Modèle modulaire de Mc Closkey, Caramazza et Basili (1985)

1.1.2.2. Le modèle de Deloche et Seron

Le modèle de Deloche & Seron (1987), figure 2, est celui du transcodage asémantique. Il n'exige pas d'élaboration préalable de la représentation de la quantité lors du transcodage et sous-entend que certaines activités de transcodage, régies par un système de règles sous la forme d'entrées et sorties, peuvent être perturbées indépendamment.

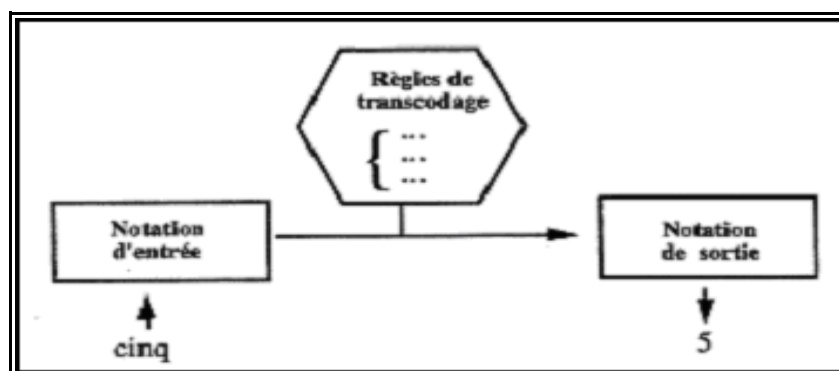


Figure 2 : Modèle asémantique de Deloche et Seron (1987)

1.1.2.3. Le modèle de Dehaene et Cohen

Enfin, le modèle du triple code de Dehaene et Cohen (1995), figure 3, postule la mobilisation de trois systèmes de représentation du nombre (analogique, verbale et arabe), qui sont autonomes mais en interaction permanente. Selon l'activité réalisée, le passage par la représentation sémantique de la quantité n'est pas obligatoire.

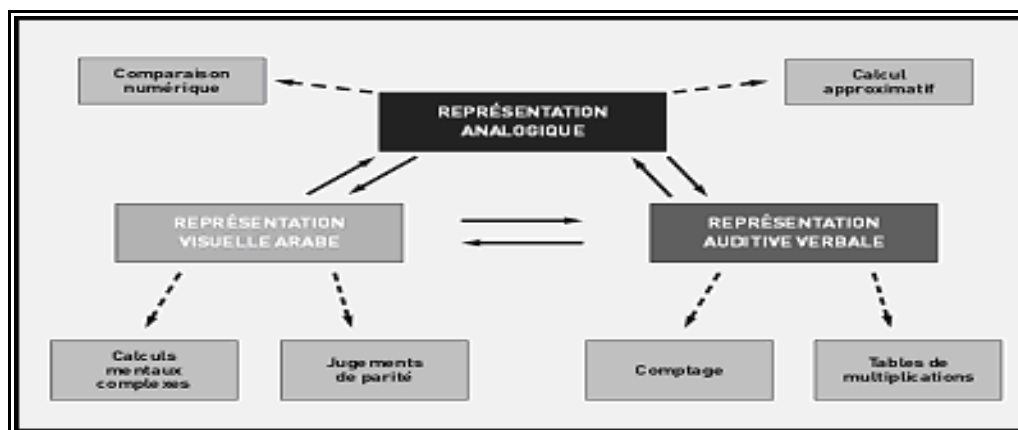


Figure 3 : Modèle du triple code de Dehaene et Cohen (1995)

1.1.2.4. Les apports de l'imagerie cérébrale fonctionnelle

D'autre part, les apports de l'imagerie cérébrale fonctionnelle ont permis récemment de repérer trois principaux réseaux neuronaux, identifiables figure 4, spécifiquement impliqués dans le calcul et d'en déterminer avec plus ou moins de précision leur rôle dans le traitement numérique. Ainsi, le sillon intrapariétal est activé lors du traitement des quantités numériques, le gyrus angulaire gauche lors de la

réalisation de calculs et le cortex pariétal supérieur pour l'aspect visuo-spatial des tâches.

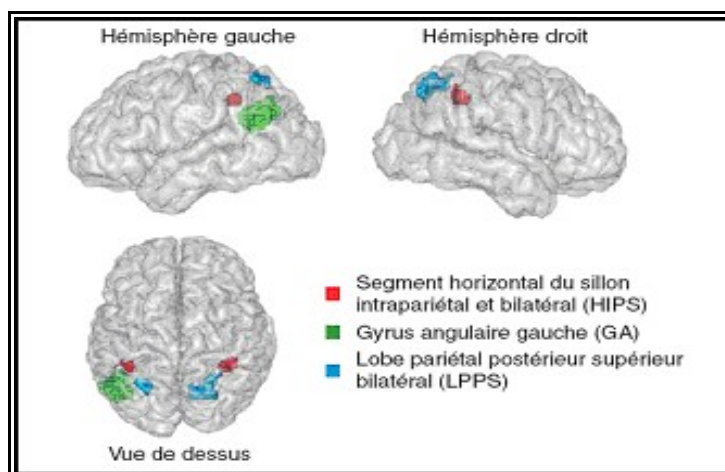


Figure 4 : Principaux réseaux neuronaux impliqués dans le traitement numérique
Dehaene S, Piazza M, Pinel P, Cohen L (2003)

1.2. Les principales acquisitions

1.2.1. Les compétences numériques précoces

Des travaux récents relatifs aux aptitudes numériques menés en neuropsychologie ont mis en évidence plusieurs compétences numériques précoces chez le bébé à partir de 6 mois. En effet, les bébés seraient capables de reconnaître des caractéristiques des quantités, sans compter ni reconnaître les termes ou symboles numériques. Brannon (2002) parle « d'intuition numérique » chez le nourrisson, qui serait indépendante du langage.

Parmi ces compétences numériques précoces, des études ont mis en évidence chez les bébés une forme de sensibilité aux variations de numérosité dès 4-6 mois (Xu et Spelke, 2000) : en effet, les bébés seraient capables de traiter de petites quantités avec précision en fonction de leur taille, en discriminant de petites collections (de 1, 2 ou 3 éléments) et en pouvant appairer deux collections selon leur taille, même si elles sont présentées sur des modalités sensorielles différentes.

D'autre part, Wynn (1992) a montré chez les bébés, dès 5 mois, une capacité à manipuler des ensembles de points afin de réaliser des opérations basiques (de 1 à 3 éléments). Cette capacité est liée à celle qui permet de discriminer le résultat correct d'additions ou soustractions simples, toujours avec de petites quantités.

Ces compétences numériques précoces sont donc en faveur de l'existence d'une représentation analogique des quantités qui précéderait l'apparition du langage.

1.2.2. Les procédures de quantification

Mais de quelles compétences serait alors doté le bébé pour percevoir cette numérosité ? Chez l'adulte, Fayol (1990) a dégagé trois processus de quantification, qui permettent justement de percevoir la numérosité d'un ensemble d'éléments donné : le subitizing, l'estimation globale et le comptage.

1.2.2.1. Le subitizing

Le subitizing est une procédure d'appréhension immédiate des petites numérosités (jusqu'à 3 éléments). Comme les compétences du bébé sont limitées à de petites collections, on suggère qu'il utiliserait initialement le subitizing. Ce processus évolue et s'améliore jusqu'à l'âge de 11 ans où il atteint le même niveau que chez l'adulte (Schleifer et Landerl, 2011).

1.2.2.2. L'estimation globale

L'estimation globale est une appréhension approximative dédiée aux grandes quantités. Même si les enfants sont capables de comparer de grandes quantités de tailles différentes, leurs représentations ne sont pas aussi précises que celles des adultes, elles évoluent avec l'âge (Piazza, 2010). L'imprécision croît linéairement en fonction du nombre estimé : c'est le modèle de la ligne numérique interne. Chez les enfants de 5 et 6 ans, l'intuition arithmétique des quantités approximatives précéderait et sous-tendrait l'apprentissage ultérieur de l'arithmétique symbolique (Gilmore et al., 2007).

1.2.2.3. Le comptage

Enfin, l'accession au processus de comptage marque le passage de la représentation non symbolique du nombre à sa représentation symbolique. Le comptage, ou dénombrement, est une énumération précise d'un ensemble d'éléments, qui serait d'abord une routine acquise par imitation. Les principes fondamentaux du comptage (Gelman et Gallistel, 1978) seraient précocement disponibles mais prendraient du temps à se mettre en place, entre 2 et 8 ans. La réussite de ce processus dépend principalement de la maîtrise de la chaîne numérique verbale, du contrôle du pointage des éléments à dénombrer ainsi que de la soigneuse coordination de ces deux activités. Cette exigence explique l'instabilité des performances pendant l'enfance.

1.2.3. La chaîne numérique

Dans tous les cas, « l'appréhension du nombre reste approximative et limitée à de petites quantités tant que l'enfant n'a pas acquis la chaîne numérique verbale » (Camos, 2004). Dès 2 ans et demi, il semblerait que les enfants sachent déjà que les noms des nombres forment une catégorie à part de mots.

1.2.3.1. La chaîne numérique orale

Cette suite des noms des nombres, appelée chaîne numérique, s'acquiert entre 2 et 6 ans, et passe par une succession d'étapes décrites par Fuson et al. (1982) cités par Fayol (1990), résumées au tableau I. Cette acquisition présente une assez grande variabilité entre les individus. C'est souvent au cours de la première année de primaire (entre 6 et 7 ans) que cette chaîne numérique est définitivement installée. Cette acquisition affine les représentations numériques et permet aussi de les évoquer précisément.

Chapelet	La comptine numérique est une unité indifférenciée
Chaîne insécable	La récitation commence toujours par le début
Chaîne sécable	La récitation peut commencer à n'importe quel endroit
Chaîne bidirectionnelle	La récitation peut se faire à l'endroit/l'envers

Tableau I : Les niveaux d'élaboration de la chaîne numérique, Fuson (1982)

Cependant, le nombre de quantités d'un ensemble étant potentiellement infini, la lexicalisation systématique n'est pas pertinente. Il faut avoir recours à une logique de combinatoire pour produire et comprendre un nombre infini de formulations. Ces règles de combinaison mettent en jeu un lexique fini, ainsi qu'une syntaxe basée sur des relations additives (ex : $22 = 20 + 2$) puis multiplicatives ($80 = 4 \times 20$). En outre, le système français présente des particularités qui complexifient le système : d'une part, la base 10 qui structure le système n'apparaît pas immédiatement lors de la première dizaine (ex : de 11 à 16), et des dénominations particulières (ex : 70 ; 90) ralentissent l'apprentissage de cette chaîne numérique.

1.2.3.2. Les chaînes numériques écrites

D'autre part, une fois que la chaîne numérique orale est acquise et que l'association entre une représentation de la quantité et une représentation verbale est faite, l'enfant apprend à l'écrire, en associant avec précision les symboles verbaux acquis précédemment avec les symboles écrits des nombres (cf. figure 5).

Il y a deux représentations écrites possibles des nombres : l'écriture alphabétique (« en toutes lettres ») et l'écriture arabe (« en chiffres ») :

Dans l'écriture alphabétique, le nom de nombre est traité comme n'importe quel autre mot à déchiffrer et sera identifié comme nombre lorsqu'il sera lexicalisé et renverra l'enfant à son système numérique.

Avec l'écriture arabe, la connaissance du système décimal s'impose à l'enfant dès qu'il dépasse le chiffre 9. Ce système écrit est fondé sur une notation positionnelle, qui implique là encore un apprentissage de règles de construction strictes où chaque nombre est décomposé en puissances de dix. Cette écriture arabe permet d'accéder au calcul écrit, qui offre un gain de temps non négligeable par rapport aux autres codages des nombres.

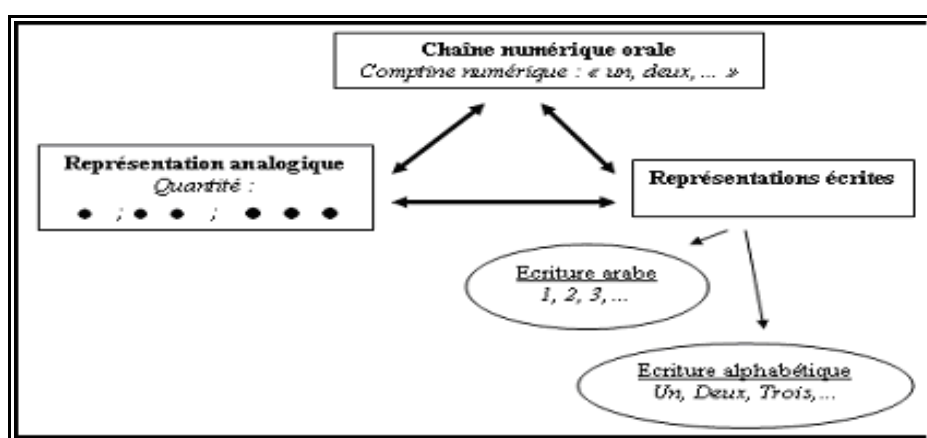


Figure 5 : Les différentes représentations numériques, Dehaene & Cohen (1995)

1.2.3.3. Le transcodage

Enfin, l'enfant doit savoir également réaliser le passage d'une modalité de représentation des nombres à une autre : c'est le transcodage. Il y a trois modalités possibles : orale, écrite (arabe ou verbale) et analogique, et chaque modalité peut être convertie en une autre. L'enfant doit donc, non seulement apprendre les différentes façons d'évoquer un nombre, mais doit aussi être capable de maîtriser le passage d'un code à l'autre. Chez les enfants tout-venants, il apparaît que les erreurs les plus fréquentes sont de type syntaxique, c'est-à-dire liées à une instabilité dans l'acquisition du système positionnel, mais leur nombre diminue avec l'âge (Vandenborre, 2002).

1.2.4. Les opérations arithmétiques

1.2.4.1. Les types de connaissances mobilisées

Pour permettre la résolution des quatre types d'opérations, Fayol (2008) dégage trois types de connaissances arithmétiques :

- Des connaissances conceptuelles, relatives aux opérations et aux principes.
- Des connaissances procédurales sous la forme d’algorithmes, du comptage et des routines généralisables.
- Des connaissances déclaratives qui encodent des connaissances spécifiques, associant par exemple opérandes et résultats.

Ainsi, selon le type d’opération auquel il sera confronté, le sujet fera appel à un certain type de connaissances :

° Face à une addition, il mobilisera ses connaissances déclaratives (récupération en mémoire) ou ses connaissances procédurales (le comptage).

° Pour une soustraction, il pourra utiliser ses connaissances déclaratives, mais le plus souvent mettra en pratique ses connaissances procédurales (le comptage à rebours).

° S’il faut réaliser une multiplication, il fera d’abord appel à ses connaissances déclaratives (mémorisation des tables de multiplication), et si elles ne sont pas accessibles, il pourra alors mobiliser des procédures diverses (grâce à des algorithmes de calcul).

° Dans le cas d’une division, le sujet fera appel à ses connaissances procédurales, qui s’appuient elles-mêmes sur les connaissances déclaratives activées lors d’une multiplication.

1.2.4.2. Entre procédures et récupération en mémoire

En effet, il découle de différentes observations que les enfants évoluent généralement d’une résolution sur une base procédurale (ex : comptage) à une résolution sur une base déclarative (récupération du résultat en mémoire à long terme). Ce passage progressif se produit majoritairement lors du CE2 (Vandenborre, 2002). En effet, la pratique des calculs induit un passage de l’utilisation d’une procédure lente et coûteuse à la récupération en mémoire, rapide et peu coûteuse : c’est une forme d’automatisation progressive de la résolution d’additions et de soustractions, tandis que dans le cas de la multiplication, la récupération en mémoire à long terme domine d’entrée.

Cependant, le caractère procédural des faits arithmétiques semble rester une base solide à laquelle l’enfant se réfère toujours lorsqu’il est en difficulté (Fayol, 2008). En effet, alors que les connaissances déclaratives (certes plus rapides à mettre en œuvre) encodent des contenus spécifiques qui ne peuvent être activés que par ces mêmes contenus, les connaissances procédurales sont des règles de

production générales, abstraites et activées seulement par un but à atteindre. Ces connaissances procédurales sont donc moins dépendantes des interférences entre les items et constituent en cela un recours fiable en cas de faiblesse des connaissances déclaratives.

1.2.4.3. La place de la mémoire

Enfin, la place de la mémoire, et tout particulièrement de la mémoire de travail, fait l'objet de nombreuses études dans le domaine de la cognition mathématique. Alors que les connaissances déclaratives relèvent de la mémoire à long terme, la mémoire de travail serait davantage mobilisée dans les algorithmes de calcul. Plus particulièrement, elle interviendrait pour dérouler la chaîne numérique verbale et contrôler les pas de comptages (Noël, 2005a).

Un grand nombre de difficultés en mathématiques pourrait donc résulter d'une faiblesse de la mémoire de travail, conduisant à des stratégies immatures et incertaines de résolution. En revanche, la récupération en mémoire n'est pas systématiquement activée et d'autres procédures sont mobilisées, notamment pour les opérations plus difficiles (Lefèvre et al., 1996).

1.2.5. La résolution de problèmes

Fayol (1990) décrit quatre grands ensembles de problèmes : ceux de type changement, ceux de type combinaison, ceux de type comparaison et ceux de type égalisation. En fonction de ce que l'on recherche dans chaque type de problèmes, des procédures de résolution seront mises en place et entraînées.

Cependant, face à une situation de problème mathématique, plusieurs processus cognitifs sont mobilisés. Par exemple, certains travaux ont montré qu'un grand nombre de difficultés rencontrées lors de la résolution de problème sont dues à une mauvaise compréhension de la situation décrite (De Corte et Verschaffel, 2008). Or, cette compréhension est fondamentale pour se construire une représentation correcte de la situation et rendre explicite les relations sémantiques.

De plus, cette tâche nécessite une application juste d'algorithmes de calcul, sous-tendus par de bonnes compétences et performances procédurales, ainsi qu'une rapide et efficace récupération des faits arithmétiques en mémoire à long terme pour ce qui relève des connaissances déclaratives (Mazzocco, 2009).

Enfin, le raisonnement sous-jacent est déterminant dans la résolution de problèmes, grandement dépendant de notions logiques grâce auxquelles le nombre

va prendre un sens. En effet, sans ce raisonnement, l'enfant appliquerait des calculs sans réfléchir à ce qu'il fait concrètement (Vandenborre, 2002).

1.3. Les troubles de la cognition mathématique

1.3.1. Les apports de la neuropsychologie et de l'imagerie chez l'enfant

Dans la mesure où un enfant est doté d'un cerveau en développement, un constat évident apparaît (et qui n'est pas propre au domaine des mathématiques) : on ne peut pas adapter une batterie de tests réservée aux adultes à des enfants. A partir du moment où les chercheurs ont commencé à s'intéresser aux troubles de la cognition mathématique chez l'enfant, il leur a donc fallu mettre en place des modèles de traitement différents de ceux des adultes pour tenter de proposer une explication au fonctionnement cérébral et aux troubles de ce fonctionnement.

1.3.1.1. Le modèle ADAPT

A ce sujet, le modèle ADAPT, modélisé figure 6, a été proposé pour rendre compte justement de ces évolutions développementales (Barrouillet et al., 2004). Il s'agit d'un modèle de transcodage développemental asémantique et procédural, directement inspiré du modèle pour adulte de Deloche et Seron (1987) . Ainsi, l'enfant découvrirait de nouvelles règles de transcodage par analogie et d'autres seraient abandonnées car devenues obsolètes. Dans tous les cas, il semblerait que le transcodage exige la maîtrise des codes d'entrée et de sortie, mais que les difficultés relèvent davantage d'erreurs commises dans le code arabe (Noël, 2005b).

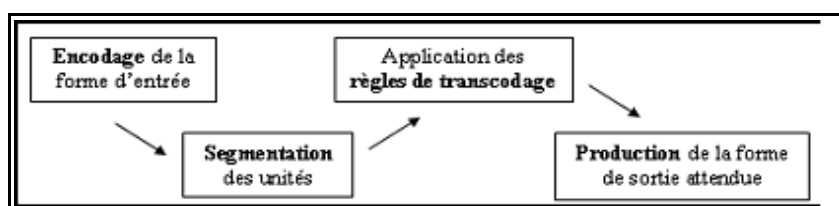


Figure 6 : Modélisation du processus de transcodage chez l'enfant, Barrouillet et al. (2004)

1.3.1.2. Les apports de la neuro-imagerie chez l'enfant

De plus, les études en neuro-imagerie chez l'enfant ont permis de connaître l'évolution des mécanismes cérébraux impliqués dans une tâche mathématique au cours du développement de l'enfant. Rivera et al. (2005) insistent sur ce qui pourrait être une transition de l'activation cérébrale depuis le cortex préfrontal (de moins en moins engagé) vers le cortex pariétal (de plus en plus engagé) au cours du développement (cf figure 7). L'activation croissante du cortex pariétal semble traduire un processus de spécialisation neuronale liée au développement (Ansari, 2009).

