



# MEMOIRE

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

**Marie THIBAUDAT**

soutenu publiquement en juin 2018 :

## **Compétences numériques chez les enfants et adolescents sourds scolarisés en intégration dans l'enseignement ordinaire**

MEMOIRE dirigé par :

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

Mémoire réalisé dans le cadre du Parcours Recherche

Lille – 2018

---

## Remerciements

J'adresse un grand merci à Mme Mejias, directrice de ce mémoire, pour sa disponibilité, sa bienveillance, et sa capacité à stimuler l'intérêt et l'enthousiasme pour la recherche clinique. Merci également à Mme Bragard, lectrice de ce mémoire, pour ses conseils avisés m'ayant permis de développer ma réflexion autour de ce travail. Merci enfin à Léa, Manon et Myriam, avec lesquelles ce fut un plaisir de mener à bien ce projet.

Je remercie chaleureusement tous les enfants et adolescents qui ont généreusement accepté de participer à cette étude. Merci également à leurs parents pour avoir permis la réalisation de ce projet. Merci enfin aux orthophonistes et structures sollicités pour leur précieuse collaboration.

Je remercie également mes maîtres de stages et plus largement toutes les équipes rencontrées au cours de ces cinq années d'études. Leur bienveillance à mon égard et la riche expérience qu'ils ont accepté de me transmettre ont contribué à forger la professionnelle que je serai demain.

Enfin, je remercie mes proches, famille et amis, et plus particulièrement Yves, Cécile et Manu, sans qui cette dernière année d'études n'aurait pu se dérouler dans d'aussi bonnes conditions.

---

## **Résumé :**

Plusieurs études concordantes ont pu mettre en évidence un décalage de performances entre les personnes sourdes et les personnes entendantes dans le domaine des mathématiques. D'une part, les mathématiques font intervenir un vaste ensemble de compétences très diverses. D'autre part, la population sourde elle-même est très hétérogène. Étudier les difficultés que peut présenter cette population en mathématiques exige donc de poser un cadre théorique précis et d'adopter une méthodologie rigoureuse. Cette recherche est axée sur la capacité des jeunes sourds scolarisés en intégration en milieu ordinaire à tirer bénéfice des enseignements formels reçus en mathématiques. Deux groupes d'enfants et d'adolescents, sourds et entendants, scolarisés du CP à la 3<sup>e</sup> sont comparés sur base de leurs performances à différentes tâches d'estimation faisant intervenir du matériel numérique symbolique et non symbolique, ainsi qu'à des épreuves de mathématiques formelles. Les jeunes sourds s'avèrent être aussi performants dans la plupart des épreuves que leurs pairs entendants. Ces premiers résultats sont encourageants. Ils semblent montrer que les jeunes sourds disposeraient des mêmes ressources numériques innées que les jeunes entendants. Ils tendent surtout à prouver qu'ils tirent autant bénéfice qu'eux des enseignements transmis dans leur environnement scolaire.

## **Mots-clés :**

Surdité, Environnement scolaire, Compétences numériques, Estimation

## **Abstract :**

Several consistent studies have highlighted a gap between deaf and hearing children's performance in the field of mathematics. On one hand, mathematics involve a wide range of skills. On the other hand, the deaf population itself is very heterogeneous. Hence, studying difficulties that this population may present in mathematics requires a precise theoretical framework and a rigorous methodology. This research focuses on the deaf young people's capacity, when they are integrated in mainstream school, to benefit from formal mathematics' teaching. Two groups with children and teenagers, deaf and hearing, from first year of primary school to year 10, are made. They're compared on the basis of their performance in different estimation tasks using symbolic and non-symbolic numerical material, and in formal mathematics' tests. Deaf children perform as well as their hearing peers in most of the tests. These first results are encouraging. They seem to show that young deaf people would have the same innate numerical resources as young hearing people. Above all, they tend to prove that they benefit as much as them from their school environment's teaching.

