



*Département d'Orthophonie
Gabriel DECROIX*

MEMOIRE

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

Manon ADLINE

soutenu publiquement en juin 2018 :

La représentation du nombre chez l'enfant sourd

MEMOIRE dirigé par :

Sandrine MEJIAS, Maître de conférences, Université de Lille, Lille

Lille – 2018

On ne perd jamais, soit on gagne, soit on apprend. (Nelson Mandela)

Remerciements

Je tiens à remercier chaleureusement toutes les personnes qui m'ont accompagnée et soutenue dans mon travail.

Tout d'abord je souhaite remercier Madame Mejias, promotrice de ce mémoire, pour son soutien et sa bienveillance, sa patience et ses précieux conseils.

Je remercie également ma première lectrice Madame Fragnon pour ses remarques et commentaires constructifs.

Mes remerciements vont également à l'Institut de Réhabilitation de la Parole et de l'Audition (IRPA) de Ronchin et à Madame Tramon pour m'avoir fait confiance et m'avoir permis de travailler avec les enfants sourds de leur institut.

Je remercie les orthophonistes Mme Lecoufle, Mme Barre et l'enseignante spécialisée Mme Dassomville pour leur disponibilité, leur confiance, leur bienveillance et pour m'avoir accueillie chaleureusement dans leur classe et leurs séances.

Je tiens également à remercier vivement les familles et les enfants qui m'ont accordé de leur temps et qui ont participé avec motivation et sérieux à l'ensemble des passations et ceci toujours avec le sourire.

Je souhaite également remercier mes collègues Léa Lancelot, Myriam Pivert et Marie Thibaudat pour leur soutien et nos partages tout au long de cette expérience.

Personnellement, je tiens à remercier mes proches pour leur soutien, leur écoute, leurs nombreuses relectures et leur aide malgré la distance durant ces années. Merci à ma famille lilloise pour ces cinq années de pur bonheur loin de chez nous et leur soutien à toute épreuve.

Bien sûr, je remercie mon compagnon pour m'avoir soutenue pendant mes périodes de doute, pour m'avoir écoutée parler « orthophonie » sans vraiment tout comprendre, pour m'avoir relue encore et encore et pour être tous les jours à mes côtés.

Résumé :

Peu d'études francophones existent sur la représentation du nombre chez l'enfant sourd. Ce travail vise à étudier les systèmes numériques approximatif et exact de l'enfant sourd oralisant. Vingt-deux enfants sourds oralisants (ES) du CP à la troisième ont été comparés à des enfants contrôles de même âge chronologique (AC) et de même niveau langagier (NL) dans des tâches d'estimation numérique approximatives symboliques et non-symboliques contrôlant les variables perceptives et dans des tâches numériques exactes. Nous avons relevé des compétences numériques approximatives chez les ES équivalentes à leurs homologues entendants. Par contre, les ES présentent des difficultés dans l'accès à ces représentations à partir d'entrées symboliques et non-symboliques. Ceci nous laisse supposer un recodage verbal interne, moins efficace chez l'enfant sourd. Le système numérique exact s'est, quant à lui, révélé moins performant chez les enfants sourds par rapport aux enfants entendants de même âge, mais équivalent aux enfants de même niveau de langage, plus jeunes. Nous supposons ainsi que le niveau de langage est fortement lié aux compétences exactes. Par ailleurs, les enfants sourds semblent plus performants dans le traitement d'informations spatiales plutôt que séquentielles. Nous en concluons que ces informations devraient être prises en compte dans l'éducation et la prise en charge orthophonique de ces enfants, en fournissant un appui à la fois verbal et visuel.

Mots-clés :

Enfants sourds oralisants – Compétences mathématiques - Système Numérique Approximatif (SNA) – Système Numérique Exact (SNE) – Estimation – Langage

Abstract :

Few francophone studies deal with the representation of the number for the deaf child. This work aims at studying the approximate and exact numerical systems of the deafening child. Twenty-two orating deaf children from CP to the third year of the secondary school were compared to age controls children and language controls children in a four-condition estimation task controlling perceptual variables and in exact numerical tasks. We found approximate numerical skills equivalent to their hearing counterparts. Nevertheless deaf children have difficulties in accessing these representations from symbolic and non-symbolic entries, leading us to assume that internal verbal recoding is less effective in deaf children. The exact numerical system has, on the other hand, proved to be less efficient for deaf children than hearing children with the same age but equivalent to children with the same language level, younger. We assume that the level of language is strongly related to the exact skills. Besides, deaf children seem to better perform for the processing of spatial rather than sequential information. We conclude that this information should be taken into account in the education and speech therapy rehabilitation of these children by providing both verbal and visual support.

Keywords :

Orally deaf children - Mathematical skills - Approximate Numerical System (ANS) - Exact Numerical System (ENS) – Estimation - Language

Table des matières

Introduction.....	1
Contexte théorique, buts et hypothèses.....	3
1. Surdité et compétences mathématiques.....	3
1.1. Le système numérique approximatif.....	3
1.2. Le système numérique exact.....	6
1.3. Existe-t-il une compensation par la modalité visuelle ?.....	8
1.4. Les opérations et la résolution de problèmes.....	8
2. Hypothèses explicatives d'un retard dans les compétences numériques chez les enfants sourds.....	9
2.1. Moins d'expériences environnementales.....	9
2.2. Type d'enseignement.....	10
2.3. Efficacité de la mémoire de travail chez l'enfant sourd.....	10
3. Buts et hypothèses.....	11
Méthode.....	13
1. Participants.....	13
2. Tâches et matériel.....	14
Résultats.....	16
1. Compétences numériques approximatives.....	16
1.1. Représentation de la magnitude.....	16
1.2. Accès à la représentation de la magnitude.....	18
1.3. Différence de performance entre épreuves spatiales et séquentielles.....	18
2. Compétences numériques exactes.....	18
2.1. Comparaison des compétences numériques exactes entre les ES et leurs contrôles.....	18
2.2. Impact du langage sur le SNE.....	19
2.3. Compétences transversales.....	19
3. Corrélation des compétences au SNA et au SNE.....	19
4. Influence des variables perceptives.....	20
4.1. Sur les compétences approximatives.....	20
4.2. Compensation par la modalité visuelle.....	20
5. Influence de la scolarité dans les compétences numériques.....	21
5.1. Comparaison des enfants sourds inclus par rapport à leurs contrôles âge.....	21
5.2. Comparaison des enfants sourds en inclusion et en classe spécialisée.....	21
Discussion.....	22
1. Compétences numériques approximatives.....	22
1.1. Représentation de la magnitude et accès à celle-ci.....	22
1.2. �preuves spatiales et temporelles.....	24
2. Compétences numériques exactes.....	24
3. Corrélation des compétences au SNA et au SNE.....	25
4. Influence des variables perceptives.....	26
5. Influence de la scolarité dans les compétences numériques.....	27
6. Critiques méthodologiques.....	28
7. Ouvertures et perspectives.....	29
Conclusion.....	30
Bibliographie.....	31
Liste des annexes.....	35
Annexe n�1 : Lettre explicative de l'étude à destination des structures et orthophonistes..	36
Annexe n�2 : Demande de consentement à destination des parents.....	37
Annexe n�3 : Coupon réponse d'autorisation des parents.....	38

Introduction

Les études sur les compétences des enfants sourds en mathématiques ne concordent pas toutes, et très peu ont été réalisées en français. De plus, certaines études sont anciennes et l'évolution de la prise en charge de la surdité amène à se demander si l'enfant sourd a des difficultés particulières dans ce domaine et si oui, quelles en sont les causes.

Le nombre peut être appréhendé comme une invention culturelle de l'homme permettant une manipulation de symboles complexes (Masataka, 2006). Ce serait alors ne pas prendre en compte le « sens du nombre », permettant par exemple, de décider dans un supermarché dans quelle file d'attente nous allons nous placer pour attendre moins longtemps (sous-entendu, choisir sans compter, à quelle caisse il y a le moins de monde). Le sens du nombre n'est donc pas une invention, l'homme a bel et bien une sensibilité aux propriétés numériques, et celle-ci n'est pas restreinte à notre espèce. Un sens du nombre pré-verbal est présent avant l'apprentissage du système symbolique. La construction du nombre chez l'enfant nécessite une longue maturation puis un apprentissage, mettant en jeu différentes capacités. Certaines capacités numériques sont innées comme le subitizing, l'estimation, la comparaison et l'appréhension de petites quantités (voir pour revue, Houdé et Leroux, 2009). Les bébés sont capables, dès quelques mois de vie, de garder une quantité d'objets en mémoire et de détecter des opérations impossibles. En effet, des enfants de 5 mois sont « surpris » lorsque l'on ajoute une peluche Mickey derrière un écran, puis une seconde peluche, et qu'il n'en reste qu'une lorsque l'on soulève l'écran (Wynn, 1992). Ces capacités d'appréhension du nombre se développent alors indépendamment du langage (voir pour revue, Houdé et Leroux, 2009). Cette représentation innée de la quantité, selon le modèle du triple code de Dehaene (1992), fait partie du système numérique approximatif (SNA), non-symbolique et permet l'accès au sens du nombre (Dehaene, 1992). D'autres capacités sont acquises grâce à un enseignement spécifique et se développent après l'acquisition du langage. Ainsi, le développement du système numérique exact (SNE) est possible grâce au langage. Il repose sur la modalité symbolique (codes verbal et arabe), permet d'accéder à une représentation exacte des numérosités et de préciser le SNA (Dehaene, 1992 ; Dehaene, Piazza, Pinel, et Cohen, 2003). Le langage semble déterminant pour le développement du SNE mais on peut également se questionner sur son implication dans la précision des compétences numériques approximatives.

Des études réalisées sur des populations n'ayant pas de mots pour les nombres au-delà de 5, ont montré qu'avoir un système de numérotation avec un lexique numérique peut être utile pour la communication mais n'est pas indispensable pour comprendre le concept de la numérosité (Gelman et Butterworth, 2005).

Nous pouvons alors nous demander ce qu'implique un trouble du langage sur le développement de la représentation et de l'appréhension du nombre. Il serait intéressant d'appréhender les limites du développement de la pensée numérique lorsque l'accès à la langue est difficile. Les difficultés mathématiques chez les enfants ayant des troubles du langage suggèrent que le développement du langage peut influencer les connaissances numériques (Arfé et al., 2011).

Des études ont ainsi été réalisées auprès d'enfants ayant un trouble spécifique du langage oral sévère et persistant. Camos, Fayol, Lacert, Bardi, et Laquière (1998), ont montré que pour ces enfants, la difficulté relevée concerne surtout le développement de la chaîne

numérique verbale, plus courte. Ces enfants sont également moins précis lors de comparaison de nombres arabes (Donlan et Gourlay, 1999) mais aussi précis que leurs homologues tout-venants pour les comparaisons non-symboliques (Nys, Content, et Leybaert, 2013). Selon Bourles et Laussel (2016), les enfants présentant un trouble du langage ont une représentation numérique abstraite moins précise que les enfants contrôles, mais cette représentation a la même structure, suivant le développement typique de la ligne numérique mentale. Ces enfants ont des capacités correspondant à celles d'enfants plus jeunes ou de même niveau de langage.

Finalement, des enfants ayant un développement langagier atypique tels que les enfants sourds ont-ils également un développement numérique particulier ? Peu d'études ont été établies sur le sujet, et lorsque cela a été fait, la population sourde était souvent très hétérogène (selon le degré de surdité, la langue utilisée, le type d'appareillage, le type de scolarisation etc.). Il serait donc intéressant d'étudier les capacités des enfants sourds dans des compétences mathématiques analogiques, mais également exactes et de voir s'ils rencontrent des difficultés singulières. Notre étude portera sur des enfants sourds oralisants uniquement, par souci d'étudier une population homogène par rapport à la langue parlée. Si des difficultés apparaissent, nous essaierons de savoir si elles se manifestent avant les apprentissages scolaires, et dans ce cas, si elles sont dues à un SNA lacunaire ou si ces difficultés arrivent avec l'apprentissage du SNE et dépendent donc des difficultés langagières. Nous prendrons donc appui sur le modèle du triple code de Dehaene (1992), avec d'un côté les compétences numériques approximatives indépendantes du langage, et de l'autre, les compétences numériques exactes avec le code arabe et le code verbal, dépendants d'un apprentissage spécifique suite à l'acquisition du langage.

Notre étude s'articulera en quatre grandes parties : tout d'abord, nous ferons une revue de la littérature concernant les compétences numériques approximatives, exactes et les différentes hypothèses explicatives d'un éventuel retard chez les enfants sourds. A la suite de celle-ci, nous en tirerons nos hypothèses. Puis, nous expliquerons notre méthodologie permettant de répondre à ces hypothèses. Nous exposerons par la suite nos résultats et enfin nous les discuterons et vérifierons l'exactitude de nos hypothèses.

Contexte théorique, buts et hypothèses

1. Surdité et compétences mathématiques

Dans cette partie, nous allons établir un état des lieux de la littérature concernant les compétences en mathématiques des enfants sourds. Nous allons donc comparer les capacités du SNA, puis du SNE des enfants sourds avec des enfants entendants.

1.1. Le système numérique approximatif

Pour rendre compte du fonctionnement du SNA, nous allons comparer les capacités d'estimation, de comparaison et de placement sur une ligne numérique des enfants sourds et entendants.

Les tâches d'estimation sont omniprésentes dans notre environnement. Nous y sommes confrontés quotidiennement. Par exemple, lorsque nous n'avons pas d'outil de mesure et que nous devons estimer quelle quantité de pâtes faire pour 4 personnes. L'estimation nécessite la connaissance du monde qui nous entoure et est facilitée par la connaissance des nombres (Booth et Siegler, 2006). Elle appartient au code analogique, décrit par Dehaene, (1992). Zarfaty, Nunes et Bryant (2004) ont comparé les compétences numériques non verbales à l'âge pré-scolaire de 10 enfants sourds oralisants (6 garçons, 4 filles de 2,5 à 4,5 ans, un ayant une surdité moyenne et 9 ayant une surdité profonde ; 8 étaient implantés)   10 enfants entendants de même âge. Ils ont voulu évaluer la discrimination et la représentation numérique grâce à une tâche de reproduction d'ensemble d'objets sous deux conditions : une condition spatiale et une condition séquentielle. Lors de la condition spatiale, tous les éléments apparaissent et disparaissent simultanément, l'enfant doit ensuite reproduire l'ensemble observé. Dans la condition séquentielle, chaque élément est présenté l'un après l'autre sur un écran. L'enfant doit reproduire l'ensemble observé, une fois tous les éléments présentés. Les enfants sourds ont obtenu des résultats similaires aux enfants entendants, ce qui montre une capacité identique des deux groupes pour se représenter et discriminer les nombres. Les enfants sourds sont même plus performants pour la modalité spatiale. La modalité séquentielle a, quant à elle, été aussi bien réussie par les deux groupes d'enfants. Les enfants sourds ne semblent donc pas rencontrer de difficultés particulières à se représenter les nombres avant l'apprentissage scolaire. Selon Zarfaty, Nunes et Bryant (2004), les difficultés mathématiques se manifesteraient lors des apprentissages formels, dépendants du langage. Cependant, cette étude a été effectuée sur peu d'enfants sourds oralisants. Les résultats ne sont donc pas généralisables, notamment à une population de sourds signants. De plus, cette étude ne prend pas en compte tous les aspects de la représentation numérique (par exemple, la comparaison de nombres symboliques ou encore la compréhension de l'ordinalit  n'ont pas été testées) pour pouvoir affirmer que les enfants sourds ne présentent pas de difficultés pré-scolaires particulières.