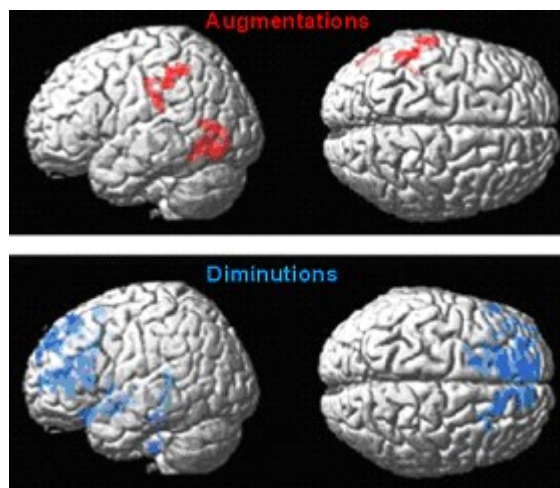


Figure 7 : Déplacement de l'activation cérébrale au cours du développement, Rivera et al (2005)

Or, les enfants atteints de dyscalculie développementale semblent présenter une activation cérébrale plus faible et plus diffuse au niveau du sillon intrapariétal (Cohen Kadosh, 2009). De plus, une réduction du volume de matière grise dans le cortex pariétal ainsi que dans les régions frontales semble caractéristique (Rotzer et al., 2007). Ainsi, la dyscalculie développementale serait associée à la fois à une structure et à un fonctionnement atypiques du sillon intrapariétal. Ce dysfonctionnement pariétal, potentiellement à l'origine de ce trouble, entraînerait un « trouble primaire de la perception des nombres » (Molko et al., 2005). Actuellement les études en imagerie fonctionnelle semblent confirmer cette hypothèse.

1.3.2. La dyscalculie développementale

1.3.2.1. Définition et critères diagnostiques

Selon le DSM IV, la dyscalculie est donc un trouble spécifique du développement de la cognition mathématique, caractérisé par une difficulté à apprendre et à se souvenir des faits arithmétiques. Elle se manifeste aussi par des difficultés de maîtrise des procédures arithmétiques (ex : stratégies de comptage).

Sa prévalence varie de 1 à 6,5% selon les années et les lieux d'étude (Fischer, 2009), cet écart étant probablement dû à la variation des critères diagnostiques selon les études.

Jusqu'au début des années 90, la dyscalculie était un trouble de l'apprentissage relativement méconnu, du fait que les capacités mathématiques étaient très intrinsèquement reliées au niveau d'intelligence.

Aucun consensus ne s'est vraiment dégagé au sujet des critères diagnostiques, si ce n'est un retard d'au moins 2 ans par rapport au niveau scolaire et le fait que les troubles ne puissent s'expliquer par un manque d'intelligence, des troubles

sensoriels, une scolarité inappropriée ou un manque de motivation : ce sont les critères du DSM IV.

1.3.2.2. Hypothèses causales

Le plus souvent, aucune cause n'est trouvée.

Une des hypothèses explicatives avancées est que, sous l'influence de facteurs génétiques et environnementaux, il existerait une anomalie dans le développement de réseaux neuronaux en charge de la perception des nombres (Molko et al., 2004). Cette hypothèse s'appuie sur le fait que de nombreux symptômes de la dyscalculie développementale sont identiques à ceux de l'acalculie acquise. Cela suggérerait que le développement anormal du lobe pariétal pourrait être une origine possible de la dyscalculie développementale.

D'autre part, des études longitudinales menées par Shalev (2004) conduisent à l'hypothèse d'une origine familiale de la dyscalculie, renforcée par des carences environnementales importantes.

Enfin, même si de potentiels gènes de la dyscalculie n'ont pas encore été découverts, le cas de jumeaux dyscalculiques n'est pas rare, ce qui sous-tend un fondement génétique (Cohen Kadosh, 2009).

1.3.2.3. Facteurs prédictifs du trouble

Cependant, même si les origines de la dyscalculie sont encore inconnues, certains facteurs prédictifs du trouble ont pu être mis en évidence.

Parmi les facteurs cognitifs généraux, des troubles mnésiques sont décelables, notamment par des tâches évaluant le calepin visuo-spatial (Mc Lean et Hitch, 1999) et l'administrateur central (Passolunghi et Siegel, 2004). Des difficultés d'inhibition et de flexibilité ont également été relevées par un degré réduit d'inférence au test de Stroop et des difficultés à abandonner un critère de classification précédemment récompensé pour un autre (Bull et Scerif, 2001).

Mais certains facteurs spécifiquement numériques ont été également mis en évidence et ont une forte valeur prédictive. Tout d'abord, on reconnaît au subitizing affecté une valeur prédictive en matière de difficultés (Lafay et al., 2013). Les performances en mathématiques chez les enfants de 6 et 7 ans sont fortement liées à leurs performances de subitizing à 5 et 6 ans (Lemke et Foegen, 2009). En ce sens, il apparaît important d'accorder une place à l'évaluation des compétences pré-numériques, déterminantes dans l'évolution ultérieure. Concernant les procédures de

comptage, celles des enfants dyscalculiques sont plus lentes et plus pauvres (Landerl et al., 2004). Cela témoigne de principalement deux facteurs prédictifs de dyscalculie : l'identification de chiffres arabes et le jugement de quantités (Mazzocco et Thompson, 2005). En effet, la performance en comparaison de nombres arabes est prédictive des performances mathématiques (De Smedt et al., 2009). De plus, les enfants dyscalculiques ont des difficultés pour reconnaître et comparer les nombres, ainsi que pour compter et énumérer (Jordan, 2010).

1.3.3. Les classifications

Comme dans la plupart des troubles spécifiques des apprentissages, de nombreuses classifications ont été proposées dans le cadre de la dyscalculie. Les deux classifications les plus fréquemment utilisées actuellement sont celle de Temple et celle de Von Aster.

1.3.3.1. La classification de Temple

D'une part, le modèle modulaire de Mc Closkey et al. (1985) a conduit Temple (1992) à proposer trois grandes formes de dyscalculie :

- La dyscalculie de traitement numérique, qui affecte principalement le module « compréhension des nombres ».
- La dyscalculie des faits arithmétiques, qui touche le module « production des nombres ».
- La dyscalculie procédurale, qui concerne le module « procédures de calcul ».

1.3.3.2. La classification de Von Aster

D'autre part, le modèle du triple code de Dehaene et Cohen (1995) a conduit Von Aster (2000) à proposer une autre classification des dyscalculies :

- La dyscalculie générale, qui affecte le code analogique.
- La dyscalculie verbale, qui touche le code verbal
- La dyscalculie de type arabe, qui concerne le code arabe.

1.3.4. Les troubles fréquemment associés

La dyscalculie est un trouble rarement isolé : cela concerne seulement 3-4% de la population dyscalculique (Van Hout, 2001). Elle est souvent associée à d'autres troubles plus ou moins marqués.

Il arrive que certains enfants présentent une dyscalculie ainsi qu'une dysphasie (c'est un sujet qui sera traité ultérieurement). Les estimations de comorbidité entre dyscalculie et dyslexie varient entre 17 et 64% (Badian, 1999).

L'association des troubles du calcul avec des troubles spatiaux et moteurs tels ceux présents dans la dyspraxie est assez courante et il semble qu'elle affecte davantage les garçons (Lemonnier, 2010).

Les troubles de l'attention et l'hyperactivité sont estimés entre 15 et 26% chez les enfants dyscalculiques également (Lindsay et al., 2001).

Enfin, la dyscalculie peut être associée à des troubles génétiques parmi lesquels le syndrome de Turner et le syndrome de Williams (Ansari et Karmiloff-Smith, 2002) ou à des troubles foëtaux comme le syndrome d'alcoolisme foëtal (Isaacs et al., 2001).

2. La dysphasie

2.1. Définitions

2.1.1. Un trouble développemental complexe

2.1.1.1. Une dynamique hétérogène

La dysphasie fait partie des troubles spécifiques du langage oral et le DSM IV parle de « Specific Language Impairment » (SLI). Il s'agit d'un trouble développemental qui affecte l'élaboration du langage oral et entraîne d'importants déficits de l'expression et/ou de la compréhension orales. La prévalence de la dysphasie est estimée de 3 à 7% (Schelstraete, 2011), selon les critères sélectionnés et l'âge auquel le diagnostic est posé (distinction avec les retards de parole et de langage). Ce trouble est qualifié de spécifique, sévère et durable, ayant un impact considérable sur le développement de l'enfant. Cependant, du fait de la complexité des manifestations de ce trouble sur la dynamique développementale de l'enfant, les dernières études tendent à remettre en cause, de plus en plus fréquemment, la recevabilité de ces critères (Leclercq et Leroy, 2012).

2.1.1.2. Un trouble spécifique

En effet, ces trois critères (spécificité, sévérité et persistance) donnent lieu à de nombreux débats. On entend par « spécificité » que, hormis des performances langagières inférieures à ce qui attendu à un âge ou un niveau scolaire donné, aucune explication au trouble n'est trouvée. Or, la pratique clinique fait que cette notion de spécificité soulève une problématique de terrain : l'ensemble des critères d'exclusion tels qu'ils sont proposés par Rapin (1996) et résumés tableau II ne sont pas toujours réunis, alors que les caractéristiques de la dysphasie sont présentes.

Absence de déficit mental (QIP \leq 85)
Absence de déficit sensoriel (ex : surdité, c�citt�)
Absence de déficit moteur (ex : apraxie)
Absence de malformation des organes phonatoires
Absence de lésion cérébrale acquise (ex : traumatismes crâniens)
Absence de déficit social primaire (ex : troubles envahissants du développement)
Absence de carences environnementales sévères (affectives ou éducatives)

Tableau II : Critères d'exclusion d'un trouble spécifique du langage oral, Rapin (1996)

Le développement cognitif étant très dynamique, il paraît difficile d'examiner le langage en faisant abstraction de son interaction avec les autres grands domaines cognitifs (Leclercq et Leroy, 2012).

2.1.1.3. Un trouble sévère

Le critère de « sévérité » alimente également le débat, dans la mesure où, il n'est pas toujours basé sur les mêmes caractéristiques d'une étude à l'autre. Par exemple, en Belgique, l'enfant doit se situer sous le percentile 3 à trois niveaux langagiers différents, alors qu'en Angleterre, il ne suffit que de deux niveaux langagiers inférieurs à ce même percentile 3 (Leclercq et Leroy, 2012).

2.1.1.4. Un trouble persistant

Enfin, le critère de « persistance » est le critère qui permet de faire le diagnostic différentiel avec un retard de langage. Ce critère sous-tend donc l'idée qu'il faille attendre environ 5 ans avant de poser le diagnostic de dysphasie (Schelstraete, 2011). Cependant, le profil langagier évolue dans le temps (puisqu'il s'agit d'une pathologie développementale). De fait, les profils linguistiques se diversifient et peuvent donner lieu à des erreurs diagnostiques (Leclercq et Leroy, 2012).

2.1.1.5. Principaux indicateurs avant 5 ans

Néanmoins, certains indicateurs de sévérité et de persistance sont décelables avant 5 ans (cf. tableau III) et leurs répercussions plus ou moins rapides et visibles sur les apprentissages scolaires sont des témoins de ce type de trouble.

DOMAINES AFFECTÉS	MANIFESTATIONS VISIBLES EN CLASSE/ A LA MAISON	
Troubles de la compréhension	- Difficultés à suivre des consignes expliquées à la classe - Besoin d'explications individuelles - Comportement d'opposition/de passivité	MC CABE, 2005
Erreurs phonologiques	- Enfant peu/pas intelligible - Répétition laborieuse de logatomes longs	DODD, 2005 GATHERCOLE, 2006
Troubles morphologiques	- Langage télégraphique - Verbes non conjugués ou auxiliaires absents	PARISSE, MAILLART, 2004
Troubles praxiques	- Mobilisation volontaire de la motricité bucco-linguo-faciale	HILL, 2001

Tableau III : Principaux indicateurs de risque avant 5 ans

2.1.2. Difficultés diagnostiques

2.1.2.1. De la prudence dans la démarche

Dès lors que les critères ne sont alors plus considérés comme entièrement fiables pour l'ensemble de la population, les difficultés diagnostiques deviennent très importantes. De plus, les différences interindividuelles dans les rythmes de développement du langage et dans les manifestations font que, d'une manière

générale, le diagnostic sera posé après 3-4 ans (mais dans la pratique, plutôt aux alentours de 5-6 ans) (Schelstraete, 2011).

2.1.2.2. Trouble primaire/Trouble secondaire ?

Poser le diagnostic de dysphasie implique préalablement une démarche clinique rigoureuse. Dans un premier temps, il faut essayer de régler la question de la spécificité ou non du trouble du langage oral. Peut-on dresser un tableau clinique centré sur ce défaut d'acquisition du langage oral, ou le trouble relève-t-il davantage d'un tableau clinique plus général ? C'est la question de la notion de trouble primaire versus trouble secondaire du langage oral.

2.1.2.3. Retard de parole ou de langage/Dysphasie ?

Dans un second temps, sommes-nous face à un retard de parole, de langage ou une dysphasie ? C'est à ce moment de la démarche diagnostique qu'entrent en jeu les critères de sévérité et de persistance. Le retard de parole ou de langage se distinguera principalement de la dysphasie en termes de délai de récupération, alors que la dysphasie se manifestera par un profil de déviance (Gérard, 1993) dont les six marqueurs de déviance, tableau IV, constituent des indices alertants des plus importants.

Troubles de la compréhension verbale
Hypospontanéité
Troubles de l'évocation lexicale
Troubles d'encodage syntaxique
Troubles de l'informativité
Dissociation automatico-volontaire

Tableau IV : Marqueurs de déviance, Gérard (1993)

Le clinicien se trouve alors dans une démarche diagnostique rigoureuse double, à laquelle s'ajoute la complexité du tableau clinique de la dysphasie.

2.1.3. Retentissements sur la communication et les apprentissages

Ce trouble spécifique du langage oral affecte donc considérablement la communication. Par conséquent, les troubles de la communication sont dits secondaires au problème langagier initial.

La plupart du temps, l'enfant dysphasique s'exprimera peu et sera plutôt passif dans la conversation. De plus, ses prises de parole seront peu appropriées à la situation ou complètement décalées avec le sujet (Schelstraete, 2011).

2.2. Les formes cliniques

2.2.1. Sémiologie des troubles possibles

La complexité de la dysphasie se voit renforcée également par la variété de ses manifestations possibles (cf. figure 8). Il peut arriver qu'un sujet présente l'ensemble de ces difficultés, ou seulement une partie, et cela, de façon plus ou moins marquée. Ces manifestations peuvent être imputables à différents déficits :

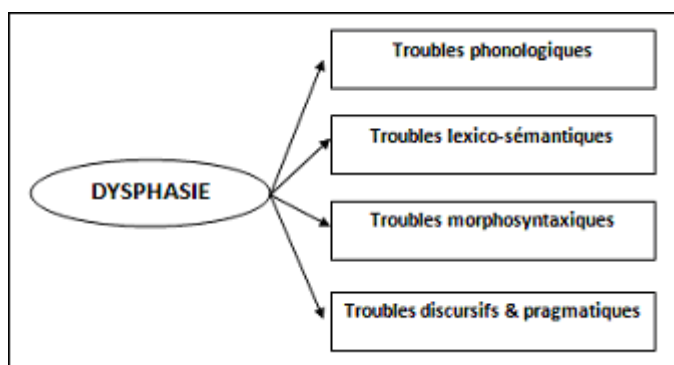


Figure 8 : Sémiologie possible de la dysphasie, Leclercq et Leroy (2012)

2.2.1.1. Les troubles phonologiques et articulatoires

Ces troubles se manifestent par une acquisition des phonèmes, d'une part lente et retardée, et d'autre part atypique dans sa mise en place. De fait, la parole est difficilement intelligible et la communication s'en trouve pénalisée. Une des hypothèses explicatives de ce trouble est que les enfants dysphasiques présenteraient un déficit de la discrimination acoustique des sons de fréquences différentes (Bishop, 2004).

Leurs représentations phonologiques seraient donc instables du fait d'un trouble de la perception catégorielle des phonèmes compromettant le stockage de ces représentations en mémoire à long terme. Ces difficultés sont particulièrement visibles, outre en situation de parole spontanée, dans les épreuves de conscience phonologique (Briscoe et al., 2001) et de répétition de mots et de pseudo-mots (Bishop et al., 1996) qui sont déficitaires.

2.2.1.2. Les troubles du lexique et de la sémantique

Conjointement au trouble phonologique, ce sont les troubles le plus précocement visibles et qui constituent en cela des signes inquiétants. Malgré les importantes différences interindividuelles, ces troubles se manifestent principalement par une apparition retardée des premiers mots (de paire avec un retard de

compréhension des mots) et une faiblesse des représentations lexicales par rapport aux enfants du même âge (Leclercq et Leroy, 2012).

De plus, les troubles sémantiques parallèles se traduisent par l'emploi, pas toujours adéquat, de termes génériques. Une des hypothèses explicatives de ces troubles est celle d'un déficit du processus de fast-mapping (processus qui amorce l'acquisition lexicale d'un mot dès la première exposition à ce mot) : l'acquisition lexicale est donc plus lente et plus laborieuse pour les enfants dysphasiques (Weismer et Evans, 2002).

2.2.1.3. Les troubles morphosyntaxiques

La morphosyntaxe est également un domaine du langage très affecté par la dysphasie.

D'une part, en ce qui concerne la production morphosyntaxique, les enfants dysphasiques présentent une acquisition retardée (retard supérieur à 2 ans) des principales tournures (Hamann et al., 2003) et des difficultés spécifiques lors de leur utilisation (Grigo et Paradis, 2003). De fait, ils font preuve d'une plus grande rigidité d'utilisation et manifestent d'importantes difficultés pour alterner ces structures (Leclercq et Leroy, 2012).

D'autre part et consécutivement, en ce qui concerne la compréhension, les enfants dysphasiques se trouvent en difficulté pour comprendre les structures qu'ils n'utilisent pas eux-mêmes.

2.2.1.4. Les troubles pragmatiques et discursifs

Du fait des troubles déjà importants sur le plan concret du langage, les enfants dysphasiques vont présenter des difficultés encore plus marquées pour ce qui relève de l'abstrait (comme les inférences, l'humour, l'ironie,...).

De plus, en raison de toutes leurs erreurs de production et de compréhension, ces enfants manifesteront peu d'initiative à la communication et auront des difficultés pour respecter les régies de l'échange (tour de parole, prise en compte de l'interlocuteur,...) (Schelstraete, 2011).

Ces enfants se mobilisent tellement pour produire une forme verbale correcte, que le sens de leurs propos et, d'une manière générale, l'ensemble de la situation de communication sont portés au second plan.

2.2.2. Les classifications

2.2.2.1. La classification du DSM IV

De nombreuses classifications ont été élaborées pour qualifier les différentes formes de dysphasie que l'on rencontre dans la pratique clinique.

La classification internationale du DSM IV propose de retenir trois principales formes de dysphasie selon le(s) versant(s) affecté(s) :

- Les dysphasies expressives : affection du versant « production »
- Les dysphasies réceptives : affection du versant « compréhension »
- Les dysphasies mixtes : affection des deux versants

2.2.2.2. La classification de Gérard

Cependant, une autre classification est très fréquemment reprise dans les différentes études consultées : celle de Gérard (1993). Il y décrit cinq formes de dysphasie, qui reposeraient sur des déficits structurels distincts :

- Le syndrome phonologico-syntaxique
- Les troubles de la production phonologique
- Les dysphasies réceptives
- Les dysphasies lexico-sémantiques
- La dysphasie sémantico-pragmatique

2.2.2.3. Intérêt des classifications ?

Néanmoins, des données récentes tendent à remettre en cause la pertinence de l'usage de ces classifications très rigides, compte-tenu de la dynamique observée dans les pathologies développementales. Par exemple, Botting et Conti-Ramsden (2004) montrent que 45% des enfants dysphasiques changeraient de sous-groupe entre 7 et 8 ans. De fait, l'utilisation de ces sous-types risquerait de figer le profil de l'enfant à un instant T et donc de masquer des difficultés plus subtiles ou émergeant plus tardivement (Leclercq et Leroy, 2012).

Ainsi, l'établissement d'un profil langagier précis, pensé et étudié avec l'idée d'évolutivité développementale pourrait permettre une meilleure perception du trouble et donc des prises en charge plus adaptées aux besoins spécifiques de l'enfant.

2.3. Troubles fréquemment associés

La présence fréquente de troubles associés au trouble spécifique du langage oral a tendance, rappelons-le, à remettre en question la notion de spécificité. Par exemple, une importante cooccurrence chez un même sujet de troubles langagiers, attentionnels et moteurs a été relevée (Campbell et Sharakis-Doyle, 2007). En effet, une série de difficultés non langagières ont été mises en évidence comme étant des comorbidités du trouble spécifique de langage : 40 à 90% des enfants dysphasiques présenteraient des critères de dyspraxie (Hill, 2001) et 20 à 40% des symptômes d'inattention et/ou d'hyperactivité (Oram Cardy et al., 2010).

D'autre part, la notion de QI soulève aussi de nombreuses questions. En effet, la pose du diagnostic de dysphasie implique un QIP supérieur à 85 et un écart élevé entre QIV et QIP. Or, rien n'empêche un enfant au QIP faible de présenter un trouble spécifique du langage oral (Fey et al., 1994). De plus, l'évolution du QI des enfants dysphasiques diffère de celle des enfants sans troubles du langage (Leclercq et Leroy, 2012), puisque par exemple, il a été montré que le QIP d'un enfant dysphasique diminue avec l'âge (Botting, 2005).