## **Keywords :**

Deafness, School environment, Numerical skills, Estimation

---

# Table des matières

<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>Contexte théorique, buts et hypothèses.....</b>	<b>2</b>
1.La « sensibilité à la numérosité » chez les personnes sourdes.....	2
2.L'accès à la numérosité à partir des codes symboliques chez les personnes sourdes.....	4
3.Les compétences numériques dépendantes d'un apprentissage chez les personnes sourdes.....	5
3.1.L'acquisition des codes symboliques chez les enfants sourds.....	5
3.2.L'impact de l'environnement scolaire sur les performances en mathématiques chez les personnes sourdes.....	6
4.Buts et hypothèses.....	7
<b>Méthode.....</b>	<b>9</b>
1.Participants.....	9
2.Procédure.....	10
3.Tâches et matériel.....	10
3.1.Pré-test cognitif et langagier.....	10
3.2.Épreuves de mathématiques formelles.....	11
3.3.Épreuve d'estimation.....	11
<b>Résultats.....</b>	<b>14</b>
1.Mémoire visuo-spatiale, mémoire auditivo-verbale, gnosies digitales.....	14
2.Vérification des hypothèses de départ.....	14
2.1.Précision de l'estimation non symbolique chez les enfants sourds en début de scolarité.....	15
2.2.Évolution de la précision de l'estimation chez les jeunes entendants.....	15
3.Questionnaire à visée exploratoire.....	16
3.1.Comparaison des compétences en estimation entre les groupes .....	16
3.2.Comparaison des compétences en mathématiques formelles pour les groupes ES et EE.....	17
<b>Discussion.....</b>	<b>18</b>
1.Analyse des résultats.....	18
1.1.Mémoire visuo-spatiale, mémoire auditivo-verbale et gnosies digitales.....	18
1.2.Vérification des hypothèses de départ.....	19
1.2.1.Précision de l'estimation non symbolique chez les enfants sourds en début de scolarité.....	19
1.2.2.Évolution de la précision de l'estimation chez les jeunes entendants.....	20
1.3.Questionnaire à visée exploratoire.....	21
1.3.1.Comparaison des performances en estimation entre les groupes ES et EE.....	21
1.3.2.Comparaison des compétences en mathématiques formelles pour les groupes ES et EE.....	22
1.4.Synthèse des résultats.....	23
2.Limites méthodologiques.....	23
3.Perspectives.....	23
3.1.Implications cliniques.....	24
3.2.Pistes de futures recherches.....	24
<b>Conclusion.....</b>	<b>26</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>27</b>
<b>Liste des annexes.....</b>	<b>31</b>
Annexe n°1 : Courrier à destination des parents.....	31
Annexe n°2 : Courrier type à destination des orthophonistes et des structures.....	31
Annexe n°3 : Tableau récapitulatif des données en lien avec la surdité.....	31

# Introduction

Nombreuses sont les études qui mettent en avant un décalage significatif de performances en mathématiques entre les personnes sourdes et entendantes (pour une revue voir Gottardis, Nunes, & Lunt, 2011). Ce décalage semble apparaître dès le plus jeune âge, et se maintenir tout au long de la scolarité. Une étude menée chez des enfants sourds âgés de 4 à 6 ans montrait que 60% d'entre eux avaient déjà un retard d'au moins sept mois en mathématiques, ceci avant même d'avoir débuté une scolarité formelle (Kritzer, 2009). Chez des collégiens, une étude menée à grande échelle en Angleterre et au Pays de Galles a mis en évidence un retard d'environ trois ans en mathématiques chez les jeunes sourds par rapport à leurs pairs entendants (Wood, Wood, Kingsmill, French, & Howarth, 1984).