Arf  et al. (2011) ont étudié la comparaison de nombres analogiques, mais aussi symboliques chez 10 enfants (de 4,3 à 6,3 ans) sourds profonds, implantés cochléaires entre 2 et 4 ans, de parents entendants. Les sujets ont été comparés à un groupe témoin de 99 enfants sans trouble, de même âge, à partir de trois tâches : comptage verbal (jusqu'à 20), comparaison numérique et comparaison analogique de nombres compris entre 1 et 9. Les

auteurs se sont assurés auparavant que l'ensemble des enfants puisse reconnaître les chiffres arabes. Les enfants sourds se sont révélés meilleurs pour la tâche de comparaison analogique nécessitant une analyse visuo-spatiale, ce qui va dans le sens des résultats de l'étude précédente (Zarfaty et al., 2004). La représentation de la magnitude semble donc bien comparable chez les individus sourds et entendants.

Plusieurs auteurs suggèrent l'interdépendance des systèmes approximatif et exact. Ainsi Brisset, Mussolin, et Leybaert (2017) émettent l'hypothèse que les difficultés verbales des enfants sourds ont des répercussions sur leurs compétences numériques exactes, mais également sur leur système analogique. En effet, leur groupe d'enfants sourds (en classe spécialisée) présentant des difficultés langagières, ont de moins bons résultats à une tâche de comparaison de nombres que leur groupe d'enfants entendants. Il semble difficile pour les enfants sourds d'accéder aux représentations analogiques par le code arabe. Il y aurait alors une influence des capacités acquises sur la précision du traitement non-symbolique.

Rodriguez-Santos, Calleja, Garcia Orza, Iza, et Damas (2014) se sont questionnés sur l'origine des difficultés des enfants sourds face à diverses tâches numériques. Ont-ils un déficit des représentations des quantités ? Ou, comme le proposent Brisset et al., (2017), un déficit d'accès à ces représentations à partir d'un code symbolique ? Leur étude vise à examiner à quel niveau les éventuelles difficultés interviennent. Les compétences numériques de base telles que la représentation interne de la magnitude, sont indispensables aux compétences mathématiques futures (Gelman et Butterworth, 2005). Ils ont alors étudié un groupe de 10 enfants sourds de naissance de 8,4 ans à 9,8 ans (7 garçons et 3 filles), sans trouble associé. Leur perte auditive est de « moyenne à sévère » et leur principal mode de communication est la langue orale avec parfois, l'aide du Langage Parlé Complété. Ces participants sont scolarisés en inclusion et leurs parents sont entendants. Ces enfants sont comparés à 10 enfants contrôles avec développement langagier typique, appariés selon leur âge et les notes obtenues lors de tests cognitifs (QI non-verbal, mémoire visuelle à court terme, compréhension du langage). Les tâches consistent en la comparaison de nombres arabes (tâche symbolique), en la comparaison d'ensemble de points (tâche non-symbolique, non contrôlée au niveau des critères perceptifs), et en la comparaison d'ensemble de doigts (tâche non-symbolique). Les grandeurs comparées sont de 1 à 9. Les résultats ont montré que les enfants sourds ont réalisé la tâche de comparaison de nombres arabes plus lentement, mais n'ont présenté aucune différence pour les tâches non-symboliques. Cette lenteur d'accès à l'information lors de la tâche de comparaison de nombres arabes pourrait être mise en parallèle avec l'hypothèse d'un déficit d'accès à la représentation des nombres, à partir de matériel symbolique, de Rousselle et Noël (2007) chez les enfants présentant des troubles d'apprentissage en mathématiques. De plus, des effets de taille et de distance similaires à ceux de leurs homologues entendants ont été constatés dans les trois tâches. Ils se représentent donc les magnitudes de la même manière que leurs pairs entendants. Il faut cependant rester vigilant quant à l'influence des variables perceptives. En effet, dans cette étude, ces dernières n'ont pas été contrôlées dans la tâche de comparaison d'ensemble de points. Nous pouvons supposer, suite aux résultats de l'étude de Arfé et al. (2011), dans laquelle les enfants sourds ont été meilleurs dans l'épreuve d'estimation analogique nécessitant une analyse visuo-spatiale, que ces variables ont peut-être aidé les enfants sourds à effectuer les comparaisons. C'est pourquoi il semble important de les contrôler. Les enfants sourds n'auraient donc pas de déficit lors de la construction de leurs représentations numériques.

L'étude de Mejias, Mussolin, Rousselle, Grégoire, et Noël (2012), portant sur des enfants présentant des troubles d'apprentissage mathématique va dans le même sens. Ils ont montré, à travers des tâches d'estimation, que les enfants ayant des troubles d'apprentissage mathématique ont des résultats moins précis et moins stables pour les différentes tâches d'estimation, par rapport aux enfants contrôles, ce qui montre une altération de la représentation de la magnitude. Les résultats sont même encore plus faibles lorsque les tâches impliquent des nombres symboliques. Il y a donc également un déficit supplémentaire en ce qui concerne l'accès à la représentation numérique par des nombres symboliques. Ces enfants sont également plus sensibles aux indices perceptifs. En effet, deux tâches d'estimation étaient réalisées : une tâche avec des points homogènes et une tâche avec des points hétérogènes. Les enfants ayant des troubles d'apprentissage mathématique sont plus performants lors de la tâche de points homogènes. La référence aux variables perceptives diminue avec l'âge, les individus se fiant de plus en plus aux variables numériques.

Booth et Siegler (2006), quant à eux, ont utilisé une tâche de positionnement de nombres arabes sur une ligne numérique. Chez l'enfant tout-venant, ce type de tâche permet de mettre en évidence le passage d'une représentation logarithmique¹ des nombres à une représentation linéaire. La précision de l'estimation et sa linéarité augmentent donc avec l'âge. Chez l'enfant sourd, il a été mis en évidence que ce phénomène de linéarisation apparaît plus tard (Brisset et al.,2017).

L'ensemble des données mentionnées ci-dessus semblent mettre en évidence une représentation de la magnitude similaire chez les enfants sourds et leurs pairs entendants. Cependant, la qualité de cette représentation semble se mettre en place de manière plus tardive chez les enfants sourds. Celle-ci ressemblerait à celle d'enfants plus jeunes (Brisset et al.,2017). Néanmoins, ces données sont à considérer avec prudence. En effet, les variables perceptives n'ont pas toujours été contrôlées de manière optimale dans ces études et nous ne savons pas pour l'heure, à quel point les sujets sourds s'aident de ces variables pour réaliser les tâches qui leurs sont proposées.

De plus, différentes études ont pu mettre en évidence une certaine lenteur d'accès au SNA à partir de code symbolique. Selon Brisset et al. (2017), les difficultés langagières des enfants sourds sont à la source de leurs difficultés au niveau du SNE qui, en retour, impacte la précision du SNA. Cette hypothèse peut expliquer la lenteur d'accès entre code symbolique et code analogique. Il est donc intéressant de vérifier cette hypothèse au moyen d'une tâche d'estimation contrôlant les variables perceptives et permettant d'examiner le lien entre compétences langagières et représentations approximatives.

Chez la population adulte, les données vont dans le même sens. L'accès au sens du nombre est aussi performant que chez les sujets entendants : des résultats similaires sont obtenus à des tâches de comparaison de points, car cette population est sensible au même effet de ratio (Masataka, 2006). Le sens du nombre ne se dégrade donc pas avec l'âge, les sujets sourds maintiennent des performances similaires à leurs pairs entendants. Bull, Marschak et Blatto-Vallee (2005) ont montré qu'à une tâche de comparaison de deux nombres arabes, les étudiants sourds ne sont pas moins précis mais plus lents. Ils ont donc la même représentation numérique que leurs homologues entendants, cependant l'accès à cette représentation semble plus lent.

¹ La représentation logarithmique exagère la distance interne entre deux petits nombres et sous-estime cette distance pour les grands nombres qui peuvent même se « chevaucher »

Il nous semble alors important d'examiner les données de la littérature au sujet des compétences numériques exactes chez les sujets sourds.

1.2. Le système numérique exact

Le SNA se construit donc indépendamment du langage, c'est le « sens du nombre », mais peut se préciser grâce à celui-ci. La capacité à développer le SNE se construit notamment à travers l'exposition scolaire (Bull, 2008). Selon le modèle du triple code de Dehaene (1992), lorsque des nombres arabes ou verbaux sont identifiés, ils sont traduits en une représentation non verbale de la quantité, analogique permettant d'accéder au sens du nombre. D'où l'importance d'une représentation numérique intègre pour le bon développement des capacités numériques exactes.

Concernant les compétences mathématiques globales, on retrouve dans différentes études un retard d'environ 3 ans. Ce retard peut s'expliquer, selon Wood, Wood, et Howarth (1983), par des différences en termes de capacités linguistiques des enfants sourds se répercutant sur les apprentissages numériques. Ce n'est pas la surdité en tant que telle qui cause le retard mathématique. Le degré de perte auditive n'est donc pas corrélé aux difficultés des capacités mathématiques. Hage, Charlier, et Leybaert (2006) confirment ce retard global en évoquant la difficulté des enfants sourds à apprendre la chaîne numérique verbale : celle-ci est alors plus courte que celle de leurs homologues entendants. Cependant, leur compréhension de la cardinalité n'est pas altérée. Une autre étude indique qu'il existe un retard de deux ans au niveau du comptage (Leybaert et Van Custem, 2002). Les enfants inclus sont sourds moyens à profonds (en majorité sourds profonds) utilisant en majorité la langue des signes et ont de 3,9 ans à 6,6 ans. L'appareillage de ces enfants n'est pas précisé. Les auteurs les ont comparés à un groupe contrôle d'enfants entendants de même année scolaire. Les tâches consistent à compter le plus loin possible, compter des objets et enfin donner un nombre d'objets déterminé à une marionnette. Les tâches de comptage d'objets et de création d'ensemble n'ont montré aucune différence entre les deux groupes d'enfants. Les auteurs ont cependant constaté que les enfants sourds s'arrêtent de compter dès qu'ils font une erreur, ce qui n'est pas le cas des enfants entendants. De plus, les enfants sourds omettent moins de nombres lors de la tâche de comptage le plus loin possible. Leur retard peut en partie s'expliquer, selon les auteurs, par leur enseignement en petits groupes. L'effectif des classes d'enfants sourds étant réduit, ils sont moins exposés au comptage d'un nombre important d'élèves. Leybaert et Van Custem, (2002) supposent également que les enfants sourds et entendants se représentent différemment la structure de la chaîne numérique par la différence structurelle des deux langues, orale et manuelle. Dans la langue manuelle, la chaîne numérique est produite par des signes qui respectent des règles structurelles (par exemple, c'est la même structure de 1 à 5, puis de 5 à 10 etc. un enfant signant fera alors des erreurs lors de la transition de ces structures) qui ne sont pas les mêmes qu'en langue orale. La structure linguistique de la chaîne numérique influence donc son acquisition mais ne détermine pas la compréhension de la numérosité. En effet, les auteurs ne remarquent aucune différence de compétence dans le dénombrement, malgré la séquence plus courte des enfants sourds. Ceci montre, encore une fois, que les enfants sourds ont une véritable compréhension de la cardinalité. Les enfants entendants eux, comptent bien au-delà de leurs capacités quantitatives réelles.

Cependant, Brisset et al. (2017) montrent à travers leur étude que les enfants en inclusion ne présentent pas de différence dans la production de la chaîne numérique verbale.

Le type de scolarisation est donc à prendre en compte pour évaluer les compétences numériques des enfants sourds. Les enfants sourds n'ont pas tous les mêmes difficultés. Ceci montre, une fois de plus, l'hétérogénéité de la population des sujets sourds. Arfé et al. (2011) vont également dans ce sens, montrant dans leur étude, que les enfants implantés cochléaires produisent la même chaîne numérique verbale que les enfants entendants. Ils supposent que les compétences en comptage verbal des enfants sourds ne semblent pas influencer leurs performances pour la tâche de comparaison numérique. Les enfants entendants, eux, sont influencés par leur connaissance de la chaîne numérique verbale pour réaliser cette tâche. Les enfants sourds et entendants utilisent alors deux stratégies différentes pour accéder à leur représentation mentale de la numérosité à partir d'une représentation symbolique. Les enfants entendants utilisent une stratégie verbale, repassant par leur chaîne numérique verbale, alors que les enfants sourds se réfèrent à leurs représentations analogiques. Ceci est cohérent avec le modèle du triple code de Dehaene (1992) dans lequel les comparaisons sont effectuées au niveau analogique. Les enfants sourds ne repassant pas par leur chaîne numérique verbale pour exécuter la tâche d'estimation, selon l'hypothèse des auteurs, on peut alors suggérer qu'une éventuelle chaîne numérique verbale plus courte n'impacte pas les résultats d'estimation. SNA et chaîne numérique verbale semblent se développer indépendamment chez ces enfants. Les enfants sourds ont un bon encodage de la représentation sémantique de la magnitude mais l'association entre chaque mot-nombre et sa quantité n'est pas évidente à cet âge, ils ne peuvent donc pas s'aider du comptage pour comparer deux nombres arabes.

L'étude de Genovese, Galizia, Gubernale, Arslan, et Lucangeli (2005) a, quant à elle, montré que des enfants de 5 à 6 ans appareillés ou implantés réussissent aussi bien que leurs contrôles dans les tâches numériques verbales telles que le comptage voire parfois mieux dans des tâches d'écriture de nombre. Cette performance est expliquée par les auteurs par le fait que le transcodage utilisé dans l'écriture de nombre ne nécessite pas un accès à la représentation de la magnitude, c'est un apprentissage spécifique, mais ils sont moins bons dans une tâche de comparaison de nombres arabes. En effet, ils doivent alors coder l'information numérique en une représentation non-verbale puis utiliser cette représentation dans la tâche de comparaison. Ces différences sont alors bel et bien dues à une difficulté générale d'accès à la représentation sémantique à partir d'un code symbolique.