Enfin, de nombreuses études montrent que les enfants dysphasiques ont un risque plus important de présenter des difficultés lors de l'entrée dans l'écrit (Schelstraete, 2012), notamment au niveau de l'acquisition des correspondances graphèmes-phonèmes et de la construction des représentations orthographiques (Zesiger, 2010). L'ensemble de ces troubles potentiellement associés à la dysphasie rendent donc encore plus difficile la pose du diagnostic et complexifient les prises en charge.

2.4. Approches théoriques

Leclercq et Leroy (2012) rassemblent les différentes théories explicatives de l'origine de la dysphasie en deux principales catégories : les théories linguistiques et les théories en termes de traitements cognitifs.

2.4.1. Théories linguistiques

Selon ces théories linguistiques, la dysphasie serait la conséquence d'un déficit de la connaissance linguistique, dû soit à un délai de maturation trop important soit à

des représentations langagières déficitaires. Ces études se basent majoritairement sur les difficultés morphosyntaxiques repérées chez les enfants dysphasiques.

Les plus récentes sont d'abord celles de Van Der Lely (2005) qui soutient que les enfants dysphasiques ne parviennent pas à réaliser l'analyse hiérarchique des structures syntaxiques, morphologiques et phonologiques, et donc à établir les bonnes relations entre les différents mots de la phrase.

Dans la même idée, Friedmann et Novogrodsky (2009) avancent l'idée que les difficultés rencontrées chez les enfants dysphasiques proviennent d'une incapacité à assigner correctement des rôles thématiques aux mots pris dans des structures non canoniques : en effet, les sujets dysphasiques attribueraient les rôles thématiques de manière linéaire.

Enfin, Ullman et Pierpont (2005) proposent l'hypothèse d'un trouble du langage procédural, lié au développement anormal des structures cérébrales en charge de la mémoire procédurale. En effet, cette hypothèse repose sur des études ayant montré des difficultés chez les patients dysphasiques dans l'apprentissage de séquences (Lum et al., 2010).

Cependant, ces théories linguistiques ne permettent pas d'expliquer l'ensemble des difficultés rencontrées chez les sujets dysphasiques.

2.4.2. Théories cognitives

Les théories en termes de traitements cognitifs proposent quant à elles d'expliquer les troubles observés par un déficit des traitements cognitifs, spécifiques au domaine langagier ou plus généraux.

En effet, les troubles spécifiquement linguistiques pourraient s'expliquer par un déficit des traitements cognitifs linguistiques en amont. Ainsi, l'hypothèse d'un trouble de la perception auditive est défendue par Tallal (2000) qui met en évidence des troubles de la perception catégorielle de la parole, ainsi que par Mc Arthur et Bishop (2005) qui relie le déficit de traitement auditif à une organisation neuronale atypique. D'autre part, Chiat (2001) avance l'hypothèse de troubles issus d'un déficit dans les traitements phonologiques qui consistent à associer une forme linguistique à un sens grâce aux caractéristiques rythmiques et segmentales de la parole. Cependant, ces théories en termes de troubles du traitement cognitif spécifiquement impliqué dans le traitement linguistique ne permettent pas de rendre compte des difficultés non langagières des sujets dysphasiques.

De fait, cela a conduit à la recherche d'un déficit des traitements plus généraux, et donc non spécifiquement linguistiques. Dans cette perspective, le développement du langage serait dépendant de capacités cognitives générales qui, lorsqu'elles seraient atteintes, limiteraient la capacité à traiter des informations linguistiques. Ce déficit des capacités cognitives générales peut, par exemple, se manifester par des problèmes d'inhibition (Bishop, 2004), d'attention ou de mémoire de travail (Noël, 2005a).

Cette théorie est davantage compatible avec la présence de troubles associés au trouble spécifique du langage. Néanmoins, il n'existe à l'heure actuelle aucun consensus caractérisant avec précision le processus déficitaire à l'origine de la limitation des différentes capacités de traitement.

3. Langage et habiletés numériques dans la littérature

La question du lien entre les capacités langagières et les capacités mathématiques alimente le débat depuis de nombreuses années déjà, mais n'a toujours pas abouti à un réel consensus.

3.1. La place du langage dans la cognition mathématique

Au cœur de ce débat, trois théories principales se font face : la plus ancienne postule que le langage précède et domine le développement de toutes les autres capacités cognitives propres à l'homme. Une autre théorie, d'orientation principalement neuropsychologique, distingue le développement de ce qu'elle appelle « le sens du nombre » des autres facultés cognitives. Enfin, une dernière théorie se situe au croisement des deux premières puisqu'elle soutient que la construction de la cognition mathématique requiert une interaction permanente entre langage et sens du nombre.

3.1.1. Les partisans de la suprématie langagière

Certains auteurs soutiennent que le langage est la base fondamentale sur laquelle le concept de nombre peut et va se construire.

Cette conviction repose sur l'idée avancée par Chomsky (1965) selon laquelle la faculté de langage repose sur le principe de récursivité de la syntaxe, soit la capacité à produire un nombre infini d'expressions à partir d'un nombre fini d'éléments. Cette faculté serait innée chez l'être humain et serait également la base de la construction des mathématiques.

De même, Hurford (1987) avançait également l'idée que, compte-tenu de la supervision du langage sur les autres capacités cognitives, il n'était pas pertinent d'envisager un modèle autonome propre au nombre. De plus, Dessalles (2000) avait également insisté sur la fonction argumentative du langage, qui impliquerait l'utilisation d'une syntaxe élaborée pour s'assurer d'une compréhension précise des propos des interlocuteurs. Dans ce cadre, les mathématiques étaient alors considérées comme le produit de ce traitement syntaxique élaboré.

Ainsi, Hauser et al. (2002) ont généralisé le principe de récursivité de la syntaxe à l'ensemble de nos fonctionnements cognitifs et soutenaient donc notamment que la construction du nombre dépendait de ce même principe.

Cependant, cette théorie semble faire l'impasse sur la relation existant entre les mathématiques, considérées alors comme une élaboration syntaxique abstraite, et la représentation que l'on a des quantités, représentation indépendante du langage...

3.1.2. Les partisans du « sens du nombre »

A l'opposé de la théorie précédente, se trouve celle qui défend l'idée que le langage n'a aucune incidence sur le développement des facultés numériques : c'est l'indépendance du « sens des nombres » (Dantzig, 1967).

Concrètement, les auteurs de ce parti considèrent que l'origine des concepts numériques est non verbale et que ces concepts sont présents avant que le sujet ne fasse le lien entre les quantités et le langage (Gelman et Butterworth, 2005). Cette hypothèse se voit d'ailleurs confirmée par la mise en lumière des connaissances proto-numériques chez le nourrisson, qui serait alors doté d'une sensibilité numérique innée pour appréhender les quantités (Dehaene, 2008). En effet, de nombreuses expériences ont montré que le nourrisson de quelques jours pouvait différencier de petits nombres et surtout les changements de numérosités (= la quantité d'objet d'une collection).

D'autre part, et cela antérieurement, d'autres études avaient montré que par exemple les enfants de 4 ans pouvaient résoudre des opérations simples présentées de façon analogique, mais qu'il fallait attendre 5 ans pour que leurs performances soient comparables avec une présentation verbale (orale ou écrite) (Levine et al., 2010).

Ces résultats sont donc en faveur d'un « sens du nombre » précédant l'intervention du langage, et cette théorie a le mérite de traiter les facultés numériques non verbales et verbales.

3.1.3. Les partisans de l'interaction

Enfin, une dernière grande théorie se situe au croisement des deux précédentes puisqu'elle postule que la construction de la cognition mathématique se réalise grâce à l'interaction entre le langage et le sens du nombre.

C'est une thèse défendue par Carey (2001, 2004) autour du concept de « bootstrapping » que l'on pourrait traduire par « amorçage ». Concrètement, l'idée est que le langage joue un rôle d'amorçage de la construction du concept de nombre. Ce

concept serait donc issu de facteurs spécifiquement numériques, ainsi que de facteurs cognitifs plus généraux dont le langage est le dénominateur commun. En effet, dans un premier temps, l'enfant observerait les relations entre quantités et mots associés puis dans un second temps et sur cette base, il induirait le sens des nombres suivants (Carey, 2011).

Cette idée avait déjà été avancée plus tôt par Spelke (2000) qui soutenait que l'apprentissage des noms des nombres ne permettait pas seulement d'accéder à de nouvelles habiletés numériques, mais permettait une réorganisation de l'ensemble des connaissances mathématiques. Encore plus anciennement, Wynn (1992) avait montré que les enfants différenciaient très tôt les noms de petits nombres des autres mots et qu'ils étaient capables d'associer très précocement les quantités à ces noms de nombres.

Selon cette théorie, l'interaction entre le langage et le sens du nombre permettrait donc la découverte des règles régissant la cognition numérique.

3.2. Les esquisses d'un compromis ?

Malgré les divergences des trois théories précédentes sur la place plus ou moins importante accordée au langage dans la construction de la cognition mathématique, il semblerait qu'on puisse dégager certains points d'accord sur le rôle du langage, points actuellement confirmés par les recherches. En effet, d'une part, les données en notre possession mettent clairement en évidence des compétences numériques précoces sur de petites quantités et cela avant le développement langagier. D'autre part, l'émergence du langage, et surtout son développement précèdent l'apparition de nouvelles compétences numériques (comme par exemple les capacités de quantification). De fait, l'utilisation du langage semble très liée à l'évolution des pratiques mathématiques.

3.2.1. Le langage comme outil de calcul

3.2.1.1. La construction de la ligne numérique interne

Un modèle a été élaboré pour tenter de mettre en évidence la relation entre les représentations analogiques (donc non verbales) et les représentations verbales des nombres. Il s'agit du modèle de la ligne numérique interne (Gallistel et Gelman, 2000) en figure 9. L'idée est que pour de petits nombres, nos représentations sémantiques sont très précises, mais dès que les nombres sont plus grands (au-delà du subitizing), ces représentations deviennent floues (Dehaene et al., 2003).

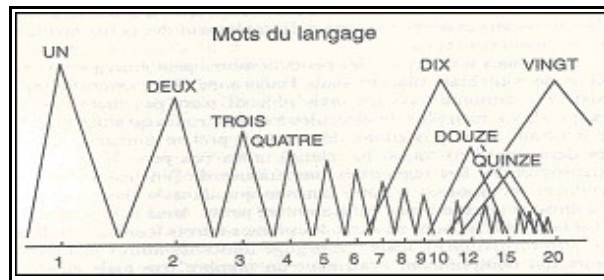


Figure 9 : La ligne numérique interne, Dehaene (2003)

De fait, la chaîne numérique, régie par le code verbal, permettrait d'avoir accès à une liste de symboles précis à l'unité près pour référer à ces quantités plus importantes (Izard, 2006). Ainsi, les tâches de calcul exact nécessitent le recours au langage comme moyen d'entrée dans la numération.

3.2.1.2. Le langage dans le comptage

Les données récentes (Dehaene, 2010) ont montré que l'établissement d'une correspondance entre le sens du nombre et la procédure de comptage permet à l'enfant d'accéder à des représentations mentales plus précises en associant clairement chaque symbole avec la quantité correspondante. L'acquisition en soi de la chaîne numérique verbale n'apporte rien : ce qui est fondamental, c'est sa mise en relation avec les quantités analogiques à travers la procédure de comptage.

En ce sens, le langage permet donc une appréhension rapide et précise d'une quantité et constitue donc un outil performant au service de la construction de la cognition mathématique (Izard, 2006). Cette performance sera également mobilisée lors des activités de transcoding, où les facultés langagières (orales et écrites) seront pleinement mobilisées (Noël, 2005b).

3.2.1.3. Le langage dans les opérations arithmétiques

L'utilisation du langage ne sera pas la même en fonction de l'opération arithmétique pratiquée (Fayol, 2008). En effet, dans le cadre des additions, le caractère procédural sera nettement dominant (même si avec la pratique la restitution en mémoire à long terme pourra être utilisée).

En revanche, pour les multiplications, la résolution repose sur le code verbal (Lee et Kang, 2002). En effet, les tables de multiplications nécessitent au préalable un apprentissage par cœur sous leur forme verbale pour réaliser une opération exacte. De fait, là encore, le langage est un outil de calcul précieux et hautement performant lorsqu'il peut être mobilisé rapidement et correctement.

3.2.1.4. Le langage dans la résolution de problèmes

Enfin, un aspect de la cognition mathématique absolument lié au langage est la résolution de problèmes (Fayol, 1990). Alors que les procédures de résolutions d'opérations sont directement issues de la capacité de dénombrement, leur finalité est de permettre la résolution de problèmes (Camos, 2004).

La difficulté supplémentaire associée provient de la nature de l'énoncé (verbal, écrit ou arabe) où l'efficacité de la lecture ou de l'écoute résidera donc dans la capacité à : 1/ engager les bonnes procédures, 2/ mener ces procédures à terme, 3/ vérifier l'adéquation entre ce qui a été trouvé et ce qui est attendu.

A ce stade-là, d'autres fonctions cognitives supérieures entrent en jeu, mais la bonne utilisation du langage reste dominante : la compréhension des énoncés ne peut être assurée que par une analyse syntaxique à la fois fine et précise (Mazeau, 1999).

De fait, même si le sens du nombre est déjà présent avant l'émergence du langage, la cognition mathématique se construit grâce aux progrès menés par l'enfant en langage oral qui lui permettront de mettre en correspondance une représentation symbolique avec une représentation analogique.

3.2.2. La place du langage dans un modèle de traitement des nombres

3.2.2.1. Le rôle de l'hémisphère gauche dans le traitement numérique

Au cours des dix dernières années, des études focalisées sur les tâches arithmétiques en IRM fonctionnelle ont permis de préciser les réseaux cérébraux impliqués dans le traitement mathématique.

L'observation des connexions intra et inter hémisphériques, visibles figure 10, a permis l'élaboration d'un modèle anatomo-fonctionnel selon le type de tâche arithmétique effectuée (Dehaene et Cohen, 2000).

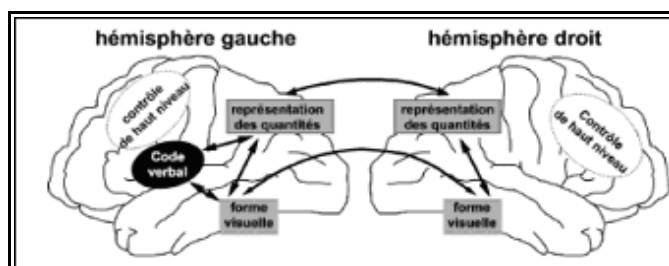


Figure 10 : Modélisation du traitement des nombres, Dehaene & Cohen (2000)

En effet, dans l'hémisphère gauche, les représentations visuelles, verbales et analogiques sont reliées entre elles grâce aux voies de transcodage, tandis que dans l'hémisphère droit, les connexions se font seulement entre les représentations visuelles et analogiques (Vandenborre, 2002).

3.2.2.2. Deux systèmes de calcul

Cette observation a permis de discriminer deux systèmes de calcul, plus ou moins indépendants, en arithmétique (Molko et al., 2005). :

- Un premier réseau situé dans le sillon intrapariétal s'active lors de tâches nécessitant la manipulation de quantités,
- Un second réseau, commun avec celui du langage, situé dans le gyrus angulaire gauche, s'active pour des situations d'arithmétique mentale (multiplication, lecture, écoute d'informations,...)

De fait, la place du langage au sein des systèmes symboliques, auditif verbal et visuel arabe, est fondamentale dans les tâches arithmétiques précises.

3.2.2.3. Fonctionnement du traitement cérébral

Cependant, bien que ce constat récent soit relativement accepté, il n'y a pas encore de consensus établi sur le poids de chacun de ces deux systèmes et leur équilibre en situation de traitement (Thevenot et Masson, 2013). Ce qui est établi par l'observation en IRM fonctionnelle, c'est que, en situation de calcul, les deux réseaux fonctionnent en collaboration immédiate et prolongée tout au long de la tâche : elle est tellement efficace que dès qu'un nombre nous est présenté, il est immédiatement traduit en quantité (Dehaene, 2010).

Cependant, selon les auteurs, chaque système de calcul n'a pas un rôle d'importance équivalente dans le traitement. Certains accordent un rôle central au système de calcul précis (Carey, 2004), alors que d'autres accordent un rôle primordial au système de calcul analogique (Piazza, 2010). Cela nous ramène au débat décrit en 3.2.1. Ainsi, même si ces auteurs sont en accord sur l'implication de ces deux systèmes de calcul dans la construction de la cognition mathématique (Lafay et al., 2013), il n'existe aucun consensus sur leurs rôles et leur importance en situation.

<p>Cependant, au vu de l'état actuel des recherches, nous pouvons considérer que, quelque soit notre position sur le sujet, le langage intervient dans les tâches arithmétiques.</p>
--

3.3. Dysphasie et troubles du calcul

Dès lors que le langage occupe une place plus ou moins importante dans les tâches mathématiques, nous pouvons nous demander dans quelles mesures un trouble du langage peut affecter ce type de traitement. L'objet de cette ultime section théorique est donc de recenser les différentes études portant sur le sujet jusqu'à ce jour.

Néanmoins, compte-tenu des importantes avancées dans la recherche ces dernières années, nous avons pris le parti de commencer notre recensement il y a une quinzaine d'années pour nous approcher au plus près de résultats encore acceptés et validés aujourd'hui. D'autre part, nous nous focaliserons sur un trouble spécifique du langage tel que nous l'avons défini en 2. : la dysphasie, avec toutes les difficultés soulevées par cette pathologie (notamment au niveau diagnostic). Enfin, dans un souci de clarté et de synthèse, nous nous attacherons à présenter seulement les principales conclusions de ces différentes études françaises qui nous ont paru les plus éclairantes, traitées dans un ordre chronologique.

3.3.1. Étude de Girard, 1996

« Étude des difficultés mathématiques chez l'enfant dysphasique » (Girard, 1996) : dans son mémoire d'orthophonie, l'auteur s'était attaché à décrire les principales difficultés mathématiques d'un groupe de vingt-cinq enfants dysphasiques au CP (cf. tableau V). Il voulait insister, d'une part sur la précocité d'apparition des troubles d'accès au nombre, et d'autre part sur leur persistance dans le temps, en comparant avec un groupe d'enfants au collège (mais ce n'est pas le sujet ici).

DOMAINES D'ÉVALUATION	Nombre d'enfants en dessous de la moyenne	Pourcentage
Numération	13 enfants / 25	52 %
Techniques opératoires	18 enfants /25	72 %
Résolution de problèmes	22 enfants /25	88%

Tableau V : Résultats obtenus par les enfants dysphasiques au CP, Girard (1996)

Ainsi, l'auteur avait conclu à l'impact du trouble du langage sur les principales acquisitions mathématiques au CP, et pas seulement sur l'énonciation des mots-nombres. De plus, il reliait ces difficultés observables en mathématiques avec celles présentes en phonologie et en mémoire verbale.

3.3.2. Étude de Camos, Fayol, Lacert, Bardi et Laquière, 1998

« Le dénombrement chez des enfants dysphasiques et des enfants dyspraxiques » (Camos, Fayol, Lacert, Bardi et Laquière, 1998) : l'objectif de cette étude était de rendre compte de la manière dont les enfants dysphasiques (et dyspraxiques, mais nous n'aborderons pas ce sujet ici) peuvent être affectés dans une tâche de dénombrement, au travers d'épreuves testant successivement le pointage, l'énonciation et le dénombrement (= combinaison des deux) (cf. tableau VI). En effet, cette procédure de quantification est considérée comme un précurseur des tâches mathématiques (cf. 1.2.2.), raison pour laquelle elle attire l'attention. Pour réaliser cette étude, les auteurs avaient recruté cinq enfants dysphasiques de 7 à 10 ans auxquels ils avaient fait passer quatre épreuves de production (où ils évaluaient leurs performances) et quatre épreuves de jugement (pour évaluer leurs compétences).

Epreuves de production (Performances)	Epreuves de jugement (Compétences)
POINTAGE	
Performances dans la moyenne	Compétences dans la moyenne
ENONCIATION DE LA CHAÎNE NUMÉRIQUE VERBALE	
- Chaîne numérique plus courte - Temps d'énonciation plus long	Compétences dans la moyenne
DENOMBREMENT D'UNE COLLECTION HOMOGENE	
Performances dans la moyenne	Compétences dans la moyenne
DENOMBREMENT D'UNE COLLECTION AVEC INFÉRENTS VISUELS	
- La disposition aléatoire entraîne plus d'erreurs - La disposition linéaire réclame plus de temps	Compétences dans la moyenne

Tableau VI : Résultats obtenus à l'évaluation du dénombrement, Camos et al. (1998)

Ainsi, il apparaissait que les enfants dysphasiques avaient des compétences similaires à celles des enfants témoins, mais des performances plus faibles, notamment au niveau de la longueur de la chaîne numérique verbale énoncée.

3.3.3. Étude de Vandendorre, 2002

« Essai de compréhension des stratégies déficitaires de calcul chez trois enfants avec trouble sévère du développement du langage oral » (Vandendorre, 2002) : à travers cette thèse, l'auteur souhaitait montrer l'importance du langage dans le développement du nombre et des activités numériques (cf. tableau VII). Pour cela, elle avait recruté trois garçons dysphasiques à qui elle avait fait passer le test Numerical (d'inspiration neuropsychologique et adapté à l'enfant). Bien que l'auteur ait insisté sur d'importantes fluctuations des performances, elle a pu mettre en évidence des difficultés d'acquisition du nombre et du calcul : toutes les courbes de profils sont globalement en dessous de celles d'enfants de même niveau scolaire.