Les mathématiques constituent une forme de langage, dont la maîtrise est un facteur important d'intégration dans notre société. Dès l'école primaire, elles endossent un double statut de « discipline phare » et « d'outils de sélection » (Fayol, 2013). Par la suite, elles s'imposent aussi bien dans l'autonomie au quotidien (gestion de l'argent, du temps, etc.) que dans le monde du travail (Geary, 2011). L'un des objectifs de l'accompagnement des personnes sourdes étant de permettre leur intégration et leur épanouissement dans une société majoritairement entendant, les difficultés qu'elles semblent présenter en mathématiques ne peuvent pas être négligées. À la fin de sa revue de littérature sur les difficultés en mathématiques chez les jeunes sourds, Roux (2014) affirme : « Dans l'état actuel des choses, l'ampleur des difficultés observées dessine un tableau inquiétant et constitue un défi pour les chercheurs comme pour les praticiens. » (p. 305).

L'objectif de ce mémoire est d'apporter des éléments de compréhension quant aux compétences numériques chez les jeunes sourds scolarisés en intégration. Plus précisément, nous souhaitons vérifier si les jeunes sourds scolarisés en intégration individuelle dans le milieu ordinaire parviennent à tirer autant bénéfice des apprentissages formels reçus en mathématiques que leurs pairs entendants. Pour cela, nous comparerons les résultats de jeunes sourds scolarisés du CP à la 3<sup>e</sup> en intégration individuelle dans le milieu ordinaire à ceux de jeunes entendants de même niveau scolaire à différentes épreuves numériques. Ces épreuves feront intervenir des tâches variées telles que l'estimation de grandes quantités symboliques et non symboliques, mais aussi des tâches de mathématiques plus scolaires.

Dans une première partie, un état des lieux des connaissances sur les compétences numériques des personnes sourdes est proposé. Puis, nous présentons l'objectif de ce travail et la méthodologie employée pour le mener à bien. Les résultats obtenus sont ensuite exposés, et nous terminons par une discussion dans laquelle ces résultats sont analysés, les limites de l'étude soulignées et les perspectives ouvertes par ce projet mises en avant.

# Contexte théorique, buts et hypothèses

Dans cette partie, sont exposées les données actuelles en lien avec la « sensibilité à la numérosité » chez les personnes sourdes. Suite à cela, est étudiée la qualité de l'accès à la représentation de la quantité à partir des codes symboliques, toujours chez les personnes sourdes. Le lien entre l'acquisition de certaines compétences numériques et la scolarité chez les personnes sourdes est ensuite évoqué. Pour finir, les questions soulevées par ce travail sont mises en évidence.

## 1. La « sensibilité à la numérosité » chez les personnes sourdes

Nos compétences numériques s'appuient en partie sur des facultés innées, pouvant être désignées par les termes « sens du nombre » ou encore « sensibilité à la numérosité » (Dehaene, 2010). Cette sensibilité à la numérosité nous permettrait d'accéder de façon exacte à la représentation de petites quantités (inférieures à quatre) et de façon approximative à la représentation de grandes quantités (supérieures à quatre). En ce qui concerne la représentation exacte des petites numérosités, les enfants sourds semblent présenter des compétences précoces relativement similaires à celles des enfants entendants (Zarfaty, Nunes, & Bryant, 2004). Dans cette partie, nous nous intéresserons de façon plus approfondie à la représentation des grandes quantités, que nous désignerons sous le terme de « système numérique approximatif » (SNA) (Dehaene, 2010). La précision du SNA peut être évaluée par des tâches de comparaison ou d'estimation de quantités non symboliques, c'est-à-dire n'employant ni le code verbal, ni le code arabe, mais un code analogique. Chez les individus tout-venant, elle semble être très variable d'une personne à l'autre, et hautement corrélée aux performances en mathématiques (Halberda, Mazocco, & Feigenson, 2008a ; Siegler & Booth, 2004). Sachant cela, et compte-tenu des difficultés en mathématiques constatées de façon récurrente chez les jeunes sourds (Gottardis et al., 2011 ; Roux, 2014), la question de la précision du SNA chez les personnes sourdes mérite d'être explorée. De rares études s'y sont intéressées, nous les présentons ci-après.