L'étude de Masataka (2006) sur des adultes profondément sourds confirme que les sujets sourds ont de moins bonnes performances dans les tâches mathématiques formelles : lors de la tâche d'opérations à résoudre en écrivant un chiffre arabe, les adultes sourds sont significativement moins performants. Les auteurs expliquent que le sens du nombre pré-verbal donne une base pour l'acquisition des mathématiques formelles mais que le processus de développement de la performance mathématique est modulé par l'environnement.

Dans les données de la littérature que nous venons de développer, il apparaît que le retard en mathématiques des enfants sourds n'est pas dû à leur perte auditive mais au retard langagier que celle-ci peut causer. Toutefois, les données ne semblent pas toujours concorder. Par exemple, certains auteurs ont montré que les enfants sourds ont une chaîne numérique plus courte. Celle-ci est donc, pour certains auteurs, en adéquation avec la représentation numérique des enfants sourds, ce qui n'est pas le cas des enfants entendants sachant compter au-delà de leur représentation cardinale. D'autres auteurs ont eu des résultats similaires entre enfants sourds et entendants en ce qui concerne la ligne numérique. Ceci peut s'expliquer par les différences inter-individuelles mais également par le mode de communication, le type d'appareillage et l'impact du mode de scolarité. Nous avons constaté que les enfants sourds et

entendants utilisent des stratégies différentes pour accéder à leurs représentations de la numérosité lorsqu'ils sont confrontés à une représentation symbolique. Les enfants sourds n'utilisent pas leur chaîne numérique pour y accéder. Ils se réfèrent directement à leurs représentations analogiques. Les compétences numériques verbales telles que le comptage n'entraînent alors pas de difficulté pour les compétences numériques analogiques. Les compétences analogiques, peuvent alors avoir une influence sur les capacités numériques exactes. Les enfants sourds utilisent donc leur SNA pour préciser leur SNE.

1.3. Existe-t-il une compensation par la modalité visuelle ?

Certains auteurs se sont demandés si les sujets sourds ne compensent pas leur trouble auditif par la modalité visuelle. Rettenbach, Diller, et Sireteanu (1999) ont pu alors montrer, en comparant adultes et enfants sourds non-implantés que la compensation se fait mais qu'elle se développe tard dans la vie et qu'elle est limitée aux tâches dépendantes de l'attention. Les adultes sourds sont plus rapides que leurs homologues entendants pour une tâche nécessitant le recrutement de l'attention, ce qui n'est pas le cas des enfants sourds. Les auteurs supposent alors que l'effet de compensation se développe chez les sujets sourds entre 20 et 30 ans. Ils expliquent cette hypothèse par le fait que les systèmes attentionnels ont une période de développement plus longue et deviennent matures au début de l'adolescence. Le langage utilisé, oralisation ou langue des signes, n'influence pas les résultats. Cependant, les sujets sourds et entendants montrent des performances de subitizing similaires. Les quantités reconnues ne sont pas plus importantes chez les sujets sourds, on n'observe pas d'effet de compensation de la modalité visuelle de la tâche (Roux, 2014; Bull, 2008). Brisset et al. (2017) confirment que les enfants sourds (signants ou oralisants) n'ont pas d'avantage dans les tâches sollicitant la mémoire visuo-spatiale qu'il s'agisse de la mémoire séquentielle (évaluée grâce aux blocs de Corsi), ou de la mémoire visuelle (évaluée par une épreuve d'empan visuel grâce à une apparition des stimuli simultanément).

Le contrôle des variables perceptives et les scores dans une tâche d'empan visuel, par rapport à des sujets entendants, permettraient de confirmer ou d'infirmer ces hypothèses.

1.4. Les opérations et la résolution de problèmes

Une étude de Hitch, Arnold et Phillips (1983), a été effectuée auprès de 10 enfants sourds d'âge moyen 10,11 ans d'une école spécialisée. Ces enfants sont sourds profonds, oralisants et ont été comparés à un groupe de 10 enfants entendants du même âge. L'étude, consistant à comparer les stratégies additives des enfants sourds oralisants et entendants, a montré que les enfants sourds et entendants adoptent la même stratégie : partir du plus grand nombre et ajouter le plus petit par la suite. Les enfants n'utilisent pas le comptage subvocal, mais ont recours à un «comptage moteur internalisé». Cependant, aucune preuve de cette hypothèse n'a été apportée par les auteurs.

Nunes et Moreno (2002) ont observé deux difficultés majeures chez les enfants sourds : les concepts de composition additive et de temporalité dans les problèmes. Ils ont alors mis en place un programme pour les enfants sourds, suivi par leur enseignant avec des supports concrets, tels qu'une ligne numérique, la règle, ou des objets concrets pour avoir une représentation visuelle des nombres et pour faciliter la résolution de problèmes. Ceci a permis aux enfants sourds de résoudre les problèmes écrits avec plus de facilités. L'enseignement des mathématiques de manière explicite et adaptée peut permettre aux enfants sourds d'accéder plus facilement aux concepts mathématiques enseignés.

Néanmoins, certains auteurs ont émis différentes hypothèses quant aux raisons potentielles du retard des compétences mathématiques chez l'enfant sourd.

2. Hypothèses explicatives d'un retard dans les compétences numériques chez les enfants sourds

Certains auteurs retrouvent un retard dans certaines compétences mathématiques chez les enfants sourds. On peut trouver dans la littérature différentes hypothèses explicatives.

2.1. Moins d'expériences environnementales

Une étude de Kritzer (2009), évalue les capacités mathématiques de 29 enfants sourds entre 4 et 6 ans, sans trouble associé, utilisant la langue des signes ou la langue parlée. Vingt-cinq de ces enfants bénéficient d'un appareillage conventionnel et quatre ont un implant cochléaire. La majorité des enfants ont au moins un de leurs parents sourd. Ils ont donc évalué les capacités mathématiques des enfants avant la scolarisation, à travers un test permettant d'objectiver les capacités formelles (faits arithmétiques, alphabétisation numérique, calculs) et informelles (comparaison de nombres, numérotation) dans le domaine des mathématiques : le TEMA-3. Les résultats montrent des capacités inférieures pour les performances mathématiques précoces pour 60% des enfants de l'étude. Ces résultats sont dus à une moindre exposition aux informations de leur environnement et aux discussions faisant intervenir les relations mathématiques. Il est alors plus laborieux pour ces enfants d'acquérir le niveau informel nécessaire à l'apprentissage scolaire des mathématiques. Les difficultés de développement cognitif ne sont pas attribuées au retard de langage rencontré par l'enfant sourd, mais plutôt aux difficultés d'interaction avec les personnes entendant. Celles-ci ont alors des difficultés à leur transmettre leurs savoirs (Lauwerier, de Chouly de Lenclave, et Bailly, 2003).

De plus, les activités mathématiques reposent sur des termes spécifiques, notamment des connecteurs logiques et des termes spatiaux, difficiles d'accès pour les enfants sourds (Fayol et Camos, 2006). L'enfant entendant découvre et apprend du monde qui l'entoure grâce à l'association d'informations visuelles et auditives simultanées, ce qui n'est pas le cas d'un enfant sourd. Il est exposé à moins d'informations et peut avoir plus de difficultés à faire des associations entre des concepts et leur nom, ou leur représentation symbolique. Masataka (2006) semble confirmer cette hypothèse au travers de son étude montrant que ce n'est pas le début de la scolarisation qui cause les difficultés mathématiques, mais leur environnement qui leur donne moins l'occasion d'expérimenter et d'apprendre de manière informelle.

Ce retard d'acquisition peut aussi s'expliquer par le fait qu'avant l'entrée à l'école, les parents utilisent l'environnement de la maison et du jeu pour échanger sur des concepts mathématiques de manière pédagogique. L'introduction du nombre dans les conversations et le jeu se fait naturellement. L'enfant est alors exposé aux concepts mathématiques qu'il intégrera naturellement. Les parents d'enfants sourds ont des difficultés à mener à bien ces interactions. En effet, leur enfant présente parfois une passivité de communication et un retard linguistique qui rendent plus difficile l'interaction. Les parents d'enfants sourds font moins de références aux concepts mathématiques avant leur scolarisation. Or, une stimulation avec des questions cognitivement stimulantes, encourageant les enfants à penser, est primordiale pour développer ces concepts mathématiques informels (Kritzer, 2008).

2.2. Type d'enseignement

Dans leur étude, Wood et al. (1983) émettent l'hypothèse que ce n'est pas la surdité en tant que telle qui cause les retards en mathématiques mais plutôt l'approche pédagogique offerte aux enfants sourds.

Brisset et al. (2017) confirment cette hypothèse : le type de scolarisation peut influencer les compétences mathématiques des enfants sourds. Une scolarisation en inclusion permet notamment de progresser plus rapidement au niveau linguistique. Dans leur étude, sur 29 enfants sourds de 6 à 11 ans présentant une surdité prélinguistique sévère ($N = 4$) à profonde ($N = 25$), ils ont étudié les compétences mathématiques en fonction du milieu scolaire. Treize des enfants sourds portent un implant cochléaire et seize portent un appareil conventionnel. Quatorze sont en enseignement spécialisé et quinze en inclusion. Les enfants utilisent la langue orale ($N = 15$), la LSF ($N = 14$) ou les deux modes de communication.

Ces enfants ont été comparés à des enfants entendants contrôles de même âge dans des tâches numériques mais aussi visuo-spatiales et de gnosies. Les résultats montrent de meilleures compétences en ce qui concerne la chaîne numérique verbale, les additions et soustractions et la comparaison de numérosités pour les enfants sourds en inclusion que pour ceux en classe spécialisée. Les enfants sourds en intégration n'ont pas de retard significatif en mathématiques. L'étude met en évidence un retard d'acquisition de la chaîne numérique et des habiletés arithmétiques des enfants sourds en enseignement spécialisé par rapport à leurs homologues entendants de même âge chronologique et de même niveau de développement intellectuel. Les auteurs font l'hypothèse que cette différence est due au fait que l'enseignement spécialisé est proposé aux enfants qui n'ont pas le niveau pour intégrer un cursus ordinaire. C'est donc une conséquence et non pas la cause de leurs difficultés en mathématiques. De plus, les enseignants des écoles spécialisées adaptent leurs cours aux difficultés, ils n'utilisent pas le même vocabulaire et vont plus lentement.

En ce qui concerne les compétences numériques approximatives et le sens du nombre, les enfants en inclusion ne présentent pas de différence par rapport à leurs homologues entendants : l'épreuve de comparaison d'un nombre au chiffre 5 est aussi bien réussie avec des temps de réponse montrant un effet de distance et un effet SNARC (Spatial Numerical Association of Response Code) similaires aux enfants contrôles comme nous l'avons vu précédemment dans la partie sur le SNA. Les enfants en classe spécialisée montrent également un effet de distance mais pas d'effet SNARC, car ils sont lents quels que soient les items présentés. A l'épreuve de comparaison des numérosités leurs performances sont moins bonnes. La nature des stimulations auprès des enfants sourds peut permettre un accès plus aisé aux compétences mathématiques exactes mais également approximatives à partir de stimuli symboliques. Cette condition est donc importante à prendre en compte lors de l'analyse de résultats.

2.3. Efficacité de la mémoire de travail chez l'enfant sourd

Sweeney (1998) a montré que le rappel de stimuli linguistiques des enfants sourds est moins performant que celui des enfants entendants. Cependant, lorsque le matériel est non-linguistique (visages non-familiers par exemple), il n'y a plus de différence. Sweeney (1998) a pu constater l'utilisation de la boucle phonologique pour la rétention d'informations chez l'enfant entendant. Chez l'enfant sourd, l'ensemble de ses capacités exécutives et cognitives semble mobilisé pour effectuer la tâche de rappel. Néanmoins, il semble aussi utiliser un «code langagier» pour retenir les informations, mais moins efficacement. Les données

séquentielles, qui nécessitent un encodage phonologique, entraînent plus de difficultés pour ces enfants (Todman et Cowdy, 1993; Todman et Seedhouse, 1994). L'empan auditivo-verbal des enfants sourds est donc inférieur à celui de leurs pairs entendants, car leurs représentations phonologiques et leur réactivation phonologique sont différentes. Pour maintenir en mémoire un matériel linguistique, nous utilisons une «parole intérieure» : la boucle phonologique, basée sur les représentations phonologiques. Ces représentations dépendent de leur mode de communication. En effet, les enfants sourds signants peuvent stocker phonologiquement et rappeler des items grâce à la boucle phonologique. Mais, comme les éléments sont maintenus deux secondes et que la modalité manuelle est plus longue à coder, leur empan est plus faible (Denys et Charlier, 2006). Les enfants n'utilisant pas de moyen de communication gestuelle ont plus de difficultés à maintenir ces informations linguistiques. Cette boucle phonologique permet également l'acquisition du lexique (Denys et Charlier, 2006). On peut alors faire l'hypothèse que le retard de l'acquisition de la chaîne numérique verbale est la conséquence de difficultés de rétention du lexique mathématique.

Toutefois, ils ont un meilleur balayage visuel et semblent plus efficaces dans les tâches d'attention visuelle selon Bull et al. (2005). En effet, les tâches nécessitant un encodage spatial ne présentent pas de difficultés pour les enfants sourds, ils sont même plus efficaces pour encoder des informations visuelles présentées simultanément. Toutefois, ces meilleures capacités en mémoire visuo-spatiale ne seraient pas dues à une compensation de leur déprivation auditive, mais de l'utilisation d'un langage manuel (Arnold et Mills, (2001) cités dans Brisset et al., 2017).

De plus, la mémoire de travail est indispensable pour la rétention des faits arithmétiques. Les associations se forment entre un problème et sa réponse, ce qui permet de créer les faits arithmétiques en mémoire à long terme (Bull, 2008).

L'efficacité de la mémoire de travail de l'enfant sourd présente donc des particularités : les sujets signants peuvent maintenir moins de matériel linguistique grâce à la boucle phonologique, et les sujets oralisants ont des représentations phonologiques moins précises, rendant le rappel de la boucle phonologique moins efficace. La mémoire de travail étant largement impliquée dans les acquisitions mathématiques, les difficultés des enfants sourds dans ce domaine pourraient en partie s'expliquer par ces différences. De plus, si leur rappel d'informations spatiales est aussi efficace lorsque les stimuli sont présentés simultanément, ce n'est plus le cas lorsque les items sont séquentiels. Or, la parole nécessite un traitement séquentiel, on peut alors supposer que lorsque des nombres verbaux oraux sont présentés à un enfant sourd, il aura plus de difficultés à accéder à sa sémantique que face à un nombre arabe. On peut se demander si une tâche d'estimation à partir d'un nombre verbal oral serait alors moins bien réussie qu'une tâche d'estimation à partir d'un nombre arabe écrit.