Epreuves réussies	Epreuves échouées
<u>Les épreuves analogiques</u> Les procédures de quantification non verbales sont réussies	<u>Les épreuves orales</u> Répétition orale, comptine, mémoire verbale
<u>Les épreuves spatiales</u> Réussite chez deux enfants sur trois (mais le dernier avait des troubles praxiques qui expliquent ses difficultés)	<u>Le calcul oral</u> Echec complet : aucune manipulation possible
<u>La représentation écrite du nombre</u> Mais présence d'erreurs de type syntaxique	<u>Les subdivisions du temps</u> Difficultés sur ces connaissances précises

Tableau VII : Résultats obtenus au Numerical par Vandendorre (2002)

Dans sa thèse, l'auteur avait donc conclu qu'en plus du trouble spécifique de langage oral et parfois de langage écrit associé, les enfants dysphasiques présentaient également un trouble d'accès au nombre et au calcul. De fait, un trouble langagier pouvait être l'origine d'un trouble du calcul consécutif.

3.3.4. Étude de Gaillard et Walladino-Braga, 2005

« Calcul et langage dans le développement et les troubles de l'apprentissage » (Gaillard et Walladino-Braga, 2005) : dans cette étude, les auteurs ont utilisé, comme dans l'étude précédente, le test neurocognitif Numerical. Ce test avait été présenté à dix enfants dysphasiques (5 garçons et 5 filles) de 9 à 11 ans et les auteurs avaient mis en évidence une importante variété de difficultés chez ces enfants (cf. tableau VIII).

Epreuves réussies	Epreuves échouées
<u>Les épreuves analogiques</u> - Pour certains : les procédures de quantification non verbales sont réussies - Pour d'autres : il y a une plus faible représentation des échelles numériques	<u>Les épreuves orales</u> Toutes les épreuves sont échouées : répétition orale, comptine, mémoire verbale
<u>Les épreuves spatiales</u> - Réussite chez certains enfants - Echec chez ceux présentant des troubles praxiques (comorbidité fréquente)	<u>La représentation écrite du nombre</u> Toutes les épreuves sont échouées : lecture et dictée de nombres, calcul écrit
<u>Le calcul oral</u> L'opérativité est possible quand les nombres sont connus	<u>Les subdivisions du temps</u> Elles sont généralement ignorées

Tableau VIII : Résultats obtenus au Numerical par Gaillard et Willadino-Braga (2005)

Cependant, il est intéressant de constater que les résultats de ces auteurs divergent à plusieurs reprises de ceux obtenus trois ans plus tôt par Vandendorre (2002) au même test et avec quasiment la même population d'âge (cf. tableau IX).

Domaines divergents	VANDENBORRE (2002)	GAILLARD & WILLADINO (2005)
LE CALCUL ORAL	Epreuve entièrement échouée Manipulations impossibles	Epreuve échouée quand les nombres sont connus
LA REPRESENTATION ECRITE	Globalement réussie Présence d'erreurs syntaxiques	Epreuves entièrement échouées Lecture, dictée, calcul écrit,...
LES EPREUVES ANALOGIQUES	Epreuves entièrement réussies	Epreuves réussies pour certains mais échouées pour d'autres

Tableau IX : Comparaison des divergences obtenues au Numerical

Ces divergences sont intéressantes à observer car elles mettent justement en évidence la complexité et l'hétérogénéité des profils des sujets dysphasiques qui rendent difficile la généralisation des résultats aux différentes études.

3.3.5. Etude de Fabrègues, 2012

« Le lien entre la dysphasie et les troubles logico-mathématiques chez l'enfant âgé de 7 à 10 ans » (Fabrègues, 2012) : cette ultime étude de notre sélection a été élaborée dans le cadre d'un mémoire d'orthophonie. L'auteur avait pour objectif d'une part de dégager les principales composantes mathématiques déficitaires chez les enfants dysphasiques et d'autre part de mettre en relation son étude avec les études scientifiques précédentes (cf. figure 11). Pour cela, elle avait sélectionné cinq enfants dysphasiques (4 en CE1 et 1 en CM1) entre 7 et 10 ans et demi et leur avait proposé la passation du Tedimath.

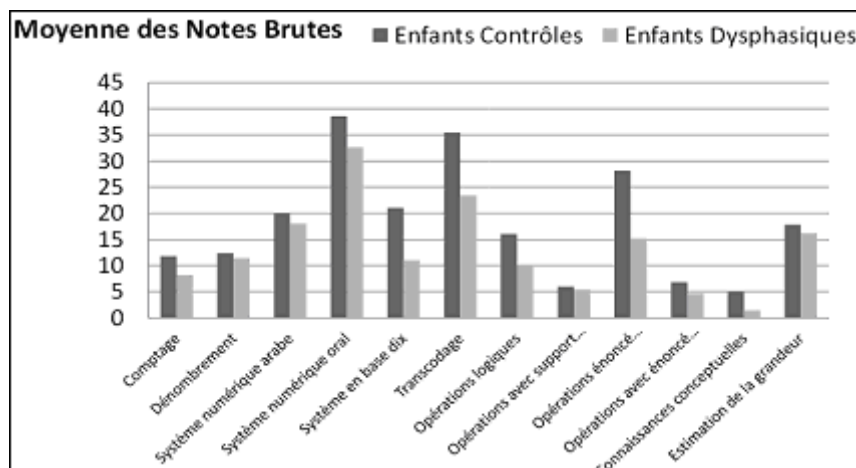


Figure 11 : Moyennes des notes brutes aux scores de base du Tedimath, Fabrègues (2012)

L'auteur avait ainsi montré la présence d'un déficit langagier impactant les compétences mathématiques, et avait pointé les domaines atteints et préservés. Les principales performances pathologiques concernaient le comptage, les systèmes numériques oral et écrit, le transcodage, et les opérations arithmétiques, alors que les performances préservées relevaient de compétences non verbales.

3.3.6. Conclusions et discussion autour de ces études

Ainsi, à travers ces différentes recherches en lien direct avec notre sujet, il est possible de faire plusieurs remarques : d'une part, il semblerait que les difficultés liées à un trouble du langage entraînent des troubles, à différents niveaux, de la cognition mathématique. D'autre part, ces troubles concerneraient principalement toute activité qui sollicite l'utilisation du code verbal (oral et/ou écrit), et n'affecteraient pas ou peu les compétences mathématiques non verbales.

Cependant, l'ensemble de ces conclusions est à recevoir avec prudence pour plusieurs raisons :

- La dysphasie est un trouble extrêmement complexe et hétérogène d'un sujet à l'autre, ce qui rend la généralisation des observations difficiles.
- Selon les études précédemment mentionnées, le type de dysphasie n'est pas toujours précisé, de même que les critères diagnostiques retenus lors de la pose du diagnostic.
- Peu d'études françaises ont été menées jusqu'à présent, et celles existantes ont un nombre de sujets très limité, ce qui relève davantage de l'étude de cas.

4. Buts et hypothèses de la présente étude

La présente étude émerge donc au sein de ces recherches : **quels sont les impacts de la dysphasie sur la cognition mathématique chez des enfants pour lesquels les apprentissages fondamentaux se mettent en place ?**

Cette étude tentera d'améliorer les connaissances actuelles, à la fois sur ce trouble spécifique et complexe du langage oral qu'est la dysphasie, mais aussi sur la construction de la cognition mathématique.

Pour ce faire, il s'agira de préciser quelles sont les composantes de la cognition mathématique affectées par le trouble du langage oral et d'en rechercher la ou les origine(s).

Ce travail a également vocation de promouvoir une prise en charge ciblée des domaines de la cognition mathématique potentiellement affectés chez les enfants dysphasiques, en vue de permettre la poursuite des apprentissages.

Pour répondre à ces différents objectifs, trois hypothèses de travail ont été élaborées à partir des données de la littérature précédemment citées :

1/ Les épreuves permettant d'évaluer le code verbal (en modalité d'entrée et/ou de sortie) devraient être affectées, dans la mesure où c'est la composante la plus fragilisée dans la dysphasie. Or, la modalité verbale est présente dans toutes les épreuves de la batterie sélectionnée. Donc l'intégralité des épreuves devrait être affectée.

2/ Les épreuves permettant d'évaluer le code arabe devraient être également affectées. Le système numérique arabe exige la maîtrise d'un lexique numérique précis et d'une syntaxe élaborée sur la valeur positionnelle des chiffres dans le nombre. Or, les enfants dysphasiques présentent d'importantes difficultés concernant les aspects lexicaux et syntaxiques du système verbal, difficultés qui pourraient se manifester dans un autre système.

3/ Les épreuves permettant d'évaluer le code analogique devraient être préservées, dans la mesure où le sens du nombre est une habileté innée et indépendante du langage.

Sujets, matériel et méthode

La présente étude a été réalisée auprès d'une population recrutée sur des critères précis et en suivant un protocole spécifique.

1. Présentation de la population

Trois groupes d'enfants du CP au CM2 ont été constitués :

- Un premier groupe rassemblant des enfants dysphasiques
- Un second groupe constitué d'enfants présentant un trouble de la cognition mathématique
- Un troisième groupe composé d'enfants-témoins

1.1. Groupe 1 : Enfants dysphasiques

1.1.1. Procédure de recrutement

1.1.1.1. Lieu

La population d'enfants dysphasiques a été recrutée au sein de trois cabinets libéraux d'orthophonie dans le département de l'Hérault (34).

1.1.1.2. Modalités

La sélection des dossiers des enfants s'est faite sur présentation du compte-rendu d'hospitalisation au centre de référence « Troubles du Langage et des Apprentissages », situé à l'hôpital Gui de Chauliac à Montpellier (34).

Chaque compte-rendu d'hospitalisation comportait trois pièces :

- Le compte-rendu du bilan orthophonique
- Le compte-rendu du bilan neuropsychologique
- Une feuille de synthèse concluant au diagnostic de dysphasie

1.1.2. Critères d'exclusion et d'inclusion

1.1.2.1. Critères d'exclusion

Grâce au bilan neuropsychologique déjà effectué pour chaque enfant, il a été possible d'éliminer les critères d'exclusion du TSLO suivants :

- Une déficience intellectuelle
- Un trouble sensoriel ou moteur
- Une pathologie neurologique ou génétique
- Des troubles psychopathologiques

1.1.2.2. Critères d'inclusion

Grâce au bilan orthophonique de langage déjà réalisé pour chaque enfant, il a été possible de mettre en évidence les critères d'inclusion du TSLO suivants :

- La sévérité du trouble : grâce à un écart significatif par rapport à la norme d'au moins deux domaines langagiers et la présence d'au moins trois marqueurs de déviance, tels qu'ils ont été exposés dans la partie précédente.
- La spécificité du trouble : dont rendent compte les critères d'exclusion cités précédemment.
- La persistance du trouble : puisqu'il persiste chez les sujets recrutés âgés de plus de 6 ans.

1.1.3. Caractéristiques de la population retenue

Ainsi, les enfants dysphasiques participant à notre étude et constituant ce premier groupe présentent l'ensemble de ces critères d'exclusion et d'inclusion. Ils bénéficient tous d'une prise en charge orthophonique en libéral deux fois par semaine et sont tous de langue maternelle française.

De plus, tous ces enfants sont scolarisés en milieu ordinaire ou en CLIS. L'un des objectifs de cette étude étant d'évaluer les domaines de la cognition mathématique sur la période du primaire, chaque enfant fait partie d'un niveau scolaire différent, du CP au CM2. Le redoublement ne constitue pas un critère d'exclusion pour cette population dans la mesure où la focalisation sur le niveau scolaire prime sur l'âge des sujets.

Sur ces bases, cinq enfants dysphasiques ont été recrutés, du CP au CM2, relevant chacun de niveaux scolaires différents, et de 6 ans 1 mois à 11 ans 9 mois.

1.2. Groupe 2 : Enfants présentant des troubles de la cognition mathématique

1.2.1. Procédure de recrutement

1.2.1.1. Lieu

La population d'enfants présentant un trouble de la cognition mathématique a été recrutée au sein d'un cabinet libéral d'orthophonie dans le département de l'Hérault (34).

1.2.1.2. Modalités

La sélection des dossiers des enfants s'est faite sur présentation du compte-rendu du bilan orthophonique réalisé par l'orthophoniste libérale au moyen de tests d'orientation neuropsychologique :

- Soit le TEDI-MATH : Test diagnostique des compétences de base en mathématiques (2001)
- Soit le ZAREKI-R : Batterie pour l'évaluation du traitement des nombres et du calcul chez l'enfant (2006)

1.2.2. Critères d'exclusion et d'inclusion

1.2.2.1. Critères d'exclusion

Grâce à l'anamnèse réalisée par l'orthophoniste libérale lors de son bilan initial, et grâce à ses observations au cours des prises en charge qui ont suivi, il a été possible d'exclure :

- Une déficience intellectuelle
- Un trouble sensoriel ou moteur
- Une pathologie neurologique ou génétique
- Des troubles psychopathologiques

D'autre part, aucun signe de troubles du langage (type retard de parole, de langage ou dysphasie) n'a été mis en évidence, que ce soit lors du bilan orthophonique ou au cours de la prise en charge qui a suivi.

1.2.2.2. Critères d'inclusion

Grâce au bilan orthophonique initial de la cognition mathématique, il a été possible de mettre en évidence un écart significatif par rapport à la norme dans plusieurs acquisitions nécessaires à la construction du nombre et au développement des compétences arithmétiques.

1.2.3. Caractéristiques de la population retenue

Ainsi, les enfants présentant un trouble de la cognition mathématique et constituant le second groupe de cette étude présentent l'ensemble de ces critères d'exclusion et d'inclusion. Ils bénéficient tous d'une prise en charge orthophonique en libéral une à deux fois par semaine et sont tous de langue maternelle française.

De plus, ils satisfont les mêmes critères de scolarité que le groupe d'enfants dysphasiques, c'est-à-dire une scolarité en milieu ordinaire et la sélection d'un enfant

par niveau scolaire, sans ou avec redoublement, pour les mêmes raisons précédemment évoquées.

Sur ces bases, cinq enfants présentant un trouble de la cognition mathématique ont été recrutés, du CP au CM2, relevant chacun de niveaux scolaires différents, et de 6 ans 2 mois à 10 ans 7 mois.

1.3. Groupe 3 : enfants témoins

1.3.1. Procédure de recrutement

1.3.1.1. Lieu

La population d'enfants-témoins a été recrutée au sein d'écoles publiques dans le département de l'Hérault (34).

1.3.1.2. Modalités

La sélection des dossiers des enfants s'est faite sur présentation, pour chaque enfant, du bulletin scolaire de l'année précédente et d'un bref entretien avec les parents et l'enseignant de l'année scolaire en cours.

1.3.2. Critères d'exclusion et d'inclusion

1.3.2.1. Critères d'exclusion

Grâce au bulletin scolaire ainsi qu'aux remarques des parents et de l'enseignant, il a été possible d'exclure chez chacun de ces enfants :

- Toute difficulté particulière sur le plan scolaire (français, mathématique,...)
- Un redoublement
- Un trouble du langage, de la motricité,... (ces enfants ne bénéficiaient d'aucune prise en charge médicale ou paramédicale).
- Des troubles psychopathologiques

1.3.2.2. Critères d'inclusion

Seuls les critères d'exclusion ont permis de sélectionner les enfants-témoins.

1.3.3. Caractéristiques de la population retenue

Les enfants-témoins constituant le troisième groupe de cette étude présentent l'ensemble de ces critères d'exclusion et d'inclusion. Ils sont tous de langue maternelle française. Ils suivent tous une scolarité en milieu ordinaire, sans antécédents de redoublement ou de difficultés relevées par l'enseignant.

Sur ces bases, cinq enfants-témoins ont été recrutés, du CP au CM2, relevant chacun de niveaux scolaires différents, et de 6 ans 6 mois à 10 ans 6 mois.

Le tableau suivant (tableau X) présente dans les détails l'ensemble de la population recrutée dans la présente étude :

Niveaux scolaires	Groupe 1 : Enfants dysphasiques	Groupe 2 : Enfants présentant des troubles de la cognition mathématique	Groupe 3 : Enfants témoins
CP	Enfant A1 F – 6 ans 1 mois	Enfant B1 G – 6 ans 2 mois	Enfant C1 F – 6 ans 6 mois
CE1	Enfant A2 F – 7 ans 9 mois	Enfant B2 F – 7 ans 2 mois	Enfant C2 F – 7 ans 0 mois
CE2	Enfant A3 G – 9 ans 5 mois	Enfant B3 F – 9 ans 2 mois	Enfant C3 G – 8 ans 9 mois
CM1	Enfant A4 G – 9 ans 4 mois	Enfant B4 G – 10 ans 7 mois	Enfant C4 G – 9 ans 2 mois
CM2	Enfant A5 G – 11 ans 9 mois	Enfant B5 F – 10 ans 6 mois	Enfant C5 G – 10 ans 6 mois

Tableau X : Présentation de la population de la présente étude

2. Présentation de la méthode

2.1. Passation de l'ELO

2.1.1. Présentation du test

Le test orthophonique Évaluation du Langage Oral (ELO) a été élaboré en 2001 par A. Khomsi. Cette batterie de six épreuves permet de réaliser une évaluation du langage oral chez des enfants de la petite section de maternelle au CM2.

2.1.2. Objectifs dans le mémoire

La passation de l'ELO a été proposée seulement au groupe 1, rassemblant les enfants dysphasiques, afin de :

- Dresser une ligne de base commune à ce groupe du niveau de langage oral
- Mettre en évidence le versant langagier le plus affecté
- Faire des liens avec les domaines de la cognition mathématique affectés

2.1.3. Épreuves sélectionnées

Deux épreuves de l'ELO ont été administrées aux enfants :

- L'épreuve de répétition de mots, afin d'évaluer le niveau de phonologie
- L'épreuve de compréhension, afin d'évaluer le niveau de compréhension orale

2.2. Passation du ZAREKI-R

2.2.1. Présentation du test

Le ZAREKI-R, batterie pour l'évaluation du traitement des nombres et du calcul chez l'enfant a été élaborée en 2006 par M. Von Aster et adaptée au français par G. Dellatolas. Cette batterie de douze épreuves, d'inspiration neuropsychologique, permet de réaliser une évaluation des différentes composantes impliquées dans la mise en place et le développement de la cognition mathématique du CP au CM2.

2.2.2. Objectifs dans le mémoire

C'est grâce à la passation de cette batterie qu'il va être possible de déterminer pour chaque enfant son niveau de maîtrise du nombre et du calcul. De plus, le ZAREKI-R présente la particularité (notamment par rapport au TEDI-MATH) de susciter majoritairement le langage oral, que ce soit en modalité d'entrée et/ou de sortie. De fait, un déficit langagier devrait être rapidement mis en évidence et permettre d'identifier les composantes du nombre et du calcul affectées.

2.2.3. Épreuves sélectionnées

Cette batterie de douze épreuves a été administrée à tous les groupes d'enfants, intégralement et dans l'ordre prévu par l'auteur comme suit :

- 1/ Dénombrement de points
- 2/ Comptage oral à rebours
- 3/ Dictée de nombres
- 4/ Calcul mental oral
- 5/ Lecture de nombres
- 6/ Positionnement de nombres sur une échelle verticale
- 7/ Répétition de chiffres
- 8/ Comparaison de deux nombres présentés oralement
- 9/ Estimation visuelle de quantités
- 10/ Estimation qualitative de quantités en contexte
- 11/ Problèmes arithmétiques présentés oralement
- 12/ Comparaison de deux nombres écrits

2.3. Conditions générales de passation

Les différentes passations ont été réalisées dans les différents cabinets d'orthophonie accueillant les enfants des groupes 1 et 2, en présence de leur orthophoniste, et au domicile des enfants du groupe 3.

Elles se sont déroulées du 15/11/2014 au 5/12/2014, soit sur trois semaines, qui correspondent, à quelques jours près et selon les écoles, à la fin du premier trimestre de l'année scolaire en cours.

Les passations ont pu se faire, pour certains en une fois, pour d'autres en deux fois (notamment quand les séances ne duraient que 30 minutes). Le temps de passation a varié selon les enfants de 35 à 60 minutes pour le ZAREKI-R et de 7 à 12 minutes pour l'ELO.

Le tableau suivant (tableau XI) reprend dans les détails les conditions de passation des batteries d'évaluation administrées à l'ensemble de la population de cette étude :

Niveaux	<u>Groupe 1</u>	<u>Groupe 2</u>	<u>Groupe 3</u>
CP	Enfant A1 Z : 1 passation de 35 minutes E : 1 passation de 12 minutes	Enfant B1 2 passations de 45 + 15 = 60 minutes	Enfant C1 1 passation de 40 minutes
CE1	Enfant A2 Z : 1 passation de 35 minutes E : 1 passation de 10 minutes	Enfant B2 2 passations de 30 + 30 = 60 minutes	Enfant C2 1 passation de 45 minutes
CE2	Enfant A3 Z : 1 passation de 45 minutes E : 1 passation de 12 minutes	Enfant B3 2 passations de 30 + 15 = 45 minutes	Enfant C3 1 passation de 45 minutes
CM1	Enfant A4 Z : 1 passation de 45 minutes E : 1 passation de 7 minutes	Enfant B4 2 passations de 30 + 20 = 50 minutes	Enfant C4 1 passation de 45 minutes
CM2	Enfant A5 Z : 1 passation de 60 minutes E : 1 passation de 8 minutes	Enfant B5 1 passation de 45 minutes	Enfant C5 1 passation de 45 minutes

Tableau XI : Modalités de passation des épreuves Z (ZAREKI-R) et E (ELO)

C'est donc sur la base de ces modalités de recrutement des sujets et d'administration des épreuves que la présente étude a été réalisée. A présent, les résultats recueillis vont être restitués.