Une épreuve de comparaison de collections a été proposée à des enfants sourds et entendants âgés de 9 à 10 ans en moyenne (Bull, Marshark, Davidson, Murphy, Nordmann, Remelt, & Sapere, 2010). Les enfants sourds se sont montrés significativement moins précis que les enfants entendants. Chez les enfants sourds, comme chez les enfants entendants, les performances à la tâche de comparaison de quantités non symboliques étaient corrélées à la réussite à des épreuves de mathématiques formelles. Ces résultats sont interprétés par les auteurs comme un manque de précision du SNA en lien avec les difficultés en mathématiques chez les enfants sourds.

Le SNA a également été testé chez des adultes sourds signants, avec des résultats différents cette fois (Masataka, 2006). Dans cette étude, les adultes sourds se montraient aussi performants à une tâche de comparaison de collections de points que les entendants. Ajoutons qu'ils étaient même meilleurs que les entendants lorsqu'il s'agissait d'estimer le résultat d'une soustraction entre deux quantités de points. En revanche, lors d'une épreuve classique de soustractions symboliques faisant intervenir le code arabe, les adultes sourds étaient moins

performants que les entendants. Dans cette étude, les auteurs ne retrouvent pas de corrélation entre l'épreuve de mathématiques formelles et l'épreuve de soustraction non symbolique, ni chez les sourds ni chez les entendants. Ces résultats, contrairement à ce qui a été observé chez l'enfant sourd (Bull et al., 2010), ne permettent pas de mettre en évidence un manque de précision du SNA chez les adultes sourds. Les adultes sourds posséderaient les mêmes capacités d'estimation innées que les entendants, et ne seraient en difficulté que pour les tâches de mathématiques formelles liées à un apprentissage.

Il est difficile de tirer des conclusions face à cette différence de résultats. En effet, dans les deux études, des tâches de comparaison de points ont été employées pour tester la précision du SNA. Or, il semblerait que les performances à ce type de tâches soient fortement dépendantes de la façon dont elles sont construites (contrôle des indices visuels), ce qui rend difficile la comparaison entre les études (Smets, Sasanguie, Szűcs, & Reynvoet, 2015). Il serait intéressant d'utiliser une tâche d'estimation, moins sensible aux variables perceptives, pour récolter de nouvelles données sur la précision du SNA chez les personnes sourdes.

Un autre élément rendant difficile la comparaison entre les résultats des deux études est la différence de populations. En effet, les deux populations étudiées se distinguent certes par leur âge, mais aussi probablement par d'autres caractéristiques auxquelles nous n'avons pas accès. Si nous savons que les adultes sourds étaient tous signants et issus de l'enseignement spécialisé, nous ignorons en revanche le mode de communication et le type de scolarité des enfants sourds évalués. Or, même si la sensibilité à la numérosité est une compétence innée présente dès la naissance, elle n'est pas pour autant figée dans le temps et insensible aux effets de l'environnement. On peut notamment penser que le SNA se précise au contact de l'apprentissage des mathématiques formelles, auquel cas l'environnement scolaire pourrait avoir un impact sur les performances observées. En effet, il a été montré que, chez les personnes entendantes, le SNA se précisait jusqu'à l'adolescence, soit un âge étonnamment avancé (Halberda & Feigenson, 2008b). Les auteurs émettent l'hypothèse que c'est au contact de l'apprentissage des mathématiques formelles que cette évolution se produit. Toujours chez les entendants, Nys, Ventura, Fernandes, Querido, Leybaert et Content (2013) se sont intéressés aux compétences numériques chez des adultes n'ayant pas suivi de scolarité. Les adultes non scolarisés se sont montrés moins performants que les adultes scolarisés, même dans les tâches de comparaison de grands nombres ne faisant intervenir que du matériel non symbolique. Pour les auteurs, ce résultat atteste de l'impact d'un enseignement scolaire formel sur l'évolution du SNA.