3. Buts et hypothèses

Peu d'études, et encore moins francophones, se sont intéressées à la qualité de la représentation du nombre chez l'enfant sourd. Nous avons donc élaboré un protocole présenté ci-après nous permettant de déceler d'éventuels troubles des compétences numériques chez ces enfants.

Selon les données de la littérature que nous venons d'exposer, nous émettons les hypothèses suivantes :

Hypothèse 1 : nous avons vu que la qualité des représentations au sein du SNA est équivalente pour les sujets sourds et entendants. Nous supposons donc que nos groupes d'enfants sourds (ES) et contrôles seront aussi performants aux tâches d'estimation proposées dans cette étude. Toutefois, les codes symboliques étant dépendants du langage, nous nous attendons à ce que les ES présentent plus de facilités lorsque les tâches d'estimation impliquent du matériel non-symbolique.

En effet, plusieurs auteurs ont montré que la représentation de la magnitude au sein du SNA était bien équivalente. Cependant, l'accès à la magnitude à partir d'un code symbolique est plus lent pour les enfants sourds. Nous supposons donc que le temps de réponse aux tâches d'estimation à partir d'un code symbolique sera plus long pour les enfants sourds.

Hypothèse 2 : suivant les données de l'article de Zarfaty et al., (2004), les enfants sourds ont plus de facilités lors du traitement de données spatiales, plutôt que séquentielles. Pour rappel, les données spatiales sont des données exposées simultanément, alors que les informations séquentielles sont des données présentées une à une avec une notion temporelle. Nous voulons donc analyser si les résultats trouvés dans cette étude sont déclinables à une tâche à entrée verbale. En effet, Todman et Cowdy, (1993) ont montré que les données séquentielles avec encodage phonologique étaient plus difficiles à traiter pour les sujets sourds. Nous supposons alors que la condition où l'on présente un nombre arabe (NA) à la tâche d'estimation sera mieux réussie que lorsque l'on présente un nombre verbal oral (NVO) pour les enfants sourds. En effet, la condition NA est une condition spatiale (l'ensemble de l'information est donnée simultanément sur l'écran), et la condition NVO est séquentielle (l'information est donnée à l'oral avec une notion de temporalité).

Hypothèse 3 : concernant le SNE, nous supposons que les enfants sourds seront significativement moins performants que leurs contrôles appariés en âge, mais auront les mêmes compétences que leurs contrôles appariés au niveau du langage. Ainsi, les compétences langagières moins bonnes des enfants sourds expliqueraient leurs moins bonnes performances aux tâches du SNE.

Hypothèse 4 : nous avons également vu que le SNA permettrait de préciser le SNE et inversement chez les enfants sourds. Nous devrions constater une corrélation entre ces deux systèmes au sein de cette population.

Hypothèse 5 : comme nous l'avons vu précédemment dans la partie théorique, les enfants sont de moins en moins influencés par les variables perceptives avec l'âge. Les enfants les plus jeunes seraient donc plus en difficulté face à une tâche d'estimation présentant un fort contrôle perceptif (i.e. condition présentant des points de taille hétérogène), que les enfants plus âgés. De plus, les données de la littérature sont parfois contradictoires quant à une meilleure performance de la part des enfants sourds aux tâches visuo-spatiales par rapport aux enfants entendants. Nous analyserons donc si les enfants sourds sont meilleurs que leurs contrôles en âge chronologique aux tâches perceptives.

Hypothèse 6 : certains articles récents (Brisset et al., 2017) rapportent un effet de la scolarité sur les compétences numériques des enfants sourds. Les enfants sourds en inclusion individuelle totale auraient des compétences similaires à leurs homologues entendants. Nous analyserons si nous retrouvons ces résultats sur une population uniquement oralisante en inclusion.

Méthode

1. Participants

Les participants ont été recrutés par trois autres étudiantes travaillant sur cette étude et moi-même. Nous avons également utilisé des données récoltées lors de précédents mémoires inter-universitaires (Lentz, 2017 ; Bourles et Laussel, 2016 ; Legoff, 2016 ; Gérardy, 2016). Nous avons tout d'abord contacté des structures spécialisées ainsi que des orthophonistes en libéral pour leur faire part de notre étude. Une lettre explicative leur a été envoyée (Annexe 1). Si les professionnels contactés étaient intéressés, nous leur envoyions les demandes d'accord parentaux à transmettre aux familles (Annexe 2) pour qu'ils prennent, à leur tour, connaissance de l'étude et nous communiquent leur accord ou non. Ainsi, ils pouvaient remplir les coupons « réponse » pour nous les retourner (Annexe 3). Les critères d'inclusion de ces enfants étaient les suivants : les enfants devaient être scolarisés du CP à la troisième, avoir une surdité de moyenne à cophotique, sans trouble associé. Dans cette étude, nous nous intéressons spécifiquement aux enfants sourds oralisants.

L'échantillon d'enfants sourds oralisants sélectionnés pour notre étude est composée de 22 enfants (10 garçons) dont la moyenne d'âge est de 9 ans. Les enfants présentent différents degrés de surdité. On relève des enfants présentant une surdité bilatérale moyenne (N = 5) ; sévère (N = 2) ; profonde (N = 7) ; cophotique (N = 1) ; puis, des surdités asymétriques sévère/profonde (N = 4) ; sévère/cophotique (N = 1). Pour deux enfants le degré de surdité n'a pas été renseigné. Ils ont différents types d'appareillage : appareillage conventionnel (N = 8) ; Impant cochléaire ou IC (N = 11) ; IC + prothèse (N = 1) ; ancrage osseux type BAHA (N = 2). Ces enfants sont scolarisés soit en inclusion individuelle (N = 15) soit en classe spécialisée (N = 7). Enfin, ils sont scolarisés du CP à la 3ème : CP1 (N = 4) ; CP2 (N = 3) ; CE1 (N = 5) ; CE2 (N = 4) ; CM1 (N = 1) ; CM2 (N = 2) ; 6° (N = 1) ; 4° (N = 1) ; 3° (N = 1).

Concernant la population contrôle, nous avons sélectionné des enfants tout-venant, de même âge chronologique. Ces sujets ont été récoltés à partir d'une base de données disponible réalisée lors de mémoires précédents. Nous avons apparié un enfant contrôle de même sexe et de même âge que l'enfant sourd lorsque cela était possible. Nous avons également créé un groupe contrôle en langage pour vérifier si les résultats obtenus peuvent être expliqués par le niveau de langage. L'appariement en langage s'est fait grâce au score brut de l'EVIP. Les données d'appariement de nos trois groupes apparaissent dans le tableau 1 :

Tableau 1. Données d'appariement pour les trois groupes testés.

		Enfants sourds (N = 22)	Contrôles âge (N = 26)	Contrôles langage (N = 22)
Sexe	Fém/Masc	12/10	14/12	13/9
Âge	Moyenne	9.05	9.36	7.55
	Ecart-type	2.3	2.38	1.41
	Min-Max	6.75-16	6.75-15.83	5.75-9.92
Note brute EVIP (B)	Moyenne	71.45	118.27	82.14
	Ecart-type	28.14	23.84	20.79
	Min-Max	8-112	70-148	38-117
Note brute matrices WISC	Moyenne	17.86	19.88	17.09
	Ecart-type	4.87	2.76	3.21
	Min-Max	10-28	14-26	9-22

Nous avons donc effectué les appariements entre ces groupes pour vérifier qu'ils sont bien comparables :

Les groupes enfants sourds (ES) et contrôles en âge chronologique (AC) sont correctement appariés : ils sont similaires en ce qui concerne le sexe ($\chi^2(1) = .002 ; p = .96$), l'âge ($t(45) = -.45 ; p = .65$) et le QI ($t(32) = -1.73 ; p = .09$). En ce qui concerne les résultats à l'EVIP, les enfants AC sont significativement meilleurs que les ES ($t(41) = -6.16 ; p \leq .001$). Comme attendu, les enfants sourds ont de moins bonnes compétences langagières que leurs contrôles âge.

Les groupes enfants sourds (ES) et contrôles en niveau de langage (NL) sont correctement appariés : ils sont similaires en ce qui concerne le sexe ($\chi^2(1) = .09 ; p = .76$), le QI ($t(36) = .62 ; p = .54$) et le niveau de langage à leur score à l'EVIP ($t(39) = -1.43 ; p = 0.16$). Concernant l'âge, comme attendu, les enfants sourds sont significativement plus âgés que leurs contrôles langage ($t(35) = 2.6 ; p = .01$).

2. Tâches et matériel

Les passations sont individuelles et d'une durée d'environ 1h45. Nous avons effectué les passations en 3 séances pour limiter la fatigue des enfants. Elles ont été effectuées à domicile, à l'école ou au sein de leur structure d'accueil.

Il y a tout d'abord une série d'épreuves de type « papier-crayon » de pré-tests langagiers et cognitifs, pour vérifier les capacités cognitives non-verbales, le niveau de compréhension lexicale pour permettre l'appariement aux enfants contrôles et les différentes modalités de mémoire. On utilise alors l'Echelle de Vocabulaire en Images Peabody (EVIP) de Dunn, Thierault-Whalen, et Dunn (1993) pour déterminer le niveau de lexique en réception et permettre l'appariement aux enfants contrôles en niveau de langage. Pour évaluer les aptitudes intellectuelles non-verbales, nous effectuons la passation du subtest de l'épreuve des matrices de l'échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants et adolescents (Wechsler, 2003), dans laquelle les participants doivent identifier la partie manquante d'un problème visuel parmi quatre choix. Cette épreuve permet également d'effectuer l'appariement des enfants sourds avec les enfants contrôles en âge et en langage pour vérifier qu'ils sont comparables en ce qui concerne les compétences intellectuelles non-verbales. En ce qui concerne la mémoire à court-terme visuo-spatiale, nous utilisons l'épreuve de matrices visuelles, où l'enfant doit reproduire une matrice avec des cases noircies après présentation pendant deux secondes d'un modèle. Cette épreuve permet d'évaluer l'empan visuo-spatial et donc de vérifier l'efficacité de cette mémoire. La mémoire auditivo-verbale est évaluée grâce à une épreuve d'empan de chiffres endroit de l'Echelle Clinique de la Mémoire pour Enfant (Cohen, 2001).

Les tâches numériques consistent tout d'abord en une évaluation des compétences numériques transversales, avec une épreuve de gnosies digitales consistant en une mise en correspondance des perceptions tactiles perçues par la main de l'enfant et une main homologue dessinée, visible par celui-ci.

Ensuite, les compétences numériques exactes sont évaluées. Pour celles-ci, nous utilisons le Test Diagnostique des Compétences de Base en Mathématiques (Van Nieuwenhoven, Grégoire, et Noël, 2001). Nous déterminons le niveau d'acquisition de la chaîne numérique grâce à l'épreuve de comptage (avec borne supérieure, borne inférieure, entre deux bornes, à rebours, par pas). L'épreuve de transcodage (lecture et écriture de

nombre) de cette batterie est utilisée pour déterminer le niveau de compréhension du système numérique. Puis, nous évaluerons les compétences arithmétiques exactes grâce à une série d'additions puis de soustractions à réaliser en une minute, du Tempo Test Rekenen (De Vos, 1992).

En ce qui concerne les compétences numériques approximatives, nous utilisons la tâche d'estimation élaborée par Mejias et al., (2012) illustré par la figure 1. Cela consiste alors en l'estimation de numérosités dans quatre conditions : deux symboliques, nombres arabes (NA) et nombres à l'oral (NVO), et deux non-symboliques, une condition homogène où un ensemble de points noirs de tailles identiques est présenté (HO), puis une condition hétérogène dans laquelle les points noirs sont de tailles différentes pour contrôler les variables physiques (HE). La réponse des participants est toujours la même : elle consiste en une production de points homogènes à l'aide d'un potentiomètre. Sept numérosités sont présentées (8 – 12 – 16 – 21 – 26 – 34 – 64), six fois chacune, soit 42 items par condition.

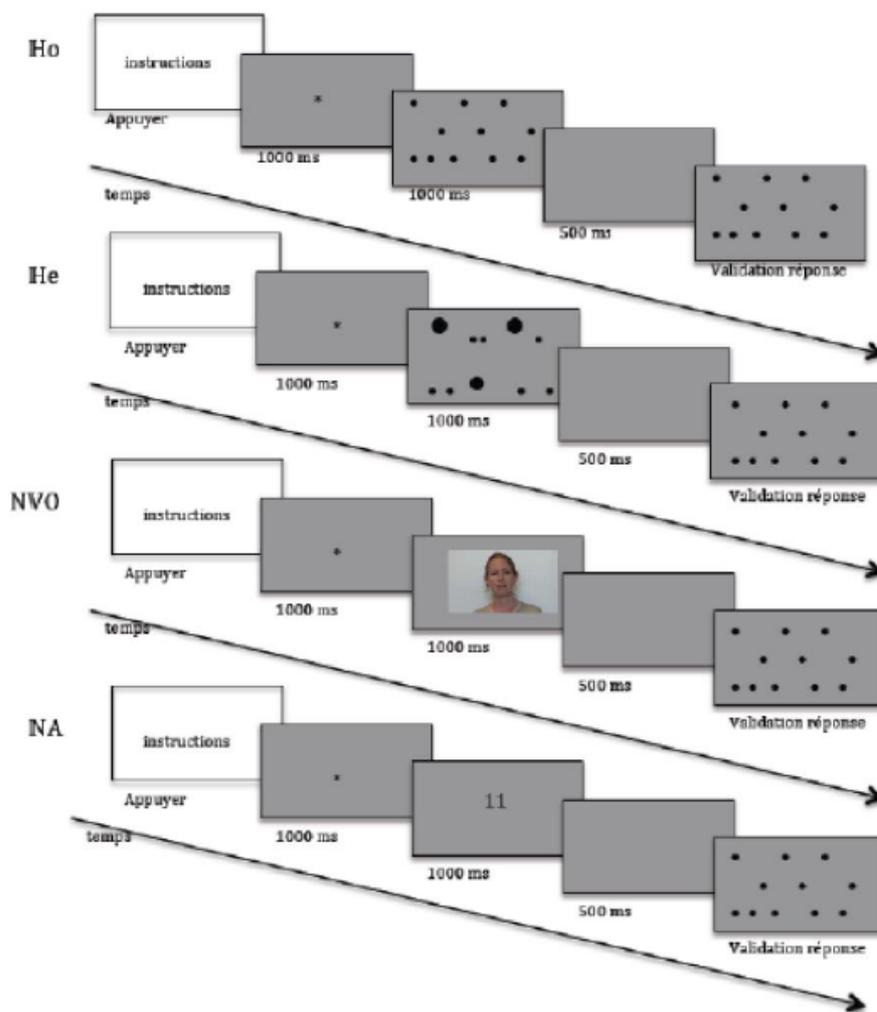


Figure 1. Illustration de la tâche d'estimation (d'après Mejias et al., 2012).