Résultats

Pour l'exposé des résultats de la population de cette étude au Zareki-R, l'ensemble des épreuves administrées ont été regroupées autour de trois axes :

- L'évaluation des compétences de base, au sein desquelles se trouvent la chaîne numérique, la mémoire de travail et les transcodages.
- L'évaluation des différentes représentations du nombre, soit les représentations quantitatives numériques, quantitatives analogiques et qualitatives.
- L'évaluation des habiletés supérieures consécutives, parmi lesquelles la résolution orale d'opérations mentales et de problèmes.

1. Évaluation préalable du niveau de langage oral

Cette évaluation préalable à l'étude a pour objectif d'établir une ligne de référence du niveau de langage oral de chaque enfant dysphasique, afin d'établir des comparaisons inter et intra-groupe pour lesquelles un maximum de variables pouvaient être contrôlées.

L'évaluation du niveau de langage oral a été réalisée grâce à la passation de deux épreuves de la batterie « Évaluation de Langage Oral » (ELO) :

- La répétition de mots (Rep) pour examiner le versant expressif
- La compréhension de phrases, immédiate (CI) et générale (CG), pour observer le versant réceptif du langage oral.

Ces épreuves ont permis d'établir les profils suivants en figure 12 :

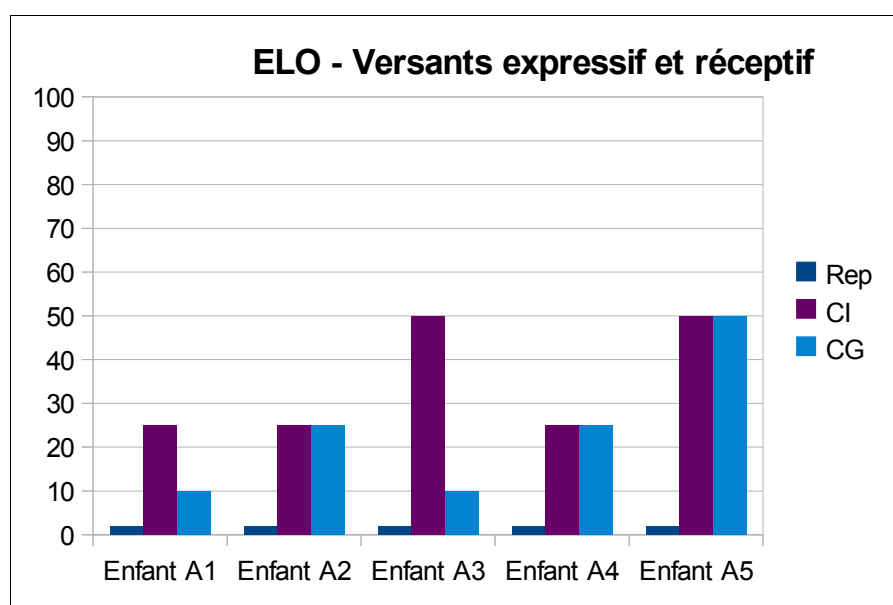


Figure 12 : Répartition en centiles des résultats du groupe 1 à l'ELO

Avec des scores systématiquement inférieurs au centile 10, le versant expressif de l'ensemble de la population dysphasique se situe dans la zone pathologique.

En compréhension immédiate, les scores se situent entre le centile 25 et le centile 50, et en compréhension générale, entre le centile 10 et le centile 50.

Contrairement au versant expressif qui est significativement et systématiquement chuté, le versant réceptif semble partiellement préservé chez cette population d'enfants dysphasiques, bien que pour certains, le niveau de compréhension générale soit à la limite de la zone pathologique.

Les profils des différents enfants du groupe d'enfants dysphasiques (groupe 1) tendent donc à suggérer une forme relativement homogène de dysphasie de type phonologico-syntaxique.

2. Évaluation des compétences de base

2.1. La chaîne numérique verbale

2.1.1. « Dénombrement de points »

Le dénombrement fait partie des trois procédures de quantification. Cette épreuve permet de vérifier l'acquisition des cinq principes de Gelman et Gallistel.

Elle contient deux parties de trois items à dénombrer. Dans la deuxième partie, l'examineur demande explicitement à l'enfant d'utiliser la procédure de comptage (pointage et séquence verbale).

Figure 15 figurent les profils de l'ensemble de la population à cette épreuve :

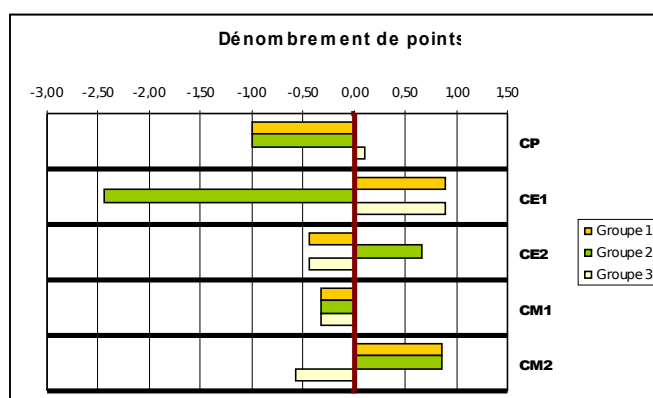


Figure 15 : Distribution des écarts-types à l'épreuve « Dénombrement de points »

Aucun enfant dysphasique ne se situe dans la zone pathologique. Seul A1 se trouve à la limite de la norme faible. Leurs performances demeurent donc dans la norme attendue.

En regard des deux autres groupes, les performances sont globalement similaires (hormis B2 qui est fortement chuté).

2.1.2. « Comptage oral à rebours »

Cette épreuve mobilise à la fois la chaîne numérique verbale et la mémoire de travail du fait de la manipulation à l'envers de cette même chaîne.

Elle contient deux séries de comptage à rebours, l'une de 23 à 1 et l'autre de 67 à 54, cette dernière étant considérée comme plus difficile car moins automatisée.

Figure 16 figurent les profils de l'ensemble de la population à cette épreuve

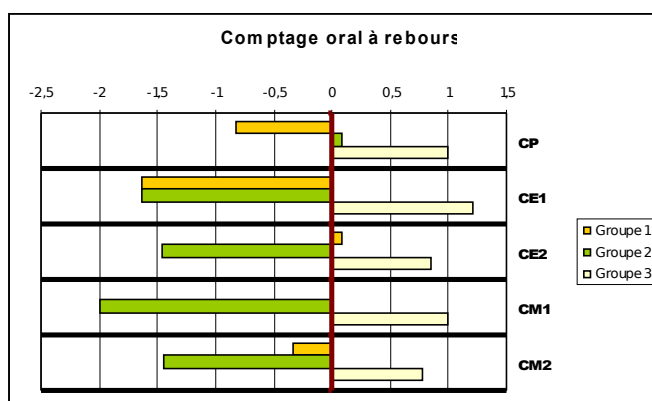


Figure 16 : Distribution des écarts-types à l'épreuve « Comptage oral à rebours »

Aucun enfant dysphasique ne se situe dans la zone pathologique. Les enfants A1 et A2 se trouvent dans la norme faible et les enfants A3, A4 et A5 sont dans la norme.

L'enfant A1 est le plus chuté de ses pairs, tandis que l'enfant A2 présente des performances similaires à l'enfant B2. Enfin, A3, A4 et A5 ont des résultats supérieurs à leurs homologues du groupe 2, mais sensiblement inférieurs à ceux du groupe 3.

2.2. Les transcodages

2.2.1. « Dictée de nombres »

Cette épreuve évalue la maîtrise du transcodage depuis une entrée auditivo-verbale à une sortie écrite arabe, sachant que le passage par le système sémantique est toujours discuté dans les différents modèles de traitement (cf. Partie théorique).

Cette épreuve contient huit items, dont deux sont des nombres à deux chiffres, quatre items sont des nombres à quatre chiffres et deux items sont des nombres à trois chiffres.

Figure 17 figurent les profils de l'ensemble de la population à cette épreuve

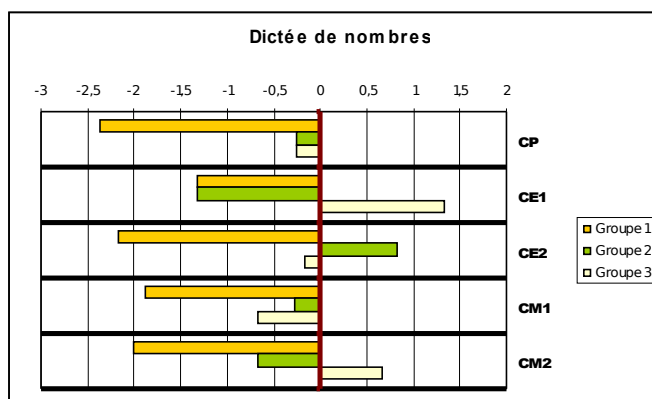


Figure 17 : Distribution des écarts-types à l'épreuve « Dictée de nombres »

Quatre enfants dysphasiques (A1, A3, A4 et A5) se situent dans la zone pathologique et un enfant (A2) se trouve dans la norme faible.

Ce sont ces mêmes enfants qui présentent les résultats les plus chutés par rapport aux enfants des deux autres groupes (hormis A2 dont les résultats sont égaux à ceux de B2).

2.2.2. « Lecture de nombres »

Cette épreuve évalue également le transcodage, mais depuis une entrée visuelle arabe à une sortie verbale orale.

Dans cette épreuve, le nombre et le mode de sélection des items sont identiques à ceux de l'épreuve précédente mais les nombres cibles sont différents.

Figure 18 figurent les profils de l'ensemble de la population à cette épreuve

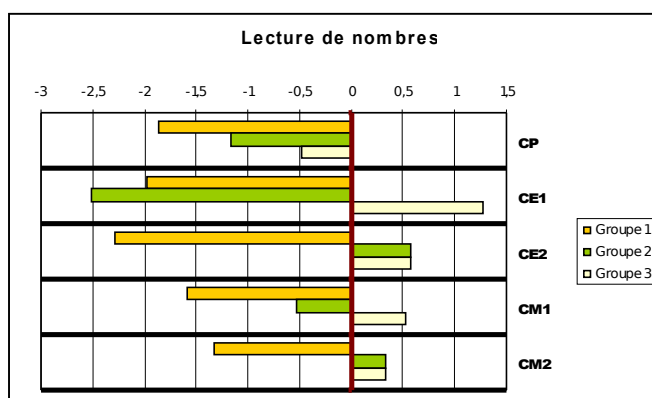


Figure 18 : Distribution des écarts-types à l'épreuve « Lecture de nombres »

Trois enfants dysphasiques (A1, A2 et A3) se situent dans la zone pathologique et deux enfants (A4 et A5) se trouvent dans la norme faible.

Comme pour l'épreuve précédente, leurs résultats sont bien inférieurs à ceux des autres groupes (sauf pour B2 qui est supérieur à A2).

2.3. La mémoire de travail : « Répétition de chiffres »

Cette épreuve n'est pas incluse dans le calcul de la note total du Zareki-R puisqu'elle évalue une compétence transversale non spécifique à la cognition mathématique. Cependant, elle est fondamentale pour réaliser les traitements numériques.

Cette épreuve contient deux séries d'empan croissant (endroit et envers). Trois sous-items sont proposés pour un même empan. L'empan augmente ainsi de trois à six chiffres.

Figure 19 figurent les profils de l'ensemble de la population à cette épreuve

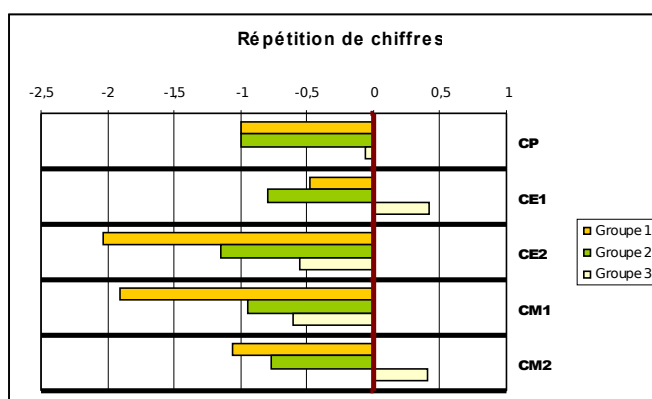


Figure 19 : Distribution des écarts-types à l'épreuve « Répétition de chiffres »

Deux enfants dysphasiques (A3 et A4) se situent dans la zone pathologique, deux enfants (A1 et A5) se trouvent dans la norme faible et A2 est dans la norme.

Les résultats de groupe d'enfants dysphasiques sont toujours inférieurs au groupe d'enfants tout-venants. Ils sont même inférieurs à ceux des enfants du groupe 2 pour les niveaux CE2, CM1 et CM2.

Concernant cette première évaluation des compétences de base, plusieurs remarques peuvent être soulevées concernant le groupe d'enfants dysphasiques :

- Tout d'abord, l'acquisition et la maîtrise de la chaîne numérique verbale ne semblent pas être entravées par la dysphasie chez cette population d'étude.
- En revanche, l'évaluation des transcodages met en évidence des écarts significatifs pour l'ensemble de cette population.
- Enfin, la mémoire auditivo-verbale paraît affectée pour plus de la moitié de cette population.

3. Évaluation des représentations du nombre

3.1. Les représentations quantitatives numériques

3.1.1. « Comparaison de deux nombres présentés oralement »

Selon le modèle de traitement adopté, cette épreuve évalue l'un des deux moyens de comparaison suivants : le passage par la représentation analogique ou par la représentation arabe, de même que la mémoire de travail.

Elle contient huit items permettant d'évaluer la comparaison entre dizaines, centaines et milliers.

Figure 20 figurent les profils de l'ensemble de la population à cette épreuve

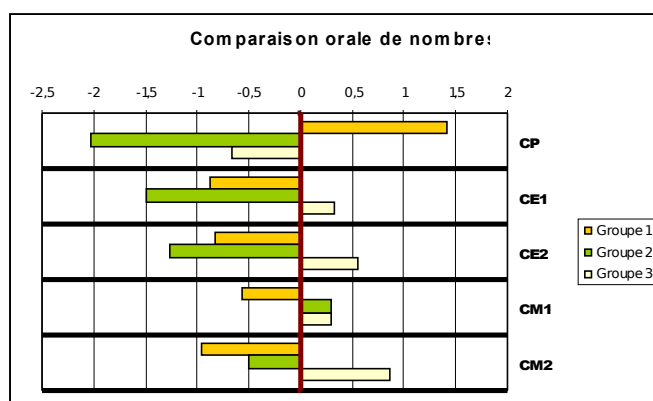


Figure 20 : Distribution des écarts-types à l'épreuve « Comparaison de nombres oraux »

Aucun enfant dysphasique ne se situe dans la zone pathologique. Un seul enfant (A5) se trouve dans la norme faible. Tous les autres sont dans la norme, et A1 est même dans la norme haute.

Leurs résultats sont toujours supérieurs à ceux des enfants du groupe 2 (sauf B4 qui est meilleur qu'A4), et sont similaires à ceux des enfants tout-venants.

3.1.2. « Comparaison de nombres écrits »

Cette épreuve, comme la précédente, évalue l'efficacité du système de représentation arabe. Il est possible que l'enfant se base uniquement sur les règles positionnelles par comparaison séquentielle des chiffres des milliers vers les unités, ou alors qu'il s'appuie sur la quantité associée à chaque nombre.

Dix items sont administrés, permettant d'évaluer la comparaison de paires de chiffres à deux, trois, quatre et cinq chiffres, sachant que pour la moitié des paires, les nombres sont composés des mêmes chiffres et ne diffèrent que par leur position.

Figure 21 figurent les profils de l'ensemble de la population à cette épreuve

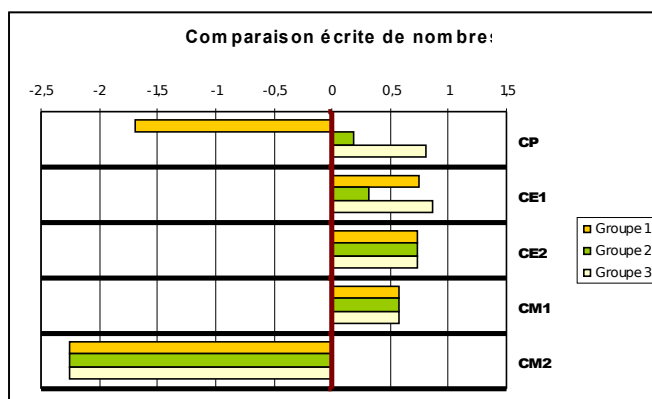


Figure 21 : Distribution des écarts-types à l'épreuve « Comparaison de nombres écrits »

Les résultats des enfants dysphasiques sont plus hétérogènes en comparaison écrite puisqu'un enfant (A5) se situe dans la zone pathologique, un autre enfant (A1) se situe dans la norme faible et les trois autres enfants sont dans la norme.

Leurs performances sont similaires à celles des enfants du groupe 2, de même qu'à celles des enfants tout-venants (malgré des disparités au CP).

3.2. Les représentations quantitatives analogiques

3.2.1. « Positionnement de nombres sur une échelle »

Cette épreuve évalue la maîtrise du code analogique, c'est-à-dire la capacité du sujet à traiter la quantité associée à un nombre et à percevoir et juger le rapport entre deux quantités : le nombre item et 100.

Elle se divise en deux parties : présentation orale et présentation arabe des nombres à placer. Chaque sous-partie se subdivise également en deux parties, l'une avec quatre marques de placement proposées et l'autre avec une simple ligne vierge (des exemples de ces présentations figurent en annexe n°14).

Figure 22 figurent les profils de l'ensemble de la population à cette épreuve

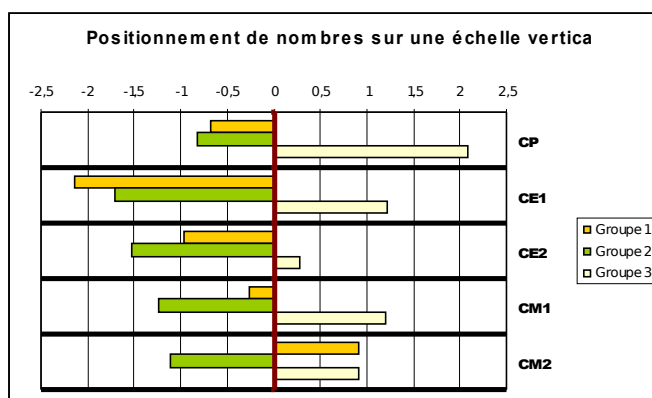


Figure 22 : Distribution des écarts-types à l'épreuve « Positionnement de nombres sur une échelle verticale »

Un enfant dysphasique (A2) se situe dans la zone pathologique, un enfant (A3) se trouve dans la norme faible, deux enfants (A1 et A4) sont dans la norme et un enfant (A5) est dans la norme haute. Les résultats à cette épreuve sont très hétérogènes.

Leurs performances sont néanmoins supérieures à celles des enfants du groupe 2 (sauf pour A2 qui est plus chuté que B2), mais inférieures à celles des enfants tout-venants (sauf pour A5 et C5 qui sont à égalité).

3.2.2. « Estimation visuelle de quantités »

Cette épreuve permet d'évaluer une autre procédure de quantification : l'estimation globale, dans la mesure où le sujet n'a pas le temps de dénombrer la collection. Cette compétence ne relève pas d'un apprentissage scolaire.

Cinq items sont proposés dont la quantité augmente. Deux sont des points, deux sont des objets (balles et verres) et le dernier est une comparaison des deux précédents items.

Figure 23 figurent les profils de l'ensemble de la population à cette épreuve

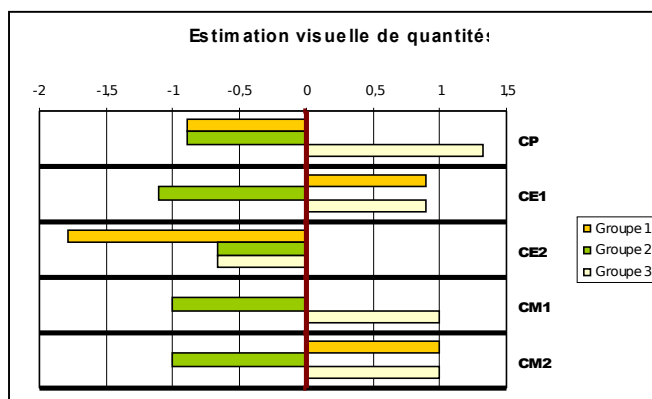


Figure 23 : Distribution des écarts-types à l'épreuve « Estimation visuelle de quantités »

Les résultats des enfants dysphasiques sont très hétérogènes puisque deux enfants (A1 et A3) se situent dans la norme faible, un enfant (A4) se trouve dans la norme, et deux enfants (A2 et A5) sont dans la norme haute.

Leurs performances sont supérieures à celles des enfants du groupe 2 (sauf pour A1 et B1 qui sont à égalité, et pour A3 qui est fortement chuté) et même à égalité avec C2 et C5.