En s'appuyant sur ces résultats, et compte-tenu de l'absence de données sur la trajectoire développementale du SNA chez les personnes sourdes, plusieurs questions se posent. On peut se demander d'une part si l'enseignement spécialisé offre suffisamment d'opportunités aux jeunes sourds pour développer les compétences en mathématiques formelles qui permettraient de préciser le SNA. Cette question est notamment soulevée par Brisset, Mussolin et Leybaert, (2017) dans leur publication sur l'impact de l'environnement scolaire sur les performances en mathématiques chez les jeunes sourds. D'autre part, on peut se demander si les jeunes sourds intégrés dans le milieu scolaire ordinaire parviennent, malgré leurs difficultés auditives et langagières, à tirer autant bénéfice de l'enseignement reçu que leurs pairs entendants.

## **2. L'accès à la numérosité à partir des codes symboliques chez les personnes sourdes**

Pour certains auteurs, chez les entendants, plutôt que la précision du SNA elle-même, ce serait la facilité d'accès à la représentation de la numérosité à partir des codes symboliques qui serait touchée dans le cas de difficultés en mathématiques. Cette hypothèse a été avancée pour la première fois par Rubinsten et Henik (2005) et reprise par Rousselle et Noël (2007), toujours chez les entendants. On se dirige aujourd'hui vers l'hypothèse selon laquelle la précision du SNA, ainsi que l'accès à la représentation de la numérosité à partir des codes symboliques, seraient tout les deux déficitaires chez les enfants entendants présentant un trouble spécifique d'acquisition des mathématiques (Mejias, Mussolin, Rousselle, Grégoire, & Noël, 2012). Plusieurs études se sont déjà intéressées à la question de l'accès à la représentation du nombre d'après les codes symboliques chez les personnes sourdes, nous les recensons par la suite.

Une tâche classique consiste à positionner un nombre arabe sur un segment dont les extrémités vont de 0 à 100 (Siegler & Booth, 2004). Dans cette tâche, les participants passent du code symbolique arabe à un système de représentation analogique. Elle a été proposée à des enfants sourds et entendants de 9 à 10 ans en moyenne (Bull et al., 2010). Nous ignorons le type de scolarité suivie par les enfants sourds. Lors de la tâche, les enfants sourds se sont montrés significativement moins précis que les enfants entendants. Des résultats similaires ont été obtenus chez des étudiants sourds signants dont nous ignorons également le parcours scolaire antérieur (Bull, Marschark, Sapere, Davidson, Murphy, & Nordmann, 2011). Chez l'enfant comme chez l'adulte sourd, il existe une corrélation entre cette tâche et la réussite à des épreuves de mathématiques formelles (Bull et al., 2010, 2011). En se fiant à ces données, il semblerait que les personnes sourdes présentent un déficit d'accès à la numérosité d'après les codes symboliques, en lien avec de faibles performances en mathématiques.

Une autre tâche permettant d'évaluer l'accès à la numérosité d'après un code symbolique est la comparaison de nombres arabes. Une tâche de ce type a été administrée à des enfants sourds implantés scolarisés en maternelle ordinaire, ainsi qu'à des enfants entendants de même niveau scolaire, sans qu'une différence de performance entre les groupes ne transparaisse (Arfe, Lucangeli, Genovese, Monzani, Gubernale, Trevisi, & Santarelli, 2011). Pourtant, la même tâche avait déjà été proposée à des enfants sourds de maternelle, et ils s'étaient alors montrés moins performants que des enfants entendants de même niveau scolaire (Genovese, Galizia, Gubernale, Arslan, & Lucangeli, 2005). Chez des enfants plus âgés (8 à 10 ans), et toujours à une tâche de comparaison de nombres arabes, des enfants sourds se sont montrés aussi précis mais plus lents que des sujets tout-venant pour déterminer quel chiffre était le plus grand (Rodríguez-Santos, Calleja, García-Orza, Iza, & Damas, 2014). Des résultats similaires avaient été trouvés chez des étudiants sourds signants âgés de 18 à 28 ans. Lors d'une épreuve de comparaison de nombres arabes, ils donnaient les mêmes réponses que les sujets entendants mais étaient plus lents (Bull, Marschark, & Blatto-Vallee, 2005).