Les différentes conditions doivent nous fournir des indications quant aux compétences d'estimation des trois groupes d'enfants, et nous permettre de tester les hypothèses énoncées précédemment.

L'ordre des épreuves a été établi aléatoirement, les tâches « papier-crayon » n'ont pas toutes été présentées dans le même ordre. Pour la tâche d'estimation, un carré latin a été établi pour que les enfants ne passent pas les conditions dans le même ordre pour éviter le biais de l'influence de certaines conditions sur d'autres.

Résultats

Nous allons ci-après tenter de répondre à nos hypothèses présentées précédemment. Les analyses statistiques ont été réalisées grâce aux logiciels Excel et SPSS ainsi qu'au site internet «biostatgv». Le seuil de significativité retenu est $p \leq .05$, comme attendu dans la littérature.

1. Compétences numériques approximatives

1.1. Représentation de la magnitude

Pour vérifier notre hypothèse concernant le SNA des enfants sourds, nous allons tout d'abord nous intéresser à leur représentation de la magnitude.

L'étude des compétences numériques approximatives sera faite à partir des données en précision (accuracy score, AS) et en temps de réponse (TR) en millisecondes à la tâche d'estimation pour les quatre conditions : deux non-symboliques (HO, HE) et deux symboliques (NVO, NA). Les moyennes et écarts-types des AS et TR sont présentés dans le tableau 2. Les AS correspondent à la moyenne des écarts à la numérosité cible. En effet, chaque numérosité a été présentée six fois. Pour chaque présentation, le logiciel enregistrerait le nombre de points réalisé par l'enfant et le nombre de points d'écart par rapport au nombre cible. La moyenne de ces points d'écarts à la cible a été effectuée et correspond au score AS. Plus ce score est proche de 0, plus le sujet est précis. Le score AS est donc un score d'erreur.

Tableau 2. Score d'erreur et temps de réponse (en millisecondes) des enfants sourds (ES), contrôles âge (AC) et contrôles langage (NL).

	ES Moyenne (ET)	AC Moyenne (ET)	NL Moyenne (ET)
AS HO	10.20 (6.07)	8.14 (3.61)	10.87 (5.92)
AS HE	12.10 (5.83)	9.13 (4.04)	11.41 (5.39)
AS NVO	17.64 (8.84)	13.80 (8.20)	18.98(11.06)
AS NA	14.33 (7.93)	14.39 (7.67)	16.08 (9.08)
AS 4 Conditions	13.57 (5.51)	11.36 (4.89)	14.34 (6.89)
TR HO	6419.94 (2561.83)	4595.51 (1782.80)	5094.81 (1876.53)
TR HE	6102.71 (2288.42)	4243.30 (1449.31)	5368.45 (2710.10)
TR NVO	6200.45 (2244.79)	5181.03 (2054.77)	6092.25 (2992.99)
TR NA	6567.72 (3047.11)	4972.40 (2041.39)	5386.58 (2689.29)
TR 4 Conditions	6322.71 (1782.35)	4748.07 (1782.80)	5485.52 (2299.21)

Les ES ont des performances similaires aux AC. En effet, les moyennes des AS à la tâche d'estimation pour la condition non-symbolique HO ne diffèrent pas significativement ; il en va de même pour les conditions symboliques (NVO et NA) ($ps \geq .13$). Nous notons une différence marginale entre les deux groupes pour la condition HE ($t(36.41) = 2.01$; $p = .051$), les enfants sourds ont tendance à être moins précis à la condition HE que leurs pairs AC.

Les ES présentent des performances comparables aux contrôles NL pour la précision de leurs réponses, dans les quatre conditions de la tâche d'estimation ($ps \geq .50$). Les ES ne sont donc pas significativement différents de leurs contrôles AC et NL aux épreuves d'estimation. Nous avons réalisé une analyse ANOVA à mesures répétées (7 numérosités x 4 conditions x 3 groupes) pour vérifier que les trois groupes se comportent de la même manière selon la condition et selon la numérosité. Nous avons alors relevé un effet principal de la numérosité

($F(6.40) = 75.61$; $p \leq .001$) et de la condition ($F(3.20) = 30.77$; $p \leq .001$). Il n'y a cependant pas d'effet de groupe ($p = .18$). Les trois groupes se comportent donc significativement de la même manière suivant les conditions et les numérosités présentées. En effet, nous voyons que pour les trois groupes d'enfants, la précision aux numérosités diminue avec l'augmentation de la cible (figure 2) et la précision aux numérosités 8 et 64 est significativement différente de la précision aux autres numérosités ($p \leq .001$). Cependant les numérosités intermédiaires ne diffèrent pas entre elles ($ps \geq .36$). Il existe également une interaction numérosité x condition ($F(18.12) = 6.88$; $p \leq .001$). Les scores d'erreurs (AS) diffèrent de la même manière dans les trois groupes selon la condition et la numérosité. Nous voyons à la figure 2, ci-après, que les sujets ont des courbes similaires et se comportent de la même manière. Nous voyons que pour les trois groupes, il y a peu de différence entre les numérosités 8 à 34, avec une imprécision pour la numérosité 64, dans les conditions non-symboliques (HE et HO), alors que dans les conditions symboliques (NVO et NA) l'augmentation de l'imprécision est plus progressive entre les numérosités.

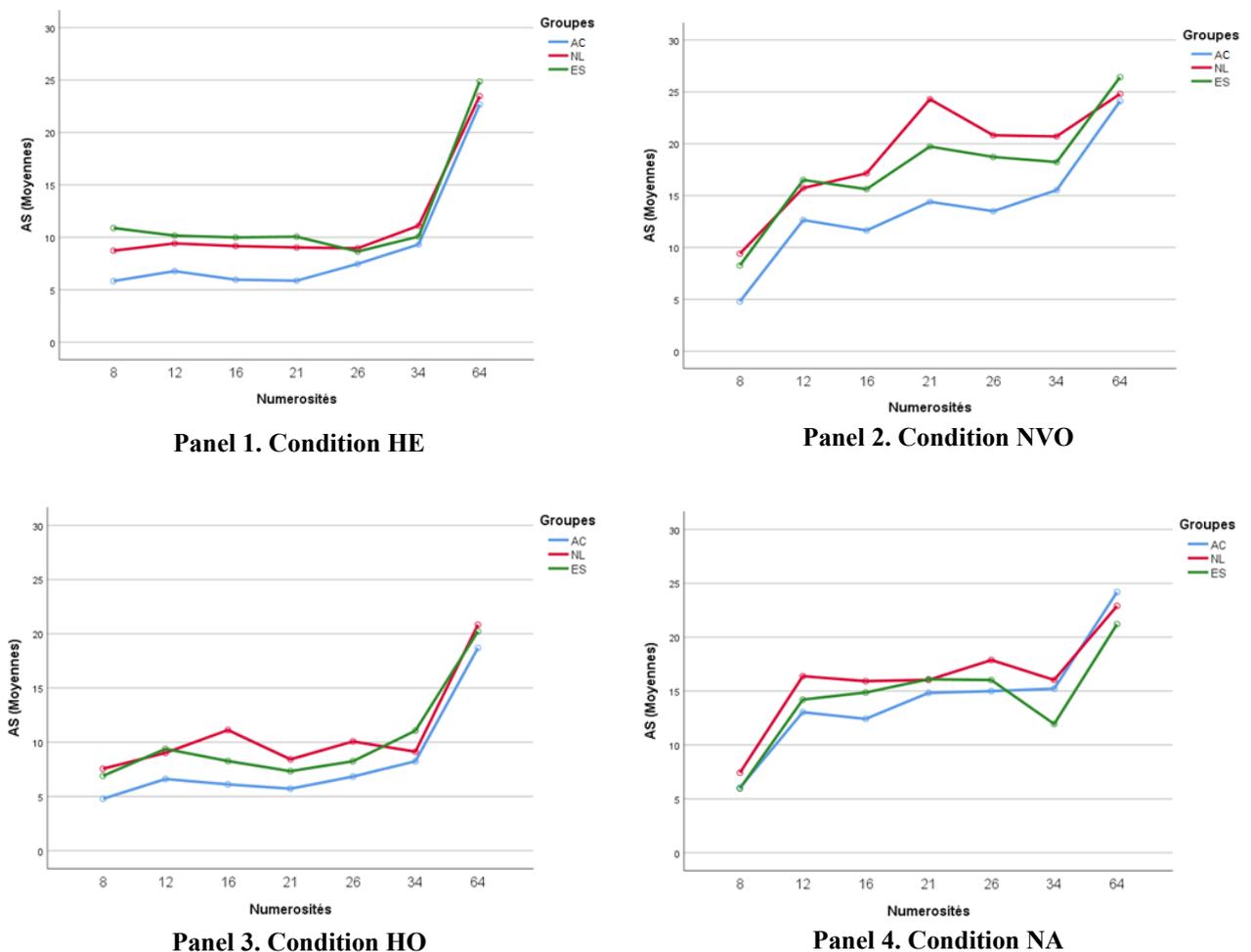


Figure 2. Moyennes des AS par condition.

Nous constatons par ailleurs, au test-t de Student apparié, que les enfants sourds sont plus précis aux conditions non-symboliques (HO et HE) que lors des conditions symboliques (NVO et NA) ($t(21) = 3.37$; $p = .003$). Nous pouvons de plus remarquer, sur les courbes précédentes, que les 3 groupes sont moins précis aux conditions symboliques que non-symboliques. Nous remarquons cependant que la courbe des enfants sourds pour la condition NVO ($M = 17.64$) est au-dessus de celle des AC ($M = 13.80$), ce qui marque une imprécision par rapport à ceux-ci, mais non significative.

Cependant, même si les ES ($M = 13.57$) ont une moyenne légèrement meilleure en terme de précision aux quatre conditions que leurs NL ($M = 14.34$), il n'y a pas de différence significative.

1.2. Accès à la représentation de la magnitude

Nous nous sommes ensuite intéressées à la qualité de l'accès à la représentation de la magnitude des ES par rapport aux enfants contrôles. Pour cela, nous avons comparé les temps de réponse aux différentes conditions des ES aux enfants AC et NL. Les ES étaient significativement plus lents dans les conditions non-symboliques (HE et HO) et à la condition NA ($ps \leq .04$) par rapport aux enfants AC. Aucune différence n'est remarquée pour la condition NVO entre les ES et les AC ($t(43) = 1.63 ; p = .11$).

Cependant, les ES ont le même temps de réponse que les NL pour les conditions symboliques (NVO et NA) et HE ($ps \geq .18$). On note une tendance des ES à être plus lents que les NL pour la condition HO ($t(38) = 1.96 ; p = .06$).

Les enfants sourds sont donc significativement plus lents que leurs contrôles AC pour répondre aux tâches d'estimation, mais ne présentent pas de différence significative avec leurs contrôles de même niveau de langage.

1.3. Différence de performance entre épreuves spatiales et séquentielles

Par ailleurs, nous avons supposé précédemment que les ES étaient plus performants lors d'épreuves spatiales que séquentielles. Pour vérifier que la différence de performance entre traitement d'une information spatiale et séquentielle peut aussi s'appliquer à une information séquentielle telle que la parole, nous désirons comparer les performances des ES en terme de précision aux conditions NA et NVO. Le groupe testé étant le même pour 2 conditions distinctes, nous utilisons un test-t de Student pour données appariées. Les ES sont alors significativement plus précis lors de la condition NA que lors de la condition NVO ($t(21) = 2.51 ; p = .02$). Ils sont alors en effet plus précis pour une condition spatiale que séquentielle.

2. Compétences numériques exactes

2.1. Comparaison des compétences numériques exactes entre les ES et leurs contrôles

Nous avons supposé que les compétences numériques exactes des ES sont moins performantes que celles de leurs homologues AC mais équivalentes au groupe NL. Le tableau 3 ci-après présente l'ensemble des moyennes, écarts-types, minima et maxima aux épreuves évaluant le SNE des trois groupes.

Tableau 3. Moyennes, écarts-types, Minima et maxima des trois groupes aux épreuves évaluant le SNE.

		ES (N = 22)	AC (N = 26)	NL (N = 22)
Comptage	Moyenne (ET) Min-Max	8.72 (2.97) 4-12	11.15 (1.59) 7-12	9.55 (2.54) 2-12
TTR total	Moyenne (ET) Min-Max	22.41 (10.53) 5-44	34.04 (13.32) 11-63	18.27 (10.57) 2-37
Ecriture sous dictée (ESD) en %	Moyenne (ET) Min-Max	88.83 (20.28) 35-100	99.23 (2.32) 90-100	95.91 (8.65) 66.67-100
Lecture à voix haute (LVH) en %	Moyenne (ET) Min-Max	92.25 (17.58) 50-100	98.65 (4.37) 80-100	95.53 (11.43) 50-100

Les ES sont moins performants par rapport aux AC pour les tâches de TTR, comptage et ESD ($ps \leq .03$), mais autant performants pour la LVH ($t(21) = -1.59$; $p = .13$). Les ES obtiennent des résultats similaires aux enfants NL pour l'ensemble des épreuves ($ps \geq .16$).

Les ES sont donc moins performants lors des épreuves évaluant le SNE par rapport à leurs AC mais obtiennent des résultats similaires par rapport à leurs NL.

2.2. Impact du langage sur le SNE

Nous allons à présent analyser si le langage a un impact sur les compétences numériques exactes.

Pour les ES, il y a une corrélation marginale entre l'EVIP et le comptage ($r = .45$; $p = .06$), leur score à l'EVIP est corrélé au TTR ($r = .62$; $p = .002$). Pour le groupe des AC, l'EVIP est corrélé au comptage ($r = .65$; $p \leq .001$) et au TTR ($r = .59$; $p = .002$). Nous retrouvons les mêmes corrélations chez les NL (comptage : $r = .52$; $p = .01$; TTR : $r = .70$; $p \leq .001$).

Ces corrélations laissent à penser qu'il existe un lien entre les compétences langagières et les compétences numériques exactes. Nous avons en effet remarqué précédemment, que les enfants sourds étaient moins performants que leurs contrôles en âge, mais ont les mêmes performances que leurs contrôles langage.

2.3. Compétences transversales

Nous constatons que l'empan auditivo-verbal des ES est significativement inférieur à celui des enfants AC ($t(44) = -4.02$; $p \leq .001$, avec pour moyennes AC : $M = 8.12$; ES : 6.09) mais équivalent aux NL ($t(40) = -.29$; $p = .77$; avec pour moyenne NL : $M = 6.23$).