3.3. La représentation qualitative : « Estimation qualitative en contexte »

Cette épreuve évalue la capacité de juger correctement une quantité dans un contexte donné. Elle fait donc intervenir à la fois la compréhension du sens des nombres, mais aussi la connaissance du monde.

Dix items sont proposés pour lesquels le sujet peut répondre par : « peu », « moyen » ou « beaucoup ».

Figure 24 figurent les profils de l'ensemble de la population à cette épreuve

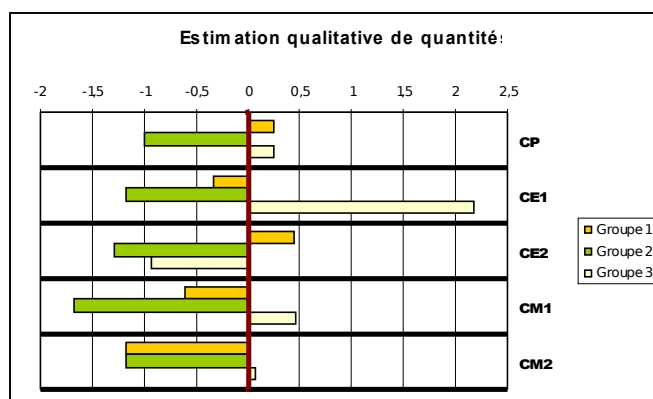


Figure 24 : Distribution des écarts-types à l'épreuve « Estimation qualitative en contexte »

Un seul enfant dysphasique (A5) se situe dans la norme faible alors que tous les autres enfants de ce groupe se situent dans la norme.

Les performances des enfants du groupe 2 sont bien inférieures (sauf pour A5 et B5 qui obtiennent les mêmes résultats) mais les performances des enfants tout-venants restent supérieures (sauf pour C3, qui reste cependant dans la norme).

Au sujet de cette évaluation des représentations du nombre, plusieurs remarques peuvent être soulevées concernant le groupe d'enfants dysphasiques :

- Tout d'abord, les représentations quantitatives numériques semblent affectées à différents niveaux et selon la modalité d'entrée.
- De plus, concernant les représentations quantitatives analogiques, les performances sont assez hétérogènes, sauf pour l'estimation visuelle.
- Enfin, la représentation qualitative semble globalement préservée du trouble.

4. Évaluation d'habiletés supérieures

4.1. Résolution d'opérations : « Calcul mental oral »

Cette épreuve fait intervenir de nombreuses compétences : le comptage endroit et envers, la récupération en mémoire des faits arithmétiques, la mémoire de travail, la maîtrise des procédures de calcul et leur signification.

Vingt-deux items sont administrés, parmi lesquels huit additions de 1 ou 2 chiffres, huit soustractions de un ou deux chiffres et six multiplications de deux nombres inférieurs à sept.

Figure 25 figurent les profils de l'ensemble de la population à cette épreuve

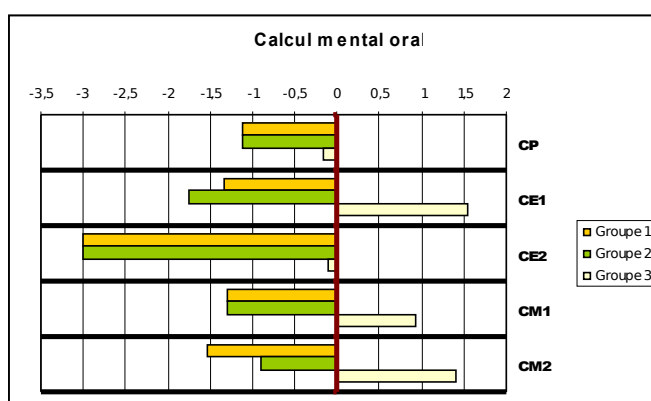


Figure 25 : Distribution des écarts-types à l'épreuve « Calcul mental oral »

Un enfant dysphasique (A3) se situe dans la zone pathologique, et les quatre autres enfants se trouvent dans la norme faible.

Leurs performances sont identiques à celles des enfants du groupe 2 pour les niveaux CP, CE2 et CM1 et inférieures à celles des enfants tout-venants.

4.2. Résolution de problèmes : « Résolution de problèmes oraux »

Cette épreuve fait également intervenir de nombreuses compétences : la mémoire de travail, la compréhension des énoncés et la capacité à choisir et à réaliser correctement une procédure de calcul.

Six courts problèmes sont présentés à l'oral dont la réponse exige la résolution d'une soustraction ou une d'addition.

Figure 26 figurent les profils de l'ensemble de la population à cette épreuve :

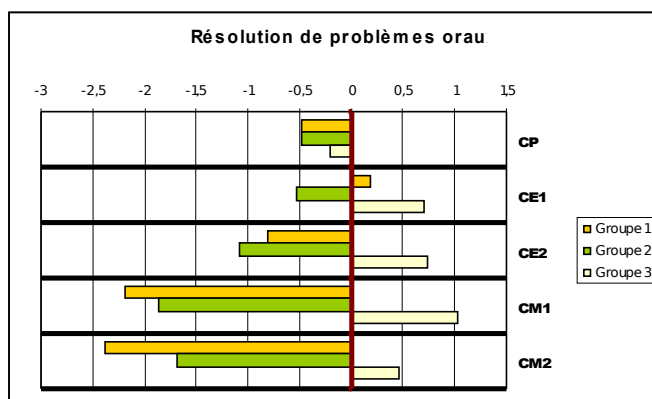


Figure 26 : Distribution des écarts-types à l'épreuve « Résolution de problèmes oraux »

Deux enfants dysphasiques (A4 et A5) se situent dans la zone pathologique, un enfant (A3) se trouve dans la norme faible et deux autres enfants (A1 et A2) sont dans la norme. Il est intéressant de remarquer que l'écart à la norme se creuse avec l'âge des sujets car les performances restent au même niveau malgré la poursuite des apprentissages.

D'ailleurs, A4 et A5 obtiennent même des résultats inférieurs à leurs pairs du groupe 2 et dans tous les cas et pour tous les niveaux, des résultats inférieurs aux enfants tout-venants.

L'évaluation des habiletés supérieures soulève également plusieurs remarques concernant le groupe d'enfants dysphasiques :

- Tout d'abord, le calcul mental oral est toujours affecté pour l'ensemble de cette population.
- De plus, la résolution de problèmes oraux semble davantage lésée dans les niveaux supérieurs qu'au début des apprentissages.

5. Synthèse des résultats au Zareki-R

5.1. Synthèse des notes totales de tous les groupes

Figure 27 figurent les profils de l'ensemble de la population à cette épreuve :

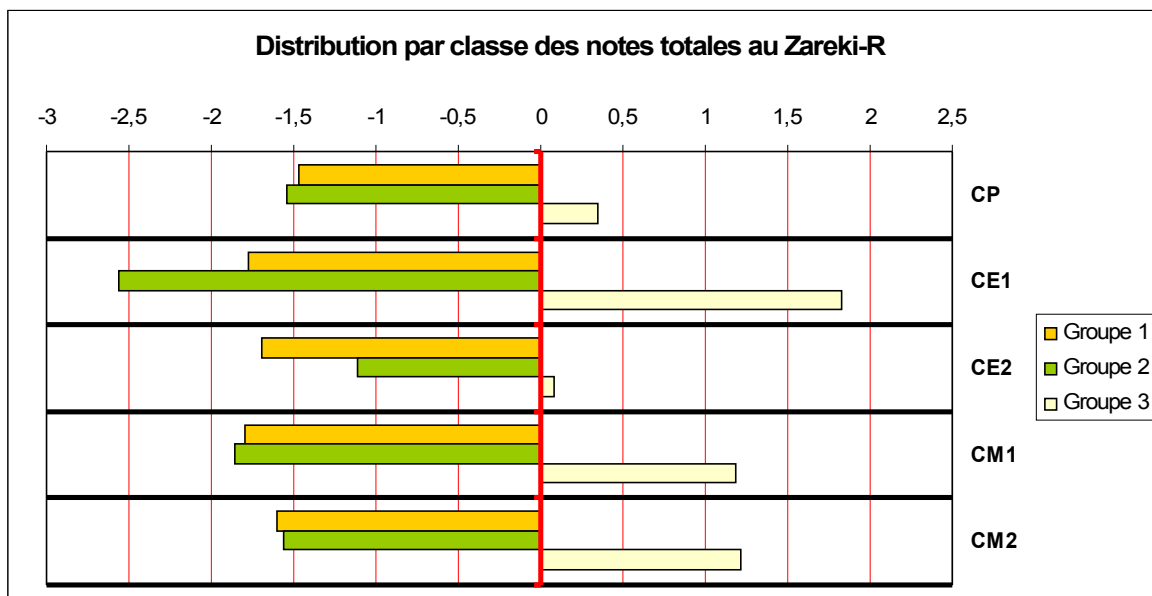


Figure 27 : Distribution par niveau scolaire des écarts-types des notes totales au Zareki-R

Il est intéressant de noter que :

- D'une part, l'ensemble de la population dysphasique obtient un score se situant dans la norme faible, voire pour certains un score à la limite avec la zone pathologique puisque A1 est à **- 1,47 ET**, A2 à **- 1,78 ET**, A3 à **- 1,69 ET**, A4 à **- 1,8 ET** et A5 à **- 1,60 ET**.
- D'autre part, leurs performances par rapport à celles des enfants présentant un trouble de la cognition mathématique sont supérieures pour les niveaux CP, CE1 et CM1, mais inférieures pour les niveaux CE2 et CM2.
- Enfin et en accord avec ce qui était attendu, les enfants tout-venants conservent toujours un niveau bien supérieur à celui des enfants des groupes 1 et 2.
-

5.2. Synthèse des performances des enfants dysphasiques

Au vu de l'ensemble de ces résultats plus ou moins hétérogènes selon les enfants et selon les épreuves, il a semblé pertinent de réaliser un tableau de synthèse (tableau XII) des résultats des enfants dysphasiques :

Épreuves	Zone pathologique	Norme faible	Norme	Norme haute
Dénombrement de points		20 %	40 %	40 %
Comptage à rebours		40 %	40 %	20 %
Dictée de nombres	80 %	20 %		
Lecture de nombres	60 %	40 %		
Répétition de chiffres	40 %	40 %	20 %	
Comparaison orale de nombres		60 %	20 %	20 %
Comparaison écrite de nombres	20 %	20 %	60 %	
Positionnement de nombres sur une échelle verticale	20 %	20 %	40 %	20 %
Estimation visuelle de quantités		40 %	20 %	40 %
Estimation qualitative en contexte		20 %	80 %	
Calcul mental oral	20 %	80 %		
Résolution de problèmes oraux	40 %	20 %	40 %	

Tableau XII : Distribution des scores des enfants dysphasiques aux épreuves du Zareki-R

Dans ce tableau, chacun des cinq enfants du groupe 1 représente 20% de la population. Il permet ainsi de synthétiser la distribution des résultats des enfants dysphasiques aux différentes épreuves du Zareki-R.

C'est sur cette base que vont être à présent analysés et discutés les compétences et les domaines de la cognition mathématique affectés par la dysphasie chez cette population d'étude.

Discussion

L'objectif principal de cette étude, auprès d'une population d'enfants dysphasiques du CP au CM2, est de préciser les domaines de la cognition mathématique affectés par la dysphasie et d'en chercher la/les origine(s).

Une première hypothèse émise est que, dans la mesure où la modalité verbale orale est présente dans toutes les épreuves du Zareki-R, comme modalité d'entrée et/ou de sortie, toutes ces épreuves doivent être affectées par le trouble. Une seconde hypothèse est que, les enfants dysphasiques ayant d'importantes difficultés à acquérir et maîtriser un système impliquant un lexique précis et une syntaxe spécifique, les épreuves évaluant la mobilisation du système numérique arabe doivent être affectées également. Enfin, une dernière hypothèse est que les épreuves faisant intervenir la modalité analogique, comme modalité d'entrée ou de sortie, doivent être mieux réussies puisque le sens du nombre devrait être préservé des troubles langagiers.

1. Rappel des principaux résultats observés

Après avoir recueilli et analysé l'ensemble des résultats, rassemblés en annexe n°1, il a paru pertinent de les classer selon différents niveaux de fiabilité. Ce classement a été établi à partir du Tableau XII et a permis de regrouper des épreuves en fonction de la répartition homogène ou hétérogène des scores.

Le tableau ci-dessous (tableau XIII) permet ainsi de mettre en évidence les résultats pour lesquels les scores sont relativement homogènes, donc susceptibles d'être représentatifs d'une tendance générale. Mais il pointe aussi les résultats qui mériteraient davantage d'investigations car, du fait de l'hétérogénéité des performances des sujets, il est impossible de conclure.

Niveaux de fiabilité des résultats observés	Critères de hiérarchisation	Épreuves concernées
HAUTE fiabilité	Scores se situant uniquement dans la zone pathologique	AUCUNE
	Scores se situant uniquement dans la zone pathologique et dans la norme faible	- Dictée de nombres - Lecture de nombres - Calcul mental oral
Fiabilité MOYENNE	Scores se situant en majorité dans la zone pathologique et dans la norme faible + absence de score dans la norme haute	- Répétition de chiffres - Résolution de problèmes oraux

FAIBLE fiabilité	Scores se situant en majorité dans la zone pathologique et dans la norme faible + présence de score(s) dans la norme haute	- Comparaison orale de nombres
	Scores se situant en majorité dans la norme et dans la norme haute + présence de score(s) dans la zone pathologique	- Comparaison écrite de nombres - Positionnement de nombres sur une échelle
Fiabilité MOYENNE	Scores se situant en majorité dans la norme et dans la norme haute + absence de score dans la zone pathologique	- Dénombrement - Comptage à rebours - Estimation visuelle - Estimation qualitative
HAUTE fiabilité	Scores se situant uniquement dans la norme et dans la norme haute	AUCUNE
	Scores se situant uniquement dans la norme haute	AUCUNE

Tableau XIII : Niveaux de fiabilité des résultats observés des enfants dysphasiques au Zareki-R

2. Critiques méthodologiques de l'étude

2.1. Critiques concernant la population d'étude

Le caractère restreint de population testée est une des principales critiques de cette étude. En effet, avec seulement un enfant par niveau scolaire, l'échantillon est très limité et le travail mené relève davantage d'une étude de cas, comme pour les études précédentes recensées dans le domaine.

Cependant, cette réduction de l'échantillon peut s'expliquer par la volonté de rassembler une population la plus homogène possible autour du diagnostic. Celui-ci a été posé par l'hôpital : un profil de dysphasie de type phonologico-syntaxique pour chaque sujet de l'étude. C'est ce contrôle des critères de recrutement qui participe grandement à la fiabilité des conclusions exprimées.

2.2. Critiques concernant l'outil utilisé

Un autre obstacle majeur qui s'est présenté dès le début de cette étude concernait le choix de l'outil d'évaluation des compétences en mathématiques. D'une part, très peu de matériel existe. D'autre part, plusieurs exigences avaient été formulées pour réaliser cette étude : d'abord, il fallait que ce matériel existe en version française pour la passation et pour l'étalonnage (ce qui avait exclu les tests comme *Dyscalculia Screener*, *Keymath-3*,...), ensuite qu'il soit d'orientation neuropsychologique (ce qui avait exclu *l'UDN II*) et enfin qu'il permette d'évaluer à lui seul l'ensemble de la population d'étude donc qu'il soit étalonné au moins du CP au

CM2 (ce qui avait exclu le *Tedi-Math*). Le Zareki-R était donc la seule batterie de tests disponible remplissant l'ensemble de ces critères.

Or, cette batterie est critiquable sous certains aspects. Tout d'abord, la modalité auditive-verbale est fortement dominante et omniprésente, ce qui implique que les sujets soient capables de traiter correctement les consignes et les énoncés dans cette modalité. De plus, les énoncés proposés ne permettent pas de détailler les compétences déficitaires pour les sujets les plus jeunes comme les plus âgés. Le fait que la batterie couvre un aussi large échantillon de population fait que certains énoncés sont trop difficiles ou trop simples selon l'âge des sujets. Enfin, et notamment pour les sujets les plus âgés, certaines notions importantes dans les apprentissages scolaires sont manquantes dans l'évaluation, comme le système en base 10, la division, les fractions,...

Le Zareki-R constitue donc un test assez global des compétences mathématiques, mais ne permet pas d'explorer l'ensemble des acquisitions à travers l'ensemble des modalités disponibles.

2.3. Critiques concernant les écarts-types de référence

Enfin, un autre problème majeur a été soulevé lors du recueil et de l'analyse des résultats, concernant le choix des écarts-types de référence fixant les limites entre zone pathologique, norme faible, norme et norme haute.

En effet, dans la mesure où la classification internationale du DSM V avait été publiée en mai 2013, il aurait été pertinent de l'utiliser comme référence. Toutefois, les différents diagnostics sur lesquels reposait le recrutement de la population avaient été établis sur la base de la classification du DSM IV. Ce sont donc les écarts-types de référence du DSM IV qui ont été retenus.

Ainsi, et afin de repérer des troubles significatifs auprès de la population d'étude, les écarts-types suivants (tableau XIV) ont servi de référence pour classer les compétences des enfants testés :

Écarts-types de référence	Situation par rapport à la norme
$\leq - 1,8 \text{ ET}$	Zone pathologique
$] - 1,8 \text{ ET} ; - 0,8 \text{ ET}]$	Norme faible
$] - 0,8 \text{ ET} ; + 0,8 \text{ ET} [$	Norme
$\geq + 0,8 \text{ ET}$	Norme haute

Tableau XIV : Écarts-types de référence choisis dans cette étude

3. Discussion des principaux résultats

La discussion des principaux résultats obtenus à cette étude se fera selon les trois principaux axes mis en évidence dans le tableau XIII, axes élaborés selon différents critères de fiabilité des résultats. De plus, les données des études françaises précédentes serviront de points de comparaison avec les observations recueillies lors de la présente étude. Toutes les données comparatives sont d'ailleurs rassemblées dans l'annexe n°2.

3.1. Résultats de « haute fiabilité »

Pour rappel, les épreuves ayant obtenu des « résultats suggérant une haute fiabilité » sont celles pour lesquelles l'intégralité des scores est soit affectée soit préservée.

3.1.1. Les domaines intégralement préservés

Aucune épreuve de cette étude n'a permis de mettre en évidence des domaines de la cognition mathématique entièrement préservés chez la population d'enfants dysphasiques. En effet, aucune épreuve n'obtient de scores se situant uniquement dans la norme haute ou uniquement dans la norme et la norme haute.

La comparaison des résultats aux épreuves du Zareki-R à ceux d'épreuves similaires dans les études précédentes, met en évidence la même observation. Dès lors que la modalité verbale orale intervient, comme modalité d'entrée et/ou de sortie, l'épreuve est affectée.

Cela vient confirmer l'une des hypothèses initiales de cette étude : il ne semble pas y avoir de domaine de la cognition mathématique entièrement préservé de la dysphasie quand la modalité verbale orale intervient.

3.1.2. Les domaines intégralement affectés

Trois épreuves mettent en évidence deux domaines de la cognition mathématique systématiquement affectés par la dysphasie : le transcodage, comme le montrent les épreuves de lecture et de dictée de nombres, ainsi que le calcul mental oral. En effet, les scores obtenus à ces trois épreuves se situent uniquement dans la zone pathologique et dans la norme faible. L'épreuve de dictée de nombres obtient des scores compris entre $-1,33$ et $-2,37$ écarts-types, l'épreuve de lecture de nombres des scores entre $-1,33$ et $-2,29$ écarts-types, et l'épreuve de calcul mental oral des scores entre $-1,33$ et -3 écarts-types.

Les épreuves de transcodage :

Concernant les épreuves évaluant les capacités de transcodage, deux remarques peuvent être faites au préalable, basées sur les détails des résultats rassemblés en annexes n°3 et n°4. Jusqu'au CE2, le niveau en lecture de nombres est égal au niveau en dictée de nombres et le transcodage de nombres à deux chiffres est systématiquement réussi. Mais à partir du CM1, le niveau en lecture de nombres devient supérieur à celui en dictée de nombres. Le passage du code arabe au code verbal semble donc mieux réussi que l'inverse. Cette observation concorde avec la tendance observée par Vandenborre (2002) qui insistait sur le fait que les difficultés de transcodage relevaient davantage de difficultés de mobilisation du lexique arabe que du lexique verbal oral.

De plus, concernant le type d'erreurs commises lors de transcodages, Deloche et Seron (1987) insistent sur le fait que la majorité des erreurs produites étaient de type syntaxique, c'est-à-dire relatives à la connaissance des règles régissant le système positionnel. Dans l'épreuve de dictée de nombres de cette étude, 41% des erreurs sont de type syntaxique, 41% sont de type lexical et 18% sont des absences de réponse. Il semblerait qu'il y ait un équilibre entre les deux types d'erreurs commises en dictée de nombres. Concernant l'épreuve de lecture de nombres, 33% des erreurs sont de type syntaxique, 19% sont de type lexical et 48% sont des absences de réponse. Il devient ici impossible de conclure sur le type d'erreurs majoritairement commises. En effet, aucune donnée n'a permis d'analyser cette absence de réponse et leur éventuelle répartition dans la mesure où les sujets préfèrent, même sur incitation, ne pas donner de réponse plutôt que de se tromper.