L'ensemble de ces résultats apporte des conclusions mitigées. En effet, dans certains cas, les participants sourds sont moins précis (Bull et al., 2010, 2011 ; Genovese et al., 2005), dans d'autres cas, ils sont seulement plus lents (Bull et al., 2005 ; Rodríguez-Santos et al.,

2014) et dans un dernier cas, ils sont aussi performants que les contrôles entendants (Arfe et al., 2011). Cette variabilité peut être attribuée à l'hétérogénéité des populations entre les études. En effet, une fois de plus, certaines variables telles que le type de scolarité suivie ne sont pas renseignées de façon systématique. Or dans toutes les études, les tâches proposées impliquent le code arabe dont la maîtrise est sous-tendue par les apprentissages scolaires.

### **3. Les compétences numériques dépendantes d'un apprentissage chez les personnes sourdes**

Dans nos sociétés, des connaissances acquises viennent se greffer aux compétences innées de représentation du nombre. Nous utilisons des codes symboliques qui nous permettent d'avoir accès de façon précise aux quantités sans avoir à passer par la manipulation concrète. Ce sont le code arabe et le code verbal. Leur apprentissage est largement soutenu par l'école. Nous allons voir par la suite ce qu'il en est de l'acquisition de ces codes chez les personnes sourdes.

#### **3.1. L'acquisition des codes symboliques chez les enfants sourds**

En ce qui concerne le code arabe, chez des enfants sourds américains de maternelle, un taux de plus de 75% de réussite en lecture de chiffres a été observé. Cependant, moins de 25% de ces enfants se sont montrés capables de lire des nombres à trois chiffres et d'en écrire à un ou deux chiffres (Kritzer, 2009). Les enfants évalués étaient scolarisés dans une école spécialisée pour les enfants sourds, et il n'est pas précisé si ces résultats diffèrent ou non de ce qui serait attendu chez des enfants entendants de même âge. Dans une autre étude, des enfants sourds italiens de maternelle se sont avérés être aussi performants à une tâche de lecture de chiffres de 1 à 9, et même plus performants à une tâche d'écriture sous dictée de ces mêmes chiffres, que des enfants entendants de même niveau scolaire (Genovese et al., 2005). Le type de scolarité suivie par les enfants sourds de cette étude n'est pas renseigné. D'après le peu de données à disposition, il semblerait que les jeunes enfants sourds acquièrent le code arabe avec autant de facilité que leurs pairs entendants. Il serait néanmoins intéressant de recueillir davantage de données en tenant compte de l'environnement scolaire de façon systématique. Des données chez des participants plus âgés permettraient notamment de vérifier si ces bonnes performances se maintiennent dans le temps et pour des nombres à plusieurs chiffres.

En ce qui concerne le code verbal, plusieurs publications soulignent un retard dans l'acquisition de la chaîne numérique chez les enfants sourds par rapport aux enfants entendants. Une étude rapporte que des enfants entendants de langue anglaise pouvaient compter jusqu'à 60 dès la première année d'école primaire, alors que cette compétence n'était acquise qu'après deux à trois ans d'école primaire chez des enfants sourds (Nunes et Moreno 1998, cités par Leybaert, 2006). Le type de scolarité suivie par les enfants sourds de cette étude n'est pas disponible. Une autre étude, menée cette fois chez des enfants sourds moyens à profonds scolarisés en maternelle spécialisée et pratiquant la langue des signes française belge (LSFB), a mis en évidence un retard d'acquisition de deux ans dans la chaîne numérique par rapport à des enfants entendants de même niveau scolaire (Leybaert & Van Cutsem, 2002). Enfin, des résultats similaires ont été retrouvés chez des enfants sourds scolarisés en primaire

spécialisée (Brisset et al., 2017). Dans cette étude, les enfants sourds maîtrisaient une chaîne numérique verbale (orale ou signée selon les enfants) moins longue que les enfants entendants de même niveau scolaire auxquels ils étaient comparés.