3. Corrélation des compétences au SNA et au SNE

Nous avons souhaité observer si les systèmes numériques approximatif et exact étaient liés chez l'enfant sourd. Pour cela nous avons analysé le lien entre le SNA et les tâches de calculs (TTR) et de comptage. Le score de transcodage n'étant pas assez sensible, avec de nombreux scores plafonds, nous ne l'avons pas inclus dans l'analyse.

Pour pouvoir établir un score SNE, nous avons regroupé les scores de TTR et de comptage car une corrélation significative apparaît entre ces épreuves ($r = .56$; $p \leq .001$).

Pour les ES, chaque condition de la tâche d'estimation (SNA) est corrélée au score SNE (TTR + comptage) : $ps \leq .04$. Il existe donc une corrélation significative chez les enfants sourds entre SNA (moyenne des AS aux 4 conditions) et SNE ($r = -.67$; $p = .002$). Plus les

ES sont précis au SNA, plus ils seront performants en SNE. Pour les contrôles âge (AC), nous observons une corrélation marginale seulement pour la condition NVO ($r = -.38 ; p = .05$). Dans le groupe NL, les capacités en SNE sont significativement liées à chacune des conditions ($ps \leq .02$).

Il existe donc un lien entre le SNE et le SNA pour toutes les conditions chez les ES et leurs contrôles NL. Cependant, seule la tâche à la condition NVO corrèle avec le score SNE pour les contrôles AC.

Par ailleurs, nous avons également mesuré la corrélation entre le temps de réponse à la condition NA de la tâche d'estimation et le score au transcodage, pour vérifier s'il y a un lien entre l'accès au SNA, à partir du code arabe, et la capacité de transcodage. Nous remarquons alors qu'il n'y a pas de corrélation entre ces deux valeurs pour les ES ($r = -.23 ; p = .31$) ni pour les NL ($r = -.04 ; p = .87$). Cependant cette corrélation existe pour les enfants AC ($r = -.53 ; p = .01$), plus ces enfants sont rapides à la condition NA, plus ils sont performants au transcodage.

4. Influence des variables perceptives

4.1. Sur les compétences approximatives

Nous voulons étudier si les ES sont influencés par les variables perceptives lors du traitement de données analogiques dans une tâche d'estimation. Nous avons alors vérifié s'il existait une corrélation entre l'âge et la précision à la condition HE (points de taille hétérogène). Il n'existe pas de corrélation entre ces deux variables pour les groupes ES et AC ($ps \geq .11$). Cependant, il y a un lien entre l'âge et les performances à la condition HE pour les enfants NL, plus ils grandissent : plus ils sont précis et moins ils se laissent influencer par les variables perceptives.

Nous avons ensuite vérifié si les ES sont meilleurs à la tâche HO qu'à la tâche HE, ce qui montrerait une influence des variables perceptives. Nous utilisons donc un test-t de Student pour données appariées. Les ES ne montrent alors pas de différence de précision entre les deux conditions ($t(21) = 1.24 ; p = .23$). Toutefois, selon l'effet marginal retrouvé précédemment au test-t de Student lors de la comparaison entre ES et AC à la condition HE de la tâche d'estimation ($t(36) = 2.01 ; p = .05$), les ES ont tendance à être moins précis que leurs AC.

4.2. Compensation par la modalité visuelle

L'existence d'une compensation par la modalité visuelle est parfois discutée. Nous présentons ci-après, dans le tableau 4, les scores à l'empan visuo-spatial des trois groupes.

Tableau 4. Moyennes, écarts-types, minima et maxima pour l'empan Visuo-Spatial des trois groupes testés.

		ES (N=22)	AC (N=26)	NL (N=22)
Empan visuo-spatial	Moyenne (ET)	5.18 (1.43)	5.23 (1.61)	4.05 (1.13)
	Min-Max	3-9	2-8	2-6

Dans notre étude, nous ne relevons pas de meilleures performances de la part des ES à l'empan visuo-spatial par rapport aux enfants AC ($t(46) = -.11 ; p = .91$). Les ES sont

cependant significativement meilleurs que leurs contrôles langage ($t(40) = 2.91$) ; $p = .01$). Les ES ont les mêmes compétences visuo-spatiales que leurs contrôles âge mais sont significativement meilleurs que leurs contrôles langage.

5. Influence de la scolarité dans les compétences numériques

Nous allons maintenant analyser s'il existe un effet de la scolarité sur les compétences numériques approximatives et exactes de notre échantillon.

5.1. Comparaison des enfants sourds inclus par rapport à leurs contrôles âge

Des études ont montré les effets du type de scolarité sur les compétences numériques des ES. Nous avons donc sélectionné au sein de notre échantillon les ES en inclusion individuelle à temps complet. Nous les avons alors comparés à leurs AC. On retrouve les mêmes résultats que lors de la comparaison entre ES toutes scolarités avec leurs contrôles AC : les ES inclus sont significativement moins performants au TTR ($t(32) = -2.40$; $p = .02$) et ont tendance à être inférieur au comptage et à l'ESD ($ps \leq .06$). Il n'y a pas de différence à l'épreuve de LVH entre les ES inclus et les AC ($t(13) = -1.64$; $p = .13$). Il en est de même pour les données analogiques : aucune différence de précision n'est relevée entre les ES inclus et leurs AC ($ps \geq .10$) tout comme ce que nous retrouvions entre les ES toutes scolarités et leurs AC.

5.2. Comparaison des enfants sourds en inclusion et en classe spécialisée

Nous avons alors souhaité comparer les ES inclus avec les ES en classe spécialisée. Les groupes étaient significativement différents : les ES inclus sont significativement plus âgés ($t(17) = 2.91$; $p = .01$), ont un meilleur niveau de langage ($t(12) = 4.66$; $p \leq .01$) et un meilleur QI non-verbal ($t(12) = 2.88$; $p = .01$) que les ES en classe spécialisée. Malgré ces différences significatives entre les deux groupes, les ES en classe spécialisée obtiennent des résultats similaires pour les compétences du SNE (comptage, transcodage $ps \geq .11$) seul le TTR est significativement moins bien réussi pour les ES en classe spécialisée ($t(20) = 2.22$; $p = .04$). En ce qui concerne le SNA, il n'y a aucune différence entre les ES inclus et les ES en classe spécialisée quant à la précision dans n'importe quelle condition ($ps \geq .21$). Les ES en classe spécialisée ont également les mêmes temps de réponse en moyenne que les ES inclus quelle que soit la condition ($p \geq .16$). Il n'y a donc aucune différence entre les deux groupes par rapport aux compétences numériques approximatives.

Discussion

Notre étude a pour but d'enrichir les connaissances dont on dispose sur les compétences numériques approximatives et exactes des enfants sourds oralisants.

Nous voulions confirmer, suite à notre revue de littérature, que la représentation de la magnitude est la même chez l'enfant sourd et entendant et nous voulions examiner ce qu'il en était de l'accès à la représentation de cette magnitude suivant les hypothèses de Rousselle et Noël, (2007). Par ailleurs, suivant les données de l'article de Zarfaty et al., (2004), les enfants sourds auraient plus de facilités dans le traitement des informations spatiales que séquentielles, nous avons souhaité vérifier cela également afin de comprendre au mieux le fonctionnement de l'enfant sourd et comment lui apporter les aides les plus pertinentes possibles. Nous supposons également que le SNE serait moins performant pour les enfants sourds, car dépendant du langage, par rapport à leurs contrôles âge, mais qu'ils auraient les mêmes compétences que leurs contrôles langage. Ainsi, nous voulions examiner si le SNA était lié au SNE chez les enfants sourds. De plus, certaines études, telle que celle de Mejias et al., (2012), ont montré que les sujets se détachent des variables perceptives avec l'âge, nous voulions vérifier cela sur une population sourde, et si ceux-ci ne sont pas plus influencés par ces variables. En effet, il existerait pour certains auteurs une compensation par la modalité visuelle des personnes sourdes. Enfin, des études récentes montrent le rôle du type de scolarité dans les compétences numériques. Nous avons donc évalué si notre groupe d'enfants sourds oralisants en inclusion obtenait des résultats similaires à leurs contrôles âge.

Nous avons alors souhaité étudier un groupe d'enfants sourds oralisants, en précisant les caractéristiques de leur surdité, leur type d'appareillage etc., ce qui n'est pas le cas de toutes les études de la littérature. Notre épreuve d'estimation est, par ailleurs, plus sensible que certaines proposées dans notre revue de littérature (Rodriguez-Santos et al., 2014 ; Brisset et al., 2017 par exemple). En effet, le hasard intervient moins dans cette épreuve car les enfants n'ont pas à choisir entre deux ensembles, ou deux nombres. Ils doivent produire un ensemble de points homogènes. De plus, les capacités d'estimation sont évaluées à partir de toutes les entrées possibles : entrées analogiques (avec points homogènes et points hétérogènes pour contrôler les variables perceptives), entrée par le code arabe et entrée par le code verbal. Nous pouvons alors constater s'il y a des différences selon l'entrée.

Nous allons à présent interpréter l'ensemble de nos résultats.

1. Compétences numériques approximatives

1.1. Représentation de la magnitude et accès à celle-ci

Selon Zarfaty et al., (2004), les enfants sourds d'âge pré-scolaire ne présentent pas de différence dans la représentation de la magnitude. Nous retrouvons ces résultats pour des enfants sourds oralisants d'âge scolaire. En effet, nos résultats montrent que les enfants sourds ne sont pas significativement différents en précision à la tâche d'estimation quelle que soit la condition par rapport aux contrôles âge et aux contrôles langage (une différence marginale est relevée pour la condition HE lors de la comparaison entre ES et AC, mais nous y reviendrons plus tard). La représentation de la magnitude semble donc être similaire entre les ES de notre échantillon et leurs enfants contrôles, tous confondus. Notre analyse ANOVA nous confirme

que les trois groupes d'enfants ont la même représentation de la magnitude, avec de meilleures performances aux conditions non-symboliques que symboliques et une augmentation de l'imprécision de leurs réponses avec l'augmentation de la numérosité. Les enfants sourds ont donc la même représentation de la magnitude que leurs pairs entendants selon une ligne numérique mentale, régie par le même effet de taille (plus les numérosités augmentent, plus leurs réponses sont imprécises). Il n'y a pas de différence dans la structure du SNA même après l'entrée à l'école.

Cependant, Rodriguez-Santos et al., (2014) ont émis l'hypothèse que ce n'est pas dans la représentation de la magnitude que les enfants sourds diffèrent, mais dans l'accès à cette représentation. Ils ont alors trouvé que les ES sont plus lents lors de tâches d'estimation à partir de codes symboliques, mais ne présentent pas de différence à partir de code analogique. Nous ne retrouvons pas les mêmes résultats. En effet, nous observons une lenteur significative aux conditions HE, HO et NA par rapport à leurs contrôles de même âge. Nous concluons donc à un déficit de l'accès à la représentation de la magnitude, non seulement à partir de codes symboliques, mais aussi à partir de codes non-symboliques. Par ailleurs, aucune différence n'est retrouvée pour la condition NVO pour les temps de réponse, entre les enfants sourds et leurs contrôles âge et les enfants sourds ne sont pas significativement plus lents que leurs contrôles langage pour les conditions HE, NVO et NA. Nous émettons alors l'hypothèse d'un recodage verbal systématique pour accéder à la représentation de la magnitude. Nous avons en effet pu observer cliniquement que certains enfants sourds se répétaient les chiffres lors de la condition NA par exemple. Ce recodage serait également effectué lorsque l'enfant est face à une entrée non-symbolique. Il serait même parfois plus difficile d'effectuer ce recodage pour passer d'une représentation analogique à une autre. Les ES sont effectivement plus lents que leurs contrôles langage pour effectuer la tâche d'estimation à la condition HO.

L'hypothèse du recodage verbal interne expliquerait également qu'il n'y a pas de différence de temps de réponse pour la tâche NVO entre les ES et les AC. En effet, le nombre étant déjà donné à l'oral, les ES ne doivent pas repasser par un recodage langagier interne pour accéder à cette numérosité, la représentation phonologique du chiffre leur est déjà donnée. On peut d'ailleurs constater que leur moyenne en temps de réponse à cette condition est moins importante que pour les autres conditions (hormis pour la condition HE qui est particulière car elle est dépendante des variables perceptives, nous détaillerons ceci par la suite). Ce recodage verbal est moins performant chez les enfants sourds car il est dépendant du langage, ce qui explique le temps de réponse significativement plus élevé par rapport à leurs contrôles âge, mais similaires à leurs contrôles langage. Sweeney, (1998) a en effet établi que les enfants sourds utilisent un « code langagier » pour retenir des informations, mais qu'il est moins performant que leurs homologues entendants. Nous constatons par ailleurs que l'empan auditivo-verbal, nécessitant une boucle audio-phonologique efficace, est largement inférieur chez les enfants sourds par rapport à leurs homologues entendants. Leur recodage interne verbal est donc moins efficace.

Cependant, nous remarquons que l'ensemble des groupes sont moins précis pour les conditions symboliques que non-symboliques. Les enfants sourds sont néanmoins significativement plus précis pour les conditions non-symboliques que pour celles symboliques. De plus, ils sont inférieurs à leurs contrôles âges et supérieurs à leurs contrôles langage (voir figure 2 : panels 2 et 4). Les conditions symboliques dépendent du langage, l'association entre code symbolique et représentation de la numérosité serait moins fiable

pour les enfants sourds par rapport à leurs contrôles âge mais plus fiable par rapport à leurs contrôles langage.

Les enfants sourds sont donc moins précis par rapport à eux-mêmes lors de l'estimation à partir de codes symboliques, car ils sont dépendants du langage. Quant à l'accès à la représentation de la numérosité, les enfants sourds sont plus lents quelle que soit la modalité de présentation.

1.2. Epreuves spatiales et temporelles

Zarfaty et al., (2004), ont montré à travers leur étude, que les enfants sourds d'âge préscolaire étaient meilleurs dans le traitement d'informations spatiales plutôt que séquentielles lors d'épreuves visuelles. Nous avons souhaité analyser si ces résultats étaient observables également en modalité visuelle et auditive. L'information verbale étant séquentielle car temporelle, nous avons souhaité voir si elle était moins bien traitée qu'une information spatiale visuelle. Nous avons donc voulu confirmer ces résultats auprès d'enfants d'âge scolaire. Nous observons alors, que les ES sont significativement meilleurs lors de la condition NA que pendant la condition NVO. En effet, la condition NA est spatiale, car l'ensemble de l'information à traiter apparaît simultanément sur l'écran. La condition NVO, elle, est séquentielle, car dépendante de la parole, elle dépend d'un traitement phonologique temporel et donc séquentiel.