Enfin, concernant les scores totaux obtenus à ces épreuves de transcodage, les données de cette étude sont en adéquation avec les données littéraires précédentes. En effet, il semblerait qu'il y ait un déficit d'acquisition du codage écrit chez ces enfants dysphasiques. Ce déficit serait majoritairement provoqué par une non-maîtrise de la valeur positionnelle des chiffres dans le nombre, mais également par une faiblesse du lexique numérique. A ces difficultés spécifiques au système numérique arabe peut certainement s'ajouter une faiblesse de la modalité verbale orale (en tant que modalité d'entrée ou de sortie et dans le maintien des informations auditivo-verbales en mémoire de travail).

Le calcul mental oral :

Deux remarques préalables peuvent être faites concernant ces épreuves basées sur les détails des résultats rassemblés en annexes n°5. En accord avec les données de la littérature (Fayol, 1990), il apparaît que l'addition est l'opération la mieux réussie pour l'ensemble des sujets (45% de réussite), suivie de la soustraction (25% de réussite) puis de la multiplication (17% de réussite). Ces pourcentages de réussite sont concordants avec l'ordre d'acquisition de ces opérations ainsi qu'avec leur degré de complexité. Il est intéressant de noter que, pour cette même population d'enfants dysphasiques, il faut attendre le CE1 pour que les additions commencent à être réussies, le CE2 pour les soustractions et le CM1 pour les multiplications. Cela signe, non seulement une maîtrise insuffisante de ces procédures, mais aussi un retard significatif dans leur acquisition par rapport aux enfants tout-venants.

Concernant les additions et les soustractions, la littérature indique qu'en premier lieu les enfants font appel à leurs connaissances procédurales puis se construisent des connaissances déclaratives qui accélèrent la résolution (Fayol, 1990). Or, le temps de résolution mis par les sujets de la présente étude indique le passage systématique par la procédure de comptage (endroit ou envers selon l'opération), et cela à tous les niveaux. De plus, de fréquentes erreurs sont relevées dans l'exécution de la procédure de calcul (ajout/oubli d'une unité) et dans le passage à la dizaine (oubli d'une dizaine quand il y a une retenue). Cependant, il semblerait que les connaissances conceptuelles relatives à chaque opération soient acquises pour ces sujets puisqu'ils vont toujours donner, soit un nombre plus grand que les initiaux dans les additions, soit un nombre plus petit dans les soustractions. Toutefois, aucune épreuve ne permet d'évaluer spécifiquement l'accès au concept.

Concernant les multiplications, la littérature indique que, contrairement aux deux opérations précédentes, ce sont les connaissances déclaratives qui sont mobilisées en première intention et que l'enfant a recours à la procédure (additions itératives) en cas de difficultés (Vandenborre, 2002). Dans cette étude, il est intéressant de noter que, d'une part, du CP au CE2, les sujets additionnent systématiquement les nombres au lieu de les multiplier : il est possible que le concept leur soit étranger ou que les tables ne soient pas connues. Certaines erreurs commises au CM1 et au CM2 sont de cet ordre, ce qui indique une sorte de

parasitage persistant de l'addition sur la multiplication, que les sujets ne parviennent pas à inhiber. D'autre part et toujours dans cette étude, la mobilisation des connaissances déclaratives est majoritaire, mais pas exclusive, comme l'indique le temps de réalisation de l'opération. Les sujets recourent donc bien à la procédure lorsqu'ils ne parviennent plus à mobiliser leurs connaissances déclaratives. Cependant, ce recours n'est pas forcément porteur de réussite, ce qui peut indiquer une surcharge de la mémoire de travail dans ce type de procédure (du point de vue de l'empan phonologique, mais aussi de l'ordre de la séquence à retenir).

Enfin, la théorie a mis en évidence qu'à partir du CE2, un passage du procédural au déclaratif s'opère dans la résolution des additions et des soustractions (Fayol, 2008). Or, ce n'est pas le cas dans cette étude, puisque les procédures perdurent jusque dans les niveaux les plus élevés. Cela peut en partie s'expliquer par le fait que la rigidité des procédures mises en place dans la dysphasie empêche parfois l'utilisation de nouveaux types de résolution (comme la mobilisation des connaissances déclaratives) dans la mesure où un premier modèle de résolution fonctionne (Leclercq et Leroy, 2012).

3.2. Résultats de « fiabilité moyenne »

Pour rappel, les épreuves ayant obtenu des « résultats suggérant une fiabilité moyenne » sont celles pour lesquelles la majorité des scores est soit affectée soit préservée.

3.2.1. Les domaines majoritairement préservés

Quatre épreuves tendent à être partiellement préservées de la dysphasie : le dénombrement et le comptage oral à rebours, ainsi que l'estimation visuelle de quantités et l'estimation qualitative en contexte. En effet, les scores obtenus à ces quatre épreuves se situent en majorité dans la norme et dans la norme haute. L'épreuve de dénombrement obtient des scores compris entre + 0,89 ET -1 écarts-types, l'épreuve de comptage oral à rebours des scores entre + 0,08 et - 1,64 écarts-types, l'épreuve d'estimation visuelle de quantités des scores entre + 1 et - 1,78 écarts-types, et enfin l'épreuve d'estimation qualitative en contexte des scores entre + 0,45 et - 1,17 écarts-types.

Le dénombrement :

Pour l'ensemble des sujets de cette étude, la procédure de dénombrement semble globalement préservée, comme l'indiquent les résultats détaillés de l'épreuve en annexe n°6. Pour chaque production, contrairement à ce qui avait été observé par Camos et al. (1998), la séquence verbale est toujours correcte : la chaîne numérique verbale est correctement récitée à l'endroit. Il faut toutefois noter que cette épreuve s'arrête au nombre 18. Les sujets ont donc été confrontés à des unités qu'ils connaissaient bien et pour lesquelles la chaîne numérique était quasiment automatisée. Cet automatisme semble donc préservé de la dysphasie chez les sujets de cette étude.

En revanche, et là encore contrairement à l'étude de Camos et al. (1998), c'est le contrôle du pointage qui pose problème et qui a été l'unique source d'erreurs dans cette tâche. L'ensemble des sujets mobilisaient une stratégie immature de comptage oral et de pointage digital même lorsque cela ne leur était pas demandé. L'erreur de pointage la plus souvent commise consistait à compter un point deux fois. L'observation de la stratégie des enfants semblait en effet mettre en évidence un balayage relativement aléatoire. Cela amène à se poser la question de savoir si des troubles pratiques pouvaient être une comorbidité de la dysphasie dans cet échantillon.

Enfin, il est intéressant de noter que toutes les réponses verbales sont correctement transcodées à l'écrit. Là encore, les items ne dépassent pas le nombre 18, donc les sujets restent dans des numérosités très usitées et quasiment automatisées. Cela peut expliquer en partie cette réussite alors que les épreuves spécifiques de transcodage ne le sont pas du tout.

Le comptage oral à rebours :

Cette épreuve permet de contrôler le dernier niveau d'élaboration de la chaîne numérique verbale : la chaîne bidirectionnelle, qui, selon la littérature, se met en place pendant l'année de CP (Fayol, 1990). Dans cette étude, il faut attendre le CE1 pour que les sujets y parviennent, ce qui suggère un retard d'élaboration de cette chaîne numérique orale. Les résultats détaillés de cette épreuve figurent en annexe n°7.

De plus, il y a toujours au moins une erreur dans l'une des deux séries proposées, ce qui indique que l'élaboration est non seulement décalée dans le

temps, mais aussi qu'elle est mal maîtrisée. Dans la première série, de 23 à 0, les deux erreurs commises concernent les dizaines particulières. Dans la deuxième série, de 67 à 54, malgré le nombre élevé d'hésitations (deux au minimum par sujet), une seule erreur est commise concernant une unité pour une autre. Il est intéressant de noter qu'il n'y a aucune erreur d'un pas de un, ce qui semble indiquer que la successivité immédiate est bien respectée.

Selon les hypothèses de cette étude, cette épreuve ne devait pas être aussi bien réussie, du fait de l'importance supposée de la charge en mémoire de travail auditivo-verbale. Or, la mémoire de travail n'entre pas dans les épreuves semblant être systématiquement affectées par la dysphasie, ce qui peut expliquer la réussite partielle à cette épreuve de comptage à rebours. Il est également possible que les sujets, au lieu de mobiliser leur mémoire de travail auditivo-verbale, aient sollicité leur mémoire visuelle en opérant un simple transcodage arabo-verbal de nombres à un ou deux chiffres (ce qui était réussi dans les épreuves de lecture et de dictée).

L'estimation visuelle :

Selon les données de la littérature, les représentations des quantités évoluent avec l'âge (Piazza, 2010). Cette remarque ne se vérifie pas exactement dans cette étude puisqu'il n'y a pas d'amélioration progressive des résultats : ce sont les niveaux CE1 et CM2 qui obtiennent les meilleurs résultats, tandis que les niveaux CP, CE2 et CM1 plafonnent au même score. Les résultats détaillés de cette épreuve figurent en annexe n°8.

L'expérience a montré que l'imprécision croît linéairement à mesure que les numérosités grandissent (Piazza, 2010). Cette observation semble se vérifier dans cette étude puisque tous les sujets donnent une estimation juste pour l'item inférieur à 10, mais fausse au-delà de 10. Cependant, il convient de garder à l'esprit que cette épreuve mobilisait la modalité verbale oral en tant que modalité de sortie, et que donc elle impliquait la maîtrise du lexique arabe ainsi que des règles positionnelles. Il est donc possible que les erreurs relevées soient la conséquence des difficultés relatives à la maîtrise du système numérique arabe.

Enfin, il est intéressant de noter que l'estimation relative d'une quantité par rapport à l'autre est toujours réussie pour l'ensemble des sujets. Cela peut signifier que la dysphasie n'affecte pas les représentations analogiques des sujets de l'étude.

L'estimation qualitative en contexte :

Ce type d'épreuve exige du sujet qu'il prenne en compte, non seulement la numérosité énoncée, mais aussi le contexte dans lequel ce nombre s'insère. Elle est ainsi fortement dépendante des connaissances du sujet sur le monde, donc étroitement liée à son niveau socio-culturel. Cependant, aucune évaluation de cet aspect n'a été réalisée dans cette étude, ce qui ne permet pas de démontrer l'impact de ce facteur sur les résultats. De plus, les études précédentes n'ont pas évalué cette composante, ce qui ne permet pas de comparaison avec les résultats de la présente étude. Les résultats détaillés de cette épreuve figurent en annexe n°9.

Les erreurs commises par les sujets de cette étude consistaient toutes à ne prendre en compte que le nombre, sans le relier au contexte. Ce sont les contextes les plus fréquemment rencontrés (comme le nombre d'enfants dans une classe) les mieux réussis. Étaient majoritairement échoués ceux qui présentaient une grande numérosité tout en représentant une petite quantité en contexte (comme le nombre de mots dans un livre).

Le fait que cette épreuve entre dans la catégorie des domaines partiellement préservés peut indiquer que le support contextuel soit un facteur aidant pour ces sujets dysphasiques, bien que parfois la numérosité ne puisse pas être inhibée.

3.2.2. Les domaines majoritairement affectés

Deux épreuves tendent à être partiellement affectées par la dysphasie : la résolution de problèmes oraux et la répétition de chiffres. En effet, les scores obtenus à ces deux épreuves se situent en majorité dans la zone pathologique et dans la norme faible. L'épreuve de résolution de problèmes oraux obtient des scores compris entre $-2,39$ et $-0,49$ écarts-types, et l'épreuve de répétition de chiffres des scores entre $-2,03$ et $-0,48$ écarts-types.

La résolution de problèmes oraux :

En se référant aux hypothèses émises au début de cette étude, cette épreuve aurait dû faire partie de celles intégralement affectées par la dysphasie, du fait des nombreux traitements cognitifs qu'elle implique : compréhension de l'énoncé, sélection de l'opération adéquate, réalisation de cette opération grâce à la rétention en mémoire des nombres cibles, restitution du résultat et justifications (Mazeau, 1999).

Or, les résultats, détaillés en annexe n°10, indiquent que cette épreuve n'est complètement échouée pour l'ensemble des sujets. Cela est surprenant, d'une part parce qu'il s'agit de l'épreuve sollicitant le plus grand nombre de traitements (cf. paragraphe précédent), et d'autre part parce que certaines étapes intermédiaires (comme le calcul mental oral et la rétention en mémoire), lorsqu'elles étaient évaluées séparément, pointaient déjà des difficultés. Une des explications possibles peut venir du fait que le calcul mental entouré d'un contexte s'en trouve facilité (comme pour l'estimation qualitative en contexte), que les nombres à traiter sont de petites numérosités n'excédant pas le nombre seize donc des nombres fréquemment manipulés, ou encore que les opérations demandées (additions et soustractions) sont globalement maîtrisées.

Cependant, la résolution de problèmes oraux fait quand même bien partie des domaines majoritairement affectés par la dysphasie. Il est intéressant de noter que les sujets ont besoin d'une répétition systématique de l'énoncé pour réaliser correctement le calcul approprié : cela suggère une surcharge de la mémoire de travail. De plus, la plupart des erreurs de calcul commises ont une unité d'écart avec la réponse attendue, ce qui peut être en faveur de difficultés dans l'exécution des procédures de calcul. En outre et contrairement à l'épreuve de calcul mental oral, il y a eu beaucoup plus de non-réponses que de réponses données erronées, ce qui peut indiquer que la prise en compte du contexte donne un cadre au raisonnement qui limite les réponses hasardeuses ou incohérentes compte-tenu de l'énoncé initial. Cependant, les justifications de calcul étaient très difficiles à obtenir car, après restitution du résultat, les sujets ne s'en souvenaient plus.

Enfin, cette épreuve de résolution de problèmes oraux est la seule épreuve pour laquelle les écarts-types baissent progressivement jusqu'à se trouver dans la zone pathologique pour les enfants de CM1 et CM2. En effet, à partir du CE1, les scores plafonnent et vont même en décroissant pour les niveaux supérieurs. Est-ce l'indication d'un seuil de saturation du fait des multiples traitements à réaliser ? Ce type de conclusion ne peut pas se faire sur la base réduite de l'échantillon de cette étude.

La répétition de chiffres :

Cette épreuve standard n'intervient pas dans le calcul de la note totale obtenue au Zareki-R puisqu'elle se rencontre dans d'autres domaines que celui de la cognition mathématique. Toutefois, elle n'en demeure pas moins une compétence transversale fondamentale donnant de premiers indices sur la mémoire auditivo-verbale. Les résultats détaillés de cette épreuve figurent en annexe n°11.

Concernant l'empan de chiffres à l'endroit, permettant d'évaluer la mémoire auditivo-verbale à court terme, les performances des sujets sont assez hétérogènes et ne semblent pas évoluer avec le niveau scolaire. En effet, les sujets de CP et CE2 ont un empan respectif de 3 et 2, et les sujets de CE1, CM1 et CM2 un empan de 6. Ces trois sujets sont dans la norme, mais les deux précédents présentent des difficultés pour retenir une information à court terme.

Concernant l'empan envers, permettant d'évaluer la mémoire auditivo-verbale de travail, les performances des sujets sont, cette fois, relativement homogènes, mais ne semblent pas non plus évoluer avec le niveau scolaire. Les sujets ont un empan compris entre 3 et 4. Les données de la littérature indiquent que l'empan de chiffres à l'envers est en général inférieur d'un à deux chiffres par rapport à l'empan de chiffres à l'endroit. De fait, il est intéressant de noter que d'une part, les sujets de CP et CE2 qui présentaient un déficit de la mémoire auditivo-verbale à court terme ont un empan de chiffres à l'envers supérieur d'un chiffre. Quant aux enfants ayant eu un empan de chiffres à l'endroit à 6, ceux de CE1 et CM1 ont un empan de chiffres à l'envers à 3, et celui de CM2 à 4. Dans tous les cas, la norme attendue pour évaluer la mémoire auditivo-verbale de travail se situe aux alentours de 5, et l'ensemble des sujets de cette étude se situent sous cette norme.

Les sujets de cette étude semblent donc présenter une faiblesse plus ou moins importante de la mémoire auditivo-verbale, permettant d'expliquer en partie l'utilisation de stratégies immatures (ex : comptage sur les doigts, comptage oral avec pointage), utilisées pour compenser de faibles capacités de mémoire de travail (Noël, 2005a). Elle pourrait également justifier de faibles performances dans les épreuves nécessitant une manipulation mentale des nombres (comme celle de calcul mental oral ou de résolution de problèmes oraux).

3.3. Résultats de « faible fiabilité »

Pour rappel, les épreuves ayant obtenu des « résultats suggérant une faible fiabilité » sont celles pour lesquelles l'ensemble des scores est trop hétérogène, ne permettant pas de conclure sur la réussite ou l'échec des épreuves concernées.

Trois épreuves sont concernées. Il s'agit de la comparaison orale et la comparaison écrite de nombres, ainsi que l'épreuve de positionnement de nombres sur une échelle verticale. Les scores obtenus à ces trois épreuves se répartissent au-dessus et au-dessous de la norme. L'épreuve de comparaison orale de nombres obtient des scores compris entre $- 0,96$ et $+ 1,41$ écarts-types, l'épreuve de comparaison écrite de nombres des scores entre $- 2,25$ et $+ 0,75$ écarts-types, et l'épreuve de positionnement de nombres sur une échelle verticale des scores entre $- 2,13$ et $+ 0,92$ écarts-types. Les résultats détaillés de ces trois épreuves figurent respectivement en annexe n°12, n°13 et n°14.

Il est impossible de conclure à partir des résultats obtenus à ces épreuves : il existe une trop grande hétérogénéité entre les résultats et ceci nécessiterait une vérification auprès d'une population plus nombreuse. Les écarts entre les valeurs extrêmes de chaque épreuve sont supérieurs à 2 écarts-types. : l'épreuve de comparaison orale de nombres obtient un écart de 2,37 écarts-types entre les valeurs extrêmes, celle de comparaison écrite obtient un écart de 3,00 écarts-types et celle de positionnement un écart de 3,05 écarts-types.

En effectuant un parallèle entre les épreuves de comparaison orale et écrite, il semblerait que la comparaison écrite de chiffres soit mieux réussie qu'en modalité orale où un seul sujet est dans la norme par rapport à trois sujets en modalité écrite. Quant à l'épreuve de positionnement de nombres sur une échelle verticale, aucune remarque ne peut être faite dans la mesure où chaque sujet obtient un résultat d'un niveau d'affection différent de celui des autres sujets du groupe.

Il convient de rappeler que ces remarques partielles sont à prendre avec beaucoup de précaution du fait de l'hétérogénéité des résultats et devront être vérifiées auprès d'une population plus importante. Ainsi, soit les épreuves s'orienteront vers les domaines affectés ou préservés, soit l'hétérogénéité perdurera, auquel cas des épreuves complémentaires devront être proposées pour tenter de déceler l'origine de ces disparités.

4. Place de l'étude et perspectives orthophoniques

Place de l'étude dans la recherche sur la dysphasie :

Ce trouble spécifique du langage oral qu'est la dysphasie a déjà fait l'objet de nombreuses études scientifiques. Néanmoins, ses impacts sur la cognition mathématique n'ont été que très peu abordés, au contraire des recherches sur ses liens avec le langage oral ou écrit. La littérature anglophone est néanmoins plus riche que la littérature francophone, mais les systèmes linguistiques différant par de nombreux aspects, des comparaisons précises sont difficiles à établir.

Au sein du débat plus général sur la place du langage dans la cognition mathématique, les résultats de cette étude tendraient à soutenir que la cognition mathématique se construit en interaction avec le développement du langage, puisque dès lors que la modalité verbale oral intervient, les résultats aux épreuves sont affectés. Ces résultats suggèrent donc que le langage joue un rôle important dans la construction de la cognition mathématique.

Perspectives orthophoniques :

Compte-tenu de la place importante occupée par les mathématiques au quotidien et dans les apprentissages scolaires, il paraît nécessaire de s'intéresser à ce domaine dans le cadre de la prise en charge des enfants dysphasiques. Cette étude tend à montrer que des difficultés sont déjà décelables au CP et ne parviennent pas toujours à être compensées dans les niveaux supérieurs. Or, si les difficultés apparaissent en CP, c'est vers les pré-requis nécessaires à la construction de la cognition mathématique que la prise en charge précoce doit s'orienter.

Des travaux scientifiques s'emploient à mettre en évidence les compétences numériques précoces, ainsi que les signes d'appel et les facteurs de risque auxquels il convient d'être vigilant dans les domaines de la cognition mathématique (comme la chaîne numérique verbale dont l'apprentissage débute en maternelle). Dans la mesure où le diagnostic de dysphasie se pose dans le temps, il semblerait même judicieux d'intégrer préventivement les pré-requis mathématiques à l'évaluation et à la prise en charge précoce d'enfants reçus dans les cabinets d'orthophonie pour des troubles ou retards du langage oral.

Les enfants dysphasiques se trouvent déjà en situation difficile sur le plan du langage, d'abord oral puis écrit. Si un travail parallèle et précoce des acquisitions numériques était mené, cela pourrait leur permettre d'éviter une accumulation de difficultés et d'échecs.

Conclusion

La présente étude avait pour objectif principal de préciser les composantes de la cognition mathématique affectées par la dysphasie auprès d'une population d'enfants du CP au CM2, en regard d'une population d'enfants contrôles et d'enfants non dysphasiques présentant un trouble de la cognition mathématique.