A l'inverse, certaines études ne révèlent pas de différence au niveau de la longueur de la chaîne numérique verbale entre les enfants sourds et les enfants entendants. De tels résultats ont été mis en évidence à l'oral chez deux groupes d'enfants italiens sourds scolarisés en maternelle (en milieu ordinaire pour le premier, élément non renseigné pour le second) (Arfe et al., 2011 ; Genovese et al., 2005). De plus, si Brisset et ses collaborateurs (2017) ont mis en évidence une différence dans la maîtrise de la chaîne numérique verbale entre des enfants entendants et des enfants sourds scolarisés en milieu spécialisé, ils ne retrouvent pas cette différence pour les enfants sourds scolarisés en milieu ordinaire.

Ainsi, cette différence de résultats entre les études ne semble pas tant être liée à des facteurs linguistiques que scolaires. En effet le décalage entre enfants sourds et entendants a pu être mis en évidence aussi bien en langue orale (Brisset et al., 2017 ; Leybart, 2006), qu'en langue signée (Brisset et al., 2017 ; Leybaert & Van Cutsem, 2002), essentiellement chez des enfants sourds fréquentant l'enseignement spécialisé (Brisset et al., 2017 ; Leybaert & Van Cutsem, 2002). A l'inverse, l'absence de différence dans la longueur de la chaîne numérique entre enfants sourds et entendants a surtout été mise en évidence pour des enfants sourds scolarisés dans l'enseignement ordinaire (Arfe et al., 2011 ; Brisset et al., 2017).

### **3.2. L'impact de l'environnement scolaire sur les performances en mathématiques chez les personnes sourdes**

A travers l'exemple de l'acquisition de la chaîne numérique, nous avons vu qu'il convient de rester vigilant dans l'interprétation des résultats des études. En effet, la population sourde se caractérise par sa grande hétérogénéité, notamment en ce qui concerne les facteurs linguistiques et scolaires. De façon générale, en France, on peut distinguer deux principaux types de parcours scolaires dans le cadre de la surdité : la scolarité en milieu spécialisé d'une part, et la scolarité en intégration individuelle dans le milieu ordinaire d'autre part. Notons qu'il s'agit d'une présentation schématique et qu'il existe de nombreuses alternatives intermédiaires (intégration collective ou milieu spécialisé avec intégration partielle dans certaines matières par exemple). Dans beaucoup d'études, l'environnement scolaire n'est pas renseigné. Il est pourtant légitime de penser que des différences dans l'enseignement reçu auront un impact sur les acquisitions dans le domaine numérique.

L'idée que le type de scolarité pourrait avoir un impact sur les performances en mathématiques chez les enfants sourds a été avancée dans la littérature dès 1984 (Wood et al.). Dans cette étude, les performances en mathématiques d'adolescents avaient été évaluées. Trois groupes étaient comparés : des élèves entendants, des élèves sourds en intégration dans le milieu ordinaire et des élèves sourds scolarisés en milieu spécialisé. Les élèves sourds en intégration individuelle étaient significativement moins performants que les entendants mais se sont révélés être significativement plus performants que ceux scolarisés en milieu spécialisé. Cependant, le type de scolarité ne représentait plus un prédicteur fiable des performances en mathématiques lorsque le degré de perte auditive était contrôlé (la perte

auditive était globalement moindre chez les élèves sourds scolarisés dans le milieu ordinaire que dans le milieu spécialisé). Dans une étude plus récente, et chez des enfants plus jeunes (6 à 11 ans), l'absence de différence significative à des épreuves mathématiques entre un groupe d'élève entendants et un groupe d'élèves sourds en intégration a été mise en évidence pour la première fois (Brisset et al., 2017). Lors d'une tâche d'estimation, les sujets sourds, quel que soit leur environnement scolaire, étaient aussi performants que les sujets entendants. En revanche, aux épreuves de mathématiques plus formelles (calcul, chaîne numérique), seuls les sujets sourds scolarisés en milieu spécialisé obtenaient des scores plus faibles que les sujets contrôles.