Les enfants sourds oralisants, d'âge scolaire auraient donc ici aussi de meilleures compétences dans le traitement d'informations spatiales plutôt que séquentielles, les données de Zarfaty et al., (2004) sont donc confirmées avec notre analyse. Nous supposons que le traitement séquentiel verbal est donc également plus difficile à traiter par les enfants sourds que des données spatiales. Les données uniquement verbales sont donc difficiles à traiter.

2. Compétences numériques exactes

Dans la majorité des études rapportées, les auteurs observent un retard des compétences mathématiques globales d'en moyenne deux ans. Ils expliquent ce retard par les difficultés linguistiques se répercutant sur les compétences numériques exactes.

Nous retrouvons en effet, des scores significativement inférieurs pour les enfants sourds aux tâches de calculs (TTR), comptage et écriture de nombres sous dictée par rapport aux contrôles âge. Cependant, aucune différence n'est retrouvée entre les enfants sourds et leurs contrôles langage. Les enfants sourds ont donc le même niveau que des enfants plus jeunes et de même niveau langagier. Nous pouvons alors supposer que le niveau langagier impacte les compétences numériques exactes.

Nous retrouvons les mêmes résultats que Hage et al., (2006) : les enfants sourds sont significativement moins bons en comptage que leurs pairs entendants de même âge, on observe donc un retard également à ce niveau-là. Ce retard pourrait s'expliquer également par les difficultés langagières des enfants sourds.

Au niveau du transcodage, l'écriture sous dictée est significativement moins performante chez les enfants sourds que chez leurs contrôles âge. Cependant, il n'y a pas de différence pour la lecture à voix haute. Selon le modèle du triple code de Dehaene (1992), le passage du code arabe au code verbal ne met pas en difficulté les enfants sourds de notre échantillon, cependant le passage du code verbal au code arabe est plus délicat. Le traitement de l'information verbale est de nouveau plus laborieux pour les enfants sourds. Ces résultats

sont en partie concordants avec ceux de l'étude de Genovese et al., (2005) qui eux, ne trouvent pas de différence dans la tâche d'écriture sous dictée. Ils expliquent ces résultats par le fait que cette épreuve résulte d'un apprentissage spécifique. Cette hypothèse concorde avec nos résultats similaires à l'épreuve de la lecture à voix haute. Cependant, nous supposons que les enfants sourds de notre échantillon ont des difficultés dans le traitement de l'information verbale ce qui entraîne des difficultés dans la tâche d'écriture sous dictée. En effet, leurs résultats à cette tâche sont similaires à des enfants de même niveau langagier. De plus, cette épreuve relève d'un apprentissage spécifique, tout comme l'épreuve de lecture à voix haute de nombres, qui elle, ne demande pas de traitement d'information verbale et qui est aussi bien réussie chez les enfants sourds que chez leurs contrôles âge. Nous supposons alors que le traitement verbal, requis pour l'épreuve d'écriture de nombres sous dictée, met en difficulté les enfants sourds.

Les enfants sourds connaissent donc un retard dans les compétences numériques exactes par rapport à leurs pairs entendants de même âge.

Pour vérifier l'influence du langage sur les capacités numériques exactes, nous avons mesuré la corrélation entre les épreuves de comptage et de calculs (TTR) avec les scores à l'EVIP des trois groupes. Pour les trois groupes, nous avons remarqué une corrélation positive entre l'EVIP et le comptage et l'EVIP et le TTR. Plus les sujets sont performants en langage, plus ils le sont aux épreuves numériques exactes. Le langage est donc un des facteurs qui détermine les compétences numériques exactes. Les enfants sourds ayant un moins bon niveau langagier que leurs pairs entendants de même âge (voir moyennes dans tableau 1), ils ont un moins bon niveau à leur SNE.

3. Corrélation des compétences au SNA et au SNE

Brisset et al., (2017) ainsi que d'autres auteurs émettent l'hypothèse que les systèmes numériques approximatif et exact sont interdépendants.

Ils pensent que les difficultés langagières des enfants sourds se répercuteraient sur leurs systèmes numériques approximatif et exact. Nous avons effectivement constaté que les difficultés verbales peuvent entraîner une difficulté d'accès aux représentations analogiques, à cause d'un recodage verbal interne moins efficace, et que leur SNE est moins performant que leurs contrôles entendants de même âge.

Leur SNA et SNE sont-ils alors liés ? Nos résultats montrent en effet une corrélation significative chez les enfants sourds entre leur précision au SNA dans les quatre conditions et leur score au SNE (comptage et calculs). Les deux systèmes sont donc bien interdépendants pour les enfants sourds. Les enfants sourds s'appuient sur leur SNA pour préciser leur SNE et inversement. Nous rejoignons donc les auteurs : les capacités acquises jouent également un rôle sur le traitement non-symbolique, notamment sur la vitesse d'accès à ces représentations non-symboliques. Les enfants sourds sont en effet plus lents dans la condition NA que dans les autres conditions pour répondre à la tâche d'estimation. Ces résultats corréler également avec l'étude de Halberda, Mazzocco, et Feigenson, (2008), montrant que les différences inter-individuelles dans les compétences numériques exactes sont liées aux différences inter-individuelles dans la précision du SNA chez l'enfant tout-venant.

Cette corrélation entre SNA et SNE est retrouvée pour les contrôles langage mais pas pour les contrôles âge. Arfé et al., (2011) ont montré que lors d'une tâche de comparaison de nombres, les enfants entendants repassent par leur chaîne numérique verbale pour répondre,

ils restent donc dans leurs compétences exactes. Ce qui n'est pas le cas pour les enfants sourds, repassant par leurs représentations analogiques. Les enfants ayant un SNA performant et stable pourraient alors s'en détacher pour préciser leur SNE. Ou encore, nous pouvons émettre l'hypothèse qu'au-delà d'un certain niveau de précision, le SNA évolue moins vite que le SNE. Une dernière hypothèse peut être que le langage lie les deux systèmes SNE et SNA, par le recodage que nous avons exposé précédemment. Une fois que le sujet n'a plus besoin de passer par son recodage verbal interne pour faire le lien entre le SNA et le SNE, les deux systèmes sont par conséquent moins liés entre eux.

Selon certains auteurs (Arfé et al., 2011), la capacité à mettre en lien un code (verbal ou arabe) avec sa magnitude entre en jeu dans les compétences numériques approximatives et exactes. Nous avons donc mesuré s'il existait une corrélation entre le temps de réponse à la condition NA de la tâche d'estimation et les scores de transcodage. Les enfants sourds ne montrent pas de corrélation entre ces données, le lien entre l'accès au système numérique approximatif à partir du code arabe et la capacité de transcodage semble moins liée que pour leurs contrôles entendants. L'accès à la magnitude à partir d'un code arabe est moins lié aux capacités de transcodage. L'enfant sourd fait moins de lien entre les codes symboliques et non-symboliques. Les associations nombres (arabes ou verbaux) - représentations analogiques sont moins évidentes à réaliser pour les enfants sourds.

4. Influence des variables perceptives

Lors de l'étude du SNA chez les enfants sourds dans la littérature, il est rare que les variables perceptives aient été contrôlées. Par exemple, dans l'étude de Rodriguez-Santos et al., (2014), lors de la tâche de comparaison de nombre de points, les variables perceptives n'ont pas été contrôlées. Les enfants sourds ont alors obtenu les mêmes résultats que les enfants entendants. Il est donc difficile d'être sûr que les enfants sourds ne s'aident pas de ces variables plutôt que de la numérosité pour répondre correctement aux épreuves. Nous avons donc utilisé deux conditions différentes pour vérifier l'influence des variables perceptives, avec une condition de points homogènes et une condition de points hétérogènes (pour l'ensemble des items, la même surface de l'écran est occupée, ceci pour voir si les enfants sourds s'appuient sur les informations spatiales ou numériques pour répondre).

Mejias et al., (2012) ont montré que les enfants sont de moins en moins influencés par les variables perceptives avec l'âge. Ceci se retrouve dans notre étude où l'on observe une corrélation entre âge et précision à la condition HE de la tâche d'estimation uniquement chez les enfants contrôle langage (significativement plus jeunes que les enfants sourds et les contrôles âge). Les enfants plus âgés n'ont donc pas de corrélation entre leur âge et leur précision à une tâche d'estimation de points hétérogènes. Cependant, cette étude a également montré que les enfants ayant des difficultés en mathématiques étaient plus influencés par les variables perceptives. Pour vérifier si nos données concordent avec ces résultats, nous avons évalué si, au sein de la tâche d'estimation, les enfants sourds étaient influencés par les variables perceptives. Nous avons donc comparé leurs performances aux conditions HO (points homogènes) et HE (points hétérogènes). Les enfants sourds de notre échantillon n'ont pas de différence de performance entre les deux tâches. Cela montre que même lorsque la surface occupée est la même pour tous les items, dans la condition HE, les enfants sourds prennent en compte le nombre et ne se laissent pas influencer par la variable perceptive. Toutefois, les enfants sourds ont tendance à être moins précis à la condition HE par rapport à

leurs contrôles âge. Les enfants sourds ne sont donc pas influencés par les variables perceptives entre les deux conditions HO et HE mais ils sont tout de même plus influencés par celles-ci que leurs homologues de même âge.

Par ailleurs, plusieurs auteurs, tels que Bull et al., (2005), ont émis l'hypothèse que la perte auditive des enfants sourds serait compensée par la modalité visuelle. Cette hypothèse a été réfutée, notamment par Marschak, Morrison, Lukomski, Borgna, et Convertino, (2013) qui ont montré que les enfants sourds obtiennent les mêmes résultats à des épreuves visuo-spatiales que des enfants entendants. Les enfants sourds n'ont donc pas une supériorité de performance pour ce genre d'épreuves. Ils concluent que les enfants sourds ne sont pas plus susceptibles d'être des apprenants visuels que les enfants entendants. Brisset et al., (2017) confirment également ces données, les enfants sourds dans leur étude ne sont pas avantagés dans les tâches sollicitant la perception visuo-spatiale par rapport à leurs homologues entendants. Nous avons alors comparé les résultats à l'empan visuo-spatial des enfants sourds et entendants de même âge. Les enfants sourds ne montrent alors pas de meilleurs résultats aux compétences visuo-spatiales. Ils sont sensiblement identiques à leurs homologues entendants de même âge. Ils obtiennent par ailleurs, un résultat significativement meilleur que leurs contrôles langage à cette épreuve. Le groupe contrôles langage étant significativement plus jeune, ce résultat paraît normal, l'empan visuel se développant avec l'âge. D'après notre échantillon, les enfants sourds ne sont donc pas meilleurs pour cette modalité par rapport à des enfants entendants de même âge pour cette épreuve.

Cependant, certaines études montrent que cette tendance apparaît à l'âge adulte. Or notre population est uniquement composée d'enfants de 6 à 16 ans, il est donc normal que nous n'aboutissions pas aux mêmes résultats. De plus, nous n'avons dans notre échantillon que des enfants oralisants, des enfants signants pourraient alors avoir de meilleures capacités visuo-spatiales qu'un enfant tout venant, car ils sollicitent plus leur modalité visuelle. Encore une fois, Brisset et al., (2017) ayant évalué ces compétences chez des enfants signants également, n'ont pas trouvé de différence avec leurs homologues entendants.

5. Influence de la scolarité dans les compétences numériques

L'étude de Brisset et al., (2017) montre que le mode de scolarisation des enfants sourds influence les performances au niveau des compétences mathématiques. Nous appelons scolarité en inclusion une intégration à temps complet de l'enfant dans une classe dite « ordinaire » avec un enseignement « tout-venant ». Les enfants sourds en inclusion présenteraient alors des performances similaires à leurs contrôles de même âge et meilleures que les enfants en classe spécialisée en ce qui concerne les compétences mathématiques. Les enfants inclus ne présentent pas non plus de différence au niveau du SNA par rapport à leurs homologues entendants, mais des résultats légèrement supérieurs aux enfants sourds en classe spécialisée à la tâche de comparaison de nombres. Nous retrouvons partiellement ces résultats. Nous avons comparé les enfants sourds en inclusion avec leurs homologues entendants. Les enfants sourds en inclusion ont tendance à être moins performants pour les épreuves numériques exactes. Pour les épreuves analogiques, il n'y a pas de différence en termes de précision entre les deux groupes d'enfants. Les enfants sourds inclus sont aussi précis que leurs homologues entendants de même âge.

Nous avons alors souhaité comparer les enfants sourds en inclusion et les enfants sourds en classe spécialisée. Le groupe d'enfants inclus était significativement plus âgé, meilleur aux capacités langagières et meilleur lors de l'épreuve du QI non-verbal. Malgré ces différences, les enfants en classe spécialisée obtiennent les mêmes résultats pour le système numérique exact, seule l'épreuve de calculs (TTR) est moins bien réussie par les enfants en classe spécialisée. Ceci peut s'expliquer par le fait que les enfants en classe spécialisée étant significativement plus jeunes, ils sont donc dans un niveau scolaire inférieur et n'ont donc pas la même expérience et le même niveau d'enseignement du calcul. Nous ne relevons pas non plus de différence dans le système numérique approximatif. Bien qu'ils soient plus âgés, et qu'ils aient de meilleures performances en langage et en QI non-verbal, les enfants inclus n'ont pas de meilleures performances dans les compétences numériques approximatives et exactes. Nous ne pouvons donc pas confirmer l'effet de la scolarité sur ces compétences. Cependant, nos résultats sont à interpréter avec précaution. En effet, les deux groupes n'étaient pas significativement comparables, comme nous l'avons précisé. De plus, le groupe d'enfants inclus était composé de 15 enfants sourds alors que le groupe d'enfants en classe spécialisée était composé de 7 enfants sourds. Il aurait été préférable d'avoir deux groupes d'enfants plus importants, de même nombre et comparables au niveau de l'âge et du QI non-verbal.

6. Critiques méthodologiques

Suite à l'exposition de nos résultats à leurs interprétations, nous avons relevé certains biais méthodologiques.

Tout d'abord, concernant la durée des passations : chaque passation pour un enfant a finalement duré en moyenne 2h15. En effet, les épreuves étaient longues et entraînaient beaucoup de fatigue pour les enfants. Nous avons donc scindé les passations en 3 passations de 45 minutes ou 4 passations de 35 minutes environ, selon les capacités attentionnelles des enfants et leur fatigabilité. Malgré le découpage du protocole en différentes sessions, les épreuves d'estimation étaient longues et redondantes. Chaque condition durait une dizaine de minutes, ce qui paraissait très long pour les enfants, qui décrochaient en fin d'épreuve. En effet, une fois une épreuve d'estimation commencée, nous devons la terminer, car nous ne pouvons pas la poursuivre lors une autre session, les données du début d'épreuves seraient perdues. Le niveau attentionnel demandé était particulièrement important. Les enfants demandaient régulièrement quand finissait l'épreuve. Pour essayer de leur donner un objectif final, ils pouvaient choisir un tampon à ramener chez eux à chaque fin d'épreuve d'estimation. Cependant, il aurait été préférable d'utiliser des dessins ou images attrayantes pour les enfants et de présenter la tâche sous forme de jeu pour qu'ils aient un réel objectif face à la tâche et pour maintenir leur attention durant la totalité de la passation.