Les notes totales obtenues par la population d'enfants dysphasiques à la batterie administrée, le Zareki-R, les situent entre $-1,47$ et $-1,8$ écarts-types de la normalité des enfants de même niveau scolaire. Ils ne présentent donc pas un trouble avéré de la cognition mathématique, mais se situent tout de même à la limite de la zone pathologique.

Les deux domaines affectés chez l'intégralité de cette population sont les **transcodages** (lecture et dictée de nombres) et le **calcul mental oral**.

> Pour le premier domaine, il semblerait que ce soit dû à une fragilité du système numérique arabe. Cela en raison d'une connaissance partielle du lexique numérique arabe, mais aussi de lacunes dans la maîtrise du système positionnel qui régit les règles syntaxiques de ce système de notation.

> Pour le second domaine, il semblerait qu'il y ait un retard dans l'acquisition des principales opérations et des connaissances conceptuelles qui leur sont liées. De plus, malgré un surinvestissement des connaissances procédurales au détriment des connaissances déclaratives, de nombreuses erreurs dans l'exécution des procédures sont relevées, pouvant être mises en relation avec une faiblesse de la mémoire de travail qui permet le traitement et la manipulation des nombres.

Deux autres domaines sont affectés chez une majorité de cette population : la **résolution de problèmes oraux** et la **répétition de chiffres**.

> Pour le premier domaine, il semblerait que l'exécution de toutes les étapes nécessaires à l'exécution ainsi que la mobilisation des diverses compétences, constituent une charge cognitive importante qui n'est pas toujours assumée.

> Pour le second domaine, il apparaît que la mémoire à court terme est pour certains très faible, et pour d'autres dans la norme. En revanche, la mémoire de travail est systématiquement en-dessous du seuil escompté. Ce déficit mnésique participerait donc aux difficultés relevées dans les différents traitements demandés.

Aucun domaine n'est totalement préservé chez l'intégralité de cette population. Cela peut s'expliquer par le fait que, dans l'ensemble des épreuves, la modalité verbale orale est omniprésente (en modalité d'entrée et/ou de sortie).

Quatre domaines sont préservés chez une majorité de cette population : le **dénombrement**, le **comptage oral à rebours**, l'**estimation visuelle** et l'**estimation qualitative**. La réussite partielle à ces épreuves peut s'expliquer :

Pour les deux premiers domaines, par le fait que les items administrés concernent des numérosités relativement petites donc fréquemment rencontrées.

Pour les deux derniers domaines, par le fait qu'ils approchent le sens du nombre, mais tout en impliquant la modalité verbale orale, présente en modalité de sortie ou d'entrée.

Néanmoins, les résultats de cette étude ne sont pas généralisables à l'ensemble de la population d'enfants dysphasiques du CP au CM2, en raison de la faible représentation de chaque niveau scolaire (un enfant par niveau). Cette étude constitue une étude de cas, qui invite à poursuivre les investigations.

A ce propos, il serait intéressant de réaliser une évaluation similaire auprès d'une population plus importante et recrutée sur des critères encore plus contrôlés (selon le niveau socio-culturel ou la répartition géographique). Cela pourrait permettre d'infirmer ou de confirmer les résultats de la présente étude ou encore notamment de conclure sur certaines épreuves qui n'étaient pas représentatives de tendance particulière.

Un autre travail pourrait être de comparer les résultats de cette étude à ceux d'une étude où la population recrutée présenterait un autre profil de dysphasie : une dysphasie réceptive ou une dysphasie mixte. Les variables langagières impactant sur la cognition mathématique étant différentes, les axes de prise en charge le seraient aussi.

Enfin, il est intéressant de noter qu'une nouvelle version du Tedi-Math pour les sujets de 8 à 12 ans, publiée prochainement et faisant suite à la version déjà existante pour les sujets de 4 à 8 ans, pourrait permettre de soulever de nouvelles remarques et d'investiguer d'autres champs de compétences à travers d'autres modalités.

Bibliographie

- ANSARI D (2009). La neuro-imagerie du développement numérique et mathématique. *Encyclopédie du développement du langage et de l'alphabétisation* : 1-9. [<http://literacyencyclopedia.ca/> consulté le 06/09/10/2014].
- ANSARI D, KARMILOFF-SMITH A (2002). Atypical trajectories of number development : a neuroconstructivist perspective. *Trends in Cognitive Sciences*, 6, 511-516.
- AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION (2003). *DSM-IV-TR : Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux* (4e Ed. Rév.). Paris : Masson.
- AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders DSM-5* (5e Ed.). Washington, DC : American Psychiatric Association.
- BADIAN N (1999). Persistent arithmetic, reading, or arithmetic and reading disability. *Annals of Dyslexia*, 49 : 43-70.
- BARROUILLET P, CAMOS V, PERRUCHET P, SERON X (2004). ADAPT : a developmental asemantic and procedural model for transcoding from verbal to arabic numerals. *Psychological Review*, 111 : 368-394.
- BISHOP D (2004). Specific language impairment : diagnostic dilemmas. In : Verhoeven L, Van Balkom H. *Classification of developmental language disorders : theoretical issues and clinical implications*. New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates : 309-326.
- BISHOP D, NORTH T, DONLAN C (1996). Nonword repetition as a behavioural marker for inherited language impairment : evidence from a twin study. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 37 : 391-403.
- BOTTING N (2005). Non verbal cognitive development and language impairment. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 46 : 317-326.
- BOTTING N, CONTI-RAMSDEN G (2004). Characteristics of children with specific language impairment. In : Verhoeven L, Van Balkom H. *Classification of developmental language disorders : theoretical issues and clinical implications*. New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates : 21-38.
- BRANNON E (2002). The development of ordinal numerical knowledge in infancy. *Cognition*, 83 : 223-240.
- BRISCOE J, BISHOP D, NORBURY C (2001). Phonological processing, language, and literacy : a comparison of children with mild-to-moderate sensorineural hearing loss and those with specific language impairment. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 42 : 329-340.
- BULL R, SCERIF G (2001). Executive functioning as a predictor of children's mathematics ability : inhibition, switching and working memory. *Developmental Neuropsychology*, 19 : 273-293.
- CAMOS V (2004). Le rôle du langage dans les apprentissages numériques. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 76-77 : 111-116.

- CAMOS V, FAYOL M, LACERT P, BARDI A, LAQUIERE C (1998). Le dénombrement chez des enfants dysphasiques et des enfants dyspraxiques. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 48 : 86-91.
- CAMPBELL W, SKARAKIS-DOYLE E (2007). School-aged children with SLI : the ICF as a framework for collaborative service delivery. *Journal of Communication Disorders*, 40 : 513-535.
- CAREY S (2001). Cognitive foundations of arithmetic : evolution and ontogenesis. *Mind and Language*, 16 : 37-55.
- CAREY S (2004). Bootstrapping & the origin of concepts. *Daedalus*, 133 : 59-68.
- CAREY S (2011). Précis of The Origine of Concepts. *Behavioral and Brain Sciences*, 34 : 113-167.
- CHIAT S (2001). Mapping theories of developmental language impairment : premises, predictions and evidence. *Language and cognitive processus*, 16 : 113-142.
- CHOMSKY N (1965). *Aspects of the theory of syntax*. Cambridge, The MIT Press.
- COHEN KADOSH R (2009). Causes neurocognitives des troubles et des difficultés numériques. *Encyclopédie du développement du langage et de l'alphabétisation* : 1-8. [<http://literacyencyclopedia.ca/> consulté le 06/09/10/2014].
- DANTZIG T (1967). *Number, the language of science*. New York, The Free Press.
- DE CORTE E, VERSCHAFFEL L (2008). Apprendre et enseigner les mathématiques : un cadre conceptuel pour concevoir des environnements d'enseignement-apprentissage stimulants. In : Grahay M, Verschaffel L, De Corte E, Grégoire J (Eds.). *Enseignement et apprentissage des mathématiques. Que disent les recherches psychopédagogiques*. Bruxelles, De Boeck supérieur : 25-54
- DEHAENE S (2008). Les fondements cognitifs de l'arithmétique élémentaire. *Annuaire du Collège de France*, 108: 277-301. [<http://www.annuaire-cdf.org/> consulté le 06/09/10/2014].
- DEHAENE S (2010). *La Bosse des maths : Quinze ans après*. Paris, Odile Jacob.
- DEHAENE S, COHEN L (1995). Towards an anatomical and functional model of number processing. *Mathematical Cognition*, 1 : 83-120.
- DEHAENE S, COHEN L (2000). Un modèle anatomique et fonctionnel de l'arithmétique mentale. In : Pesenti M, Seron X (Eds.). *Neuropsychologie du calcul et du traitement des nombres*. Marseille, Solal : 191-232.
- DEHAENE S, MOLKO N, WILSON A (2004). Dyscalculie : le sens perdu des nombres. *La Recherche*, 379 : 42-47.
- DEHAENE S, PIAZZA M, PINEL P, COHEN L (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cognitive neuropsychology*, 20 : 487-506.

- DELLATOLAS G, VON ASTER M (2006). *ZAREKI-R, Batterie pour l'évaluation du traitement des nombres et du calcul chez l'enfant*. Paris : Ecpa
- DELOCHE G, SERON X (1987). Numerical transcoding : a general production model. In : Deloche G, Seron X (Eds.). *Mathematical Disabilities : A cognitive neuropsychological perspective*. Hillsdale, Lawrence Erlbaum Associates : 137-170.
- DE SMEDT B, VERSCHAFFEL L, GHESQUIERE P (2009). The predictive value of numerical magnitude comparison for individual differences in mathematics achievement. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103 : 469-479.
- DESSALLES J-L (2000). *Aux origines du langage, une histoire naturelle de la parole*. Paris, Hermès.
- FABREGUES E (2012). *Le lien entre la dysphasie et les troubles logico-mathématiques chez l'enfant âgé de 7 à 10 ans*. Mémoire d'orthophonie. Université de Franche-Comté.
- FAYOL M (1990). *L'enfant et le nombre : du comptage à la résolution de problèmes*. Paris, Delachaux et Niestlé.
- FAYOL M (2008). L'apprentissage et la mise en œuvre des faits arithmétiques. *Annuaire du Collège de France*, 114 : 1-60.
- FEY M, LONGS S, CLEAVE P (1994). Reconsideration of IQ criteria in the definition of specific language impairment. In : Watkins R, Rice M (Eds.). *Specific Language Impairments in children*. Baltimore, Paul H Brookes Publishing : 161-178.
- FISCHER J-P (2009). La dyscalculie développementale, *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 102 :117-133.
- FRIEDMANN N, NOVOGRODSKY R (2007). Is the movement deficit in syntactic SLO related to traces or to thematic role transfer ? *Brain and Language*, 101 : 50-63.
- FUSON K, RICHARDS J, BRIARS D (1982). The acquisition and elaboration of the number word sequence. In : Brainerd C (Ed.) *Progress in cognitive development research*. New York, Springer Verlag.
- GAILLARD F, WILLADINO-BRAGA L (2005). Calcul et langage dans le développement et les troubles de l'apprentissage. In : Van Hout A, Meljac C, Fischer J-P (Eds.). *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*. Paris, Masson : 195-216.
- GALLISTEL C, GELMAN R (2000). Non-verbal numerical cognition : from reals to integers. *Trends in Cognitive Sciences*, 4 : 59-65.
- GELMAN R, BUTTERWORTH B (2005). Number and Language : how are they related ? *Trends in Cognitive Sciences*, 9 : 6-10.
- GELMAN R, GALLISTEL C (1978). *The child's understanding of number*. Cambridge, Harvard University Press.

- GERARD C (1993). *L'enfant dysphasique*. Bruxelles, De Boeck Université.
- GILMORE C, MC CARTHY S, SPELKE E (2007). Symbolic arithmetic knowledge without instruction. *Nature*, 447 : 589-591.
- GIRARD L (1996). *Etude des difficultés mathématiques chez l'enfant dysphasique*. Mémoire d'orthophonie, Université Paris 6.
- GRAGO M, PARADIS J (2003). Language impairment in children : Cross-linguistic studies. In : Kent R (Ed.). *The MIT encyclopedia of communication sciences and disorders*. Cambridge, The MIT Press : 327-329.
- HAMANN C, OHAYON S, DUBE S, FRAUENFELDER U, RIZZI L, STARKE M (2003). Aspects of grammatical development in young French children with SLI. *Developmental Science*, 6 : 1115-1125.
- HAUSER M, CHOMSKY N, FITCH W (2002). The faculty of language : what is it, who has it, and how did it evolve ? *Science*, 298 : 1569-1579.
- HILL E (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 : 149-171.
- HURFORD J (1987). *Language and number : the emergence of a cognitive system*. Oxford, Basile Blackwell.
- ISAACS E, EDMONDS C, LUCAS A, GADIAN D (2001). Calculation difficulties in children of very low birthweight : a neural correlate. *Brain*, 124 : 1701-1707.
- IZARD V (2006). *Interactions entre les représentations numériques verbales et non-verbales : étude théorique et expérimentale*, Thèse en sciences cognitives, Université Paris 6.
- JORDAN N (2010). Prédicteurs de réussite et de difficultés d'apprentissage en mathématique chez le jeune enfant. *Encyclopédie sur le développement des jeunes enfants*, Numératie, 1-6. [<http://literacyencyclopedia.ca/> consulté le 06/09/10/2014].
- KHOMSI A (2001). *ELO : Evaluation du Langage Oral*. Paris : Ecpa
- LAFAY A, SAINT PIERRE M-C, MACOIR J (2013). Développement des systèmes numériques non symboliques et prédicteurs de réussite mathématique. *Glossa*, 112 : 1-17.
- LANDERL K, BEVAN A, BUTTERWORTH B (2004). Developmental dyscalculia and basic numerical capacities : a study of 8-9-year-old students. *Cognition*, 93 : 99-125.
- LECLERCQ A-L, LEROY S (2012). Introduction générale à la dysphasie : caractéristiques linguistiques et approches théoriques. In : Maillart C, Schelstraete M-A (Eds.). *Les dysphasies : de l'évaluation à la rééducation*. Paris, Elsevier Masson : 5-33.

- LEE K-M, KANG S-Y (2002). Arithmetic operation and working memory : differential suppression in dual tasks. *Cognition*, 83 : B63-B68.
- LEFEVRE J, SADESKY G, BISANZ J (1996). Selection of procedures in mental addition. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory and Cognition*, 22 : 216-230.
- LEMBKE E, FOEGEN A (2009). Identifying early numeracy indicators for kindergarten and first-grade students. *Learning Disabilities Research & Practice*, 24 : 12-20.
- LEMONNIER E (2010). La psychopathologie de l'enfant dyspraxique. *Archives de pédiatrie*, 17 : 1243-1248.
- LEVINE S, WHEALTON SURIYAKHAM L, ROWE M, HUTTENLOCHER J, GUNDERSON E (2010). What counts in the development of young children's number knowledge ? *Developmental Psychology*, 46 : 1309-1319.
- LINDSAY R, TOMAZIC T, LEVINE M, ACCARDO P (2001). Attentional function as measured by a continuous performance task in children with dyscalculia. *Journal of Developmental & Behavioral Pediatrics*, 22 : 287-292.
- LUM J, 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 : 96-107.
- MAZEAU M (1999). Les troubles du langage oral. In : Mazeau M (Ed.). *Dysphasies, troubles mnésiques, syndrome frontal chez l'enfant*. Paris, Masson : 5-113.
- MAZZOCCO M (2009). Les processus cognitifs à la base de la numération. *Encyclopédie du développement du langage et de l'alphabétisation* : 1-13. [<http://literacyencyclopedia.ca/> consulté le 06/09/10/2014].
- MAZZOCCO M, THOMPSON R (2005). Kindergarten predictors of math learning disability. *Learning Disabilities, Research and Practice*, 20 : 142-155.
- MC ARTHUR G, BISHOP D (2005). Speech and non-speech processing in people with specific language impairment : a behavioural and electrophysiological study. *Brain and Language*, 94 : 260-273.
- MC CLOSKEY M, CARAMAZZA A, BASILI A (1985). Cognitive mechanisms in number processing and calculation : Evidence from dyscalculia. *Brain and Cognition*, 4 : 171-196.
- MC LEAN J, HITCH G (1999). Working memory impairments in children with specific arithmetic learning difficulties. *Journal of Experimental Child Psychology*, 74 : 240-260.
- MOLKO N, WILSON A, DEHAENE S (2005). La dyscalculie développementale, un trouble primaire de la perception des nombres. *Revue française de pédagogie*, 152 : 41-47.

- NOEL M-P (2005a). Rôle de la mémoire de travail dans l'apprentissage du calcul. In : Van Hout A, Meljac C, Fischer J-P (Eds.). *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*. Paris, Masson : 186-194.
- NOEL M-P (2005b). Le transcodage chez l'enfant. In : Van Hout A, Meljac C, Fischer J-P (Eds.). *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*. Paris, Masson : 111-122.
- ORAM CARDY J, TANNOCK R, JOHNSON A, JOHNSON C (2010). The contribution of processing impairments to SLI : insights from attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of Communication Disorders*, 43 : 77-91.
- PASSOLUNGI M, SIEGEL L (2004). Working memory and access to numerical information in children with disability in mathematics. *Journal of Experimental Child Psychology*, 88 : 348-367.
- PIAZZA M (2010). Neurocognitive start-up tools for symbolic number representations. *Trends in Cognitive Sciences*, 14 : 542-551.
- RAPIN I (1996). Developmental language disorders. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 43 : 643-655.
- RIVERA S, REISS A, ECKERT M, MENON V (2005). Developmental changes in mental arithmetic : evidence for increased functional Specialization in the left inferior parietal cortex. *Cerebral Cortex*, 15 : 1779-1790.
- ROTZER S, KUCIAN K, MARTIN E, VON ASTER M, KLAVER P, LOENNEKER T (2007). Optimized voxel-based morphometry in children with developmental dyscalculia. *Neuroimage*, 39 : 417-422.
- SCHELSTRAETE M-A (2011). *Traitement du langage oral chez l'enfant : interventions et indications cliniques*. Paris, Elsevier Masson.
- SCHELSTRAETE M-A (2012). Relations entre langage oral et langage écrit dans les troubles spécifiques du développement du langage oral. In : Maillart C, Schelstraete M-A (Eds.). *Les dysphasies : de l'évaluation à la rééducation*. Paris, Elsevier Masson : 71-103.
- SCHLEIFER P, LANDERL K (2011). Subitizing and counting in typical and atypical development. *Developmental Science*, 2 : 280-291.
- SHALEV R (2004). Developmental dyscalculia. *Journal of Child Neurology*, 19 : 765-771.
- SPELKE E (2000). Core knowledge. *American Psychologist*, 55 : 1233-1243.
- TALLAL P (2000). Experimental studies of language learning impairments : from research to remediation. In : Watkins R, Rice M (Eds.). *Specific Language Impairments in children*. New-York, Psychology Press : 131-155.
- TEMPLE C (1992). Developmental dyscalculia. In : Segalowitz S, Rapin I (Eds.). *Handbook of Neuropsychology*, 7.

- THEVENOT C, MASSON S (2013). Améliorer les compétences numériques. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 123 : 1-17.
- ULLMAN M, PIERPONT E (2005). Specific language impairment is not specific to language : the procedural deficit hypothesis. *Cortex*, 41 : 399-433.
- VANDENBORRE F (2002). *Essai de compréhension des stratégies déficitaires du calcul chez trois enfants avec trouble sévère du développement du langage oral*. Thèse en médecine physique et de réadaptation, Université Paris Val-de-Marne.
- VAN DER LELY H (2005). Domain-specific cognitive systems : insight from grammatical-SLI. *Trends in Cognitive Sciences*, 9 : 53-59.
- VAN HOUT A (2001). Dyscalculies développementales. In : Van Hout A, Meljac C, Fischer J-P (Eds.). *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*. Paris, Masson : 143-174.
- VON ASTER M (2000). Developmental cognitive neuropsychology of number processing and calculation : varieties of developmental dyscalculia. *European Child and Adolescent Psychiatry*, 9 : 41-57.
- WEISMER S, EVANS J (2002). The role of processing limitations in early identification of specific language impairment. *Topics in language disorders*, 22, 15-29.
- WYNN K (1992). Addition and subtraction by human infants. *Nature*, 358 : 749-750.
- XU F, SPELKE E (2000). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition*, 74 : B1-B11.
- ZESIGER P (2010). La dyslexie... avant l'apprentissage du langage écrit. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 103 : 227-234.

Liste des annexes

Annexe n°1 : Récapitulatif des écarts-types des notes obtenues à toutes les épreuves du Zareki-R par l'ensemble de la population

Annexe n°2 : Comparaison des résultats de la présente étude à ceux des études françaises précédentes

Annexe n°3 : Dictée de nombres – Résultats détaillés

Annexe n°4 : Lecture de nombres – Résultats détaillés

Annexe n°5 : Calcul mental oral – Résultats détaillés

Annexe n°6 : Dénombrement de points – Résultats détaillés

Annexe n°7 : Comptage oral à rebours – Résultats détaillés

Annexe n°8 : Estimation visuelle de quantités – Résultats détaillés

Annexe n°9 : Estimation qualitative en contexte – Résultats détaillés

Annexe n°10 : Résolution de problèmes oraux – Résultats détaillés

Annexe n°11 : Répétition de chiffres – Résultats détaillés

Annexe n°12 : Comparaison de nombres oraux – Résultats détaillés

Annexe n°13 : Comparaison de nombres écrits – Résultats détaillés

Annexe n°14 : Positionnement de nombres sur une échelle verticale – Résultats détaillés