Les résultats de cette dernière étude suggèrent que les enfants sourds possèdent les mêmes ressources innées que les enfants entendants, et que leurs compétences en mathématiques formelles se développent en fonction du type de scolarité suivie. Cela ne signifie pas pour autant que l'enseignement spécialisé est responsable du retard en mathématiques constaté chez certains enfants sourds. En effet, les enfants qui sont orientés vers ce type de scolarité sont souvent des enfants à besoins spécifiques, qui peuvent présenter de façon précoce des difficultés absentes chez leurs camarades sourds orientés vers l'enseignement ordinaire. Il serait par exemple intéressant de rechercher si le choix d'orientation et les performances en mathématiques ne co-varieraient pas avec l'étiologie de la surdité.

Pour ce qui est des jeunes sourds scolarisés dans le milieu ordinaire, on peut s'interroger sur leurs capacités à tirer autant bénéfice que leurs camarades entendants de l'enseignement reçu. En effet, ils pourraient être gênés en classe par des difficultés auditives et langagières. Il serait donc intéressant de continuer de comparer les performances en mathématiques formelles chez les jeunes sourds en intégration et chez les entendants. Le fait d'inclure des collégiens permettrait de vérifier si un écart se creuse avec le temps entre les élèves sourds et entendants ou non.

## **4. Buts et hypothèses**

Dans cette étude, nous nous intéresserons exclusivement aux jeunes sourds scolarisés en intégration individuelle dans le milieu ordinaire afin de garantir une certaine homogénéité dans la population étudiée. En partant de deux hypothèses de départ, nous nous pencherons ensuite sur deux questions à visée exploratoire.

Nous émettons une première hypothèse selon laquelle les enfants sourds débutent leur scolarité avec une sensibilité à la numérosité équivalente à celle de leurs pairs entendants. Pour cela, nous nous appuyons sur différents travaux ayant mis en évidence des compétences semblables dans ce domaine entre les enfants sourds et les enfants entendants (Arfe et al., 2011 ; Brisset et al., 2017 ; Zarfaty et al., 2004). Plus particulièrement dans cette étude, nous nous attendons à observer des compétences similaires entre les enfants sourds et entendants en début de scolarité primaire à des tâches d'estimation faisant intervenir du matériel non symbolique.

En nous appuyant sur les travaux de Halberda et Feigenson (2008b), nous émettons une deuxième hypothèse selon laquelle, chez les sujets tout-venant, le SNA se précise avec l'âge au contact des apprentissages formels. Plus particulièrement dans cette étude, nous nous attendons à observer une corrélation entre l'âge et la précision à des épreuves d'estimation chez des participants entendants.

Si ces deux hypothèses se vérifient, nous pourrions rechercher des éléments de réponse aux deux questions suivantes, qui sont au cœur de ce travail.

La première de ces questions est de savoir si les compétences en estimation se précisent autant avec l'âge au contact des apprentissages formels chez les jeunes sourds scolarisés en intégration que chez les jeunes entendants. Pour cela, nous avons l'intention de comparer l'évolution des performances à des tâches d'estimation en fonction de l'âge chez des participants sourds et entendants (en supposant qu'une corrélation soit effectivement retrouvée entre l'âge et la précision des estimations pour chacun des groupes).

La deuxième question concerne l'acquisition des « mathématiques formelles » c'est-à-dire telles qu'elles le sont enseignées à l'école. Nous souhaiterions savoir si les jeunes sourds scolarisés en intégration développent les mêmes compétences en mathématiques formelles que leurs pairs entendants. Pour cela, nous avons l'intention de comparer les scores de jeunes sourds et entendants à des tâches