De plus, nous avons utilisé l'EVIP pour évaluer le niveau de langage car c'est le test le plus souvent utilisé dans la littérature. Nous avons donc voulu que notre étude soit comparable avec celles déjà existantes. Cependant, il est vrai que l'EVIP ne mesure que le niveau lexical réceptif et non le niveau langagier global. Il aurait été préférable d'avoir un score qui prenne en compte le niveau de compréhension morphosyntaxique notamment grâce à l'ELO pour les enfants de la petite section de maternelle au CM2, et au TCS pour les enfants de la 6^{ème} à la 3^{ème} par exemple. Cependant, rajouter des épreuves augmenterait le temps de passation du protocole et renforcerait l'écueil présenté précédemment.

Enfin, notre population d'enfants sourds est trop limitée pour que nos résultats puissent être généralisables à l'ensemble de la population sourde. Cependant, la majorité des études de la littérature sur cette population a été réalisée sur de faibles échantillons également (Zarfaty et al., 2004 ; Arfé et al., 2011 ; Brisset et al., 2017 par exemple). De plus, la population sourde étant extrêmement hétérogène par les différents types et degrés de surdité, les différents appareillages, les différents modes de communication et de scolarisation, il aurait été intéressant d'avoir un grand échantillon pour avoir plusieurs enfants de chaque degré de surdité, appareillage etc. pour pouvoir faire des études comparatives. Ici, nous nous sommes intéressées aux enfants sourds oralisants. Nous avons donc différents degrés de surdité, différents appareillages et différents types de scolarisation au sein de notre échantillon. Ces caractéristiques rentrent forcément en compte à différents niveaux dans les compétences numériques de ces enfants. Ainsi, nous ne pouvons pas extrapoler l'ensemble de nos résultats à l'ensemble de la population sourde. Cependant, nos résultats restent intéressants pour compléter et appuyer les données de la littérature sur les compétences numériques approximatives et exactes des enfants sourds oralisants.

7. Ouvertures et perspectives

Dans notre étude, nous nous sommes intéressées uniquement aux enfants sourds oralisants, dans un souci d'homogénéité de nos analyses.

Cependant, il serait intéressant de reproduire cette étude auprès d'un échantillon représentatif d'enfants sourds signants. Les langues orales et signées étant structurellement différentes et les enfants signants n'ayant pas de « retard de langage » à proprement parler, nous pouvons nous demander quels seraient leurs résultats lors de la passation de ce protocole.

De plus, les enfants sourds signants sont souvent issus de parents sourds également, qui peuvent, suivant leur mode de communication, leur apprendre la langue des signes dès le plus jeune âge. Les interactions entre les parents et les enfants sont donc facilitées par cette langue commune, dès le plus jeune âge de l'enfant. Leybaert et Van Cusem, (2002) ont d'ailleurs fait l'hypothèse qu'un parent sourd ayant un enfant sourd s'adapte mieux à celui-ci qu'un parent entendant, lors de la mise en place d'apprentissages numériques. Cependant, leur échantillon étant réduit, aucune conclusion ferme n'a pu être formulée. La langue des signes possède également une phonologie avec des caractéristiques visuelles et gestuelles de la forme de la main, de l'orientation de la main, de l'espace et du mouvement (Boutla, Supalla, Newport, et Bavelier, 2004). Les enfants signants ont donc également une boucle phonologique, mais manuelle et de rétention plus courte comme nous l'avons vu dans l'étude de Denys et Charlier, (2006). Nous pouvons nous demander si ceci entraînerait un temps de réponse aux tâches d'estimation encore plus lent que pour les sourds oralisants. Les enfants sourds signants utilisent une autre langue, structurellement différente, dès le plus jeune âge le plus souvent. Ils n'ont donc pas de retard de « langage ». Ils apprennent la chaîne numérique avec une structure différente, mais l'apprennent de la même manière qu'un enfant entendant en langue orale. Nous pouvons nous demander alors si les compétences numériques exactes ne seraient pas meilleures chez des enfants sourds signants par rapport à ceux de notre échantillon.

Conclusion

Nous avons examiné, dans cette étude, les compétences numériques approximatives et exactes des enfants sourds oralisants pour compléter la recherche francophone dans ce domaine.

D'après la littérature, les enfants sourds ont la même représentation de la magnitude mais auraient un déficit d'accès à ces représentations à partir de code symbolique. D'autre part, leurs compétences numériques exactes sont moins performantes que les enfants entendants de même âge.

Nous avons alors émis des hypothèses confirmant les données de la littérature, tout en comparant les performances aux épreuves spatiales et temporelles et en vérifiant la sensibilité aux variables perceptives. Enfin nous avons vérifié l'effet du type de scolarité sur les compétences numériques. Nous avons retrouvé les données de la littérature : les enfants sourds ont la même représentation de la magnitude que les enfants entendants de même âge, mais ont une lenteur d'accès à cette magnitude à partir de codes symboliques et non-symboliques. Nous avons donc émis l'hypothèse d'un recodage verbal interne moins performant chez les enfants sourds. L'effet de la scolarité n'a cependant pas été retrouvé dans notre étude, mais ces résultats restent à prendre avec précaution car nos échantillons n'étaient pas correctement appariés et contenaient peu de participants.

Nous avons également constaté que les enfants sourds sont meilleurs face à une tâche spatiale que séquentielle. Nous devons donc prendre en compte ces différentes informations pour notre pratique professionnelle et éviter de présenter un support uniquement verbal aux enfants sourds oralisants. L'appui visuel est primordial à associer au langage pour ces enfants. Il est donc conseillé de multiplier les appuis pour rendre l'enseignement des compétences numériques explicites (Nunes et Moreno, 2002). Il est également nécessaire d'explicitier des choses que l'on transmet implicitement aux enfants entendants, car comme nous l'avons vu dans la partie théorique, les enfants sourds sont moins exposés aux informations de leur environnement. Il sera donc efficace pour eux d'explicitier des associations et des liens entre certains phénomènes, pour leur permettre d'accéder à tous les concepts utiles au développement de leurs capacités numériques, mais aussi pour l'appréhension de la vie en général.

Bibliographie

- Arfé, B., Lucangeli, D., Genovese, E., Monzani, D., Gubernale, M., Trevisi, P., & Santarelli, R. (2011). Analogic and Symbolic Comparison of Numerosity in Preschool Children with Cochlear Implants. *Deafness & Education International*, 13(1), 34-45.
- Arnold, P., & Mills, M. (2001). Memory for Faces, shoes, and objects by deaf and hearing signers and hearing nonsigners. *Journal of Psycholinguistic Research*, p. 185-195.
- Booth, J. L., & Siegler, R. S. (2006). Developmental and Individual Differences in Pure Numerical Estimation. *Developmental psychology*, 41(6), 189-201.
- Bourles, F., & Laussel, E. (2016). *La représentation du nombre chez les enfants dysphasiques*. Université Lille 2 Droit et Santé.
- Boutla, M., Supalla, T., Newport, E. L., & Bavelier, D. (2004). Short-term memory span : insights from sign language. *Nature Neuroscience*, 7(9), 997-1002.
- Brisset, M., Mussolin, C., & Leybaert, J. (2017). Traitements numériques, capacités visuo-spatiales et gnosies digitales chez les enfants sourds et entendants : impact du type d'intervention. *Rééducation orthophonique*, (270), 51-80.
- Bull, R. (2008). Deafness, Numerical Cognition, and mathematics. In *Deaf Cognition : Foundations and Outcomes* (p. 170-200).
- Bull, R., Marschak, M., & Blatto-Vallee, G. (2005). SNARC hunting : Examining number representation in deaf students. *Science direct*, (15), 223-236.
- Camos, V., Fayol, M., Lacert, P., Bardi, A., & Laquière, C. (1998). Le dénombrement chez des enfants dysphasiques et des enfants dyspraxiques. *A.N.A.E.*, (48), 86-91.
- Cohen, M. J. (2001). Echelle clinique de mémoire pour enfants. Editions du Centre de Psychologie Appliquée.
- De Vos, T. (1992). Tempo Test Rekenen. Berkhout Nijmegen.
- Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 44, 1-42.
- Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P., & Cohen, L. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cognitive neuropsychology*, 20(3/4/5/6), 487-506.
- Denys, M., & Charlier, B. (2006). L'évaluation des compétences linguistiques des enfants atteints de surdité profonde. In *Compétences cognitives, linguistiques et sociales de l'enfant sourd* (Mardaga, p. 98-126).
- Donlan, C., & Gourlay, S. (1999). The importance of non-verbal skills in the acquisition of place value knowledge : Evidence from normally-developing and language-impaired children. *British Journal of Developmental Psychology*, p. 119.
- Dunn, L. M., Thierault-Whalen, C. M., & Dunn, L. M. (1993). EVIP : Test de vocabulaire en images - peabody. Psycan, Toronto.
- Fayol, M., & Camos, V. (2006). Langage et mathématiques. In *La cognition mathématique chez l'enfant* (Solal, p. 117-144). Barouillet P., Camos V.

- Gelman, R., & Butterworth, B. (2005). Number and language : how are they related? *Cognitive Science*, 9(1), 6-10.
- Genovese, E., Galizia, R., Gubernale, M., Arslan, E., & Lucangeli, D. (2005). Mathematical vs. Reading and writing disabilities in deaf children : a pilot study on the development of numerical knowledge. *Cognition and Learning in Diverse Settings*, 18, 33-46.
- Gérardy, A. (2016). *La représentation du nombre chez l'enfant porteur de trouble spécifique du langage : étude comportementale*. Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation, Université catholique de Louvain.
- Hage, C., Charlier, B., & Leybaert, J. (2006). *Compétences cognitives, linguistiques et sociales de l'enfant sourd* (Mardaga).
- Halberda, J., Mazocco, M. M. M., & Feigenson, L. (2008). Individual differences in non verbal number acuity correlate with maths achievement. *Nature*, 455, 665-668.
- Hitch, G. J., Arnold, P., & Phillips, L. J. (1983). Counting process in deaf childrens' arithmetic. *British Journal of Psychology*, p. 429-437.
- Houdé, O., & Leroux, G. (2009). *Psychologie du développement cognitif* (Presses Universitaires de France).
- Kritzer, K. L. (2008). Family Mediation of Mathematically Based Concepts While Engaged in a Problem-Solving Activity With Their Young Deaf Children. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 503-517.
- Kritzer, K. L. (2009). Barely started and already left behind : A descriptive analysis of the mathematics ability demonstrated by young deaf children. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 14(4), 409-421.
- Lauwerier, L., de Chouly de Lenclave, M.-B., & Bailly, D. (2003). Déficience auditive et développement cognitif. *Archives de pédiatrie*, (10), 140-146.
- Legoff, A. (2016). *Représentations numériques chez l'enfant déficient auditif*. Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation, Université catholique de Louvain.
- Lentz, V. (2017). *La représentation du nombre chez l'enfant sourd*. Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation, Université catholique de Louvain.
- Leybaert, J., & Van Custem, M.-N. (2002). Counting in sign language. *Journal of Experimental Child Psychology*, p. 482-501.
- Marschak, M., Morrison, C., Lukomski, J., Borgna, G., & Convertino, C. (2013). Are Deaf Students Visual Learners ? *Learning and individual differences*, (25), 156-162.
- Masataka, N. (2006). Differences in Arithmetic Subtraction of Nonsymbolic Numerosities by Deaf and Hearing Adults. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, p. 139-143.
- Mejias, S., Mussolin, C., Rousselle, L., Grégoire, J., & Noël, M.-P. (2012). Numerical and non-numerical estimation in children with and without mathematical learning disabilities. *Child Neuropsychology*, 18(6), 550-575.
- Nunes, T., & Moreno, C. (2002). An intervention program for promoting deaf pupils' achievement in mathematics. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 7(2), 120-133.

- Nys, J., Content, A., & Leybaert, J. (2013). Impact of Language Abilities on Exact and Approximate Number Skills Development: Evidence From Children With Specific Language Impairment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, p. 956-970.
- Rettenbach, R., Diller, G., & Sireteanu, R. (1999). Do Deaf People See Better? Texture Segmentation and Visual Search Compensate in Adult but Not in Juvenile Subjects. *Journal of Cognitive Neuroscience*, p. 560-583.
- Rodriguez-Santos, J. M., Calleja, M., Garcia Orza, J., Iza, M., & Damas, J. (2014). Quantity Processing in Deaf and Hard of Hearing Children: Evidence From Symbolic and Nonsymbolic Comparison Tasks. *American annals of the deaf*, 159(1).
- Rousselle, L., & Noël, M.-P. (2007). Basic numerical skills in children with mathematics learning disabilities: A comparison of symbolic vs non-symbolic number magnitude processing. *Cognition*, (102), 361-395.
- Roux, M.-O. (2014). Surdité et difficultés d'apprentissage en mathématiques, état des lieux et probl matiques actuelles. *Bulletin de psychologie*, 67(532), 295-307.
- Sweeney, M. (1998). Short-term memory process and reading by deaf children. *ACFOS, Surdité et accès à la langue  crite*, 181-188.
- Todman, J., & Cowdy, N. (1993). Processing of Visual-Action Codes by Deaf and Hearing Children: Coding Orientation or M-Capacity?, *Intelligence*, (17), 237-250.
- Todman, J., & Seedhouse, E. (1994). Visual-action Code Processing by deaf and hearing Children. *Language and cognitive processes*, 9(2), 129-141.
- Van Nieuwenhoven, C., Grégoire, J., & Néel, M.-P. (2001). TEDI-MATH, Test Diagnostique des Apprentissages de base en Mathématiques. Editions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Wechsler, D. (2003). Wechsler intelligence scale for children (4th ed). TX: Psychological Corporation.
- Wood, D., Wood, H., & Howarth, P. (1983). Mathematical abilities of deaf school-leavers. *British Journal of Developmental Psychology*, 1(1), 67-73.
- Wynn, K. (1992). Addition and Subtraction by Human Infants. *Nature*, 358(6389), 749-750.
- Zarfaty, Y., Nunes, T., & Bryant, P. (2004). The Performance of Young Deaf Children in Spatial and Temporal Number Tasks. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 9(3), 315-326. <https://doi.org/10.1093/deafed/enh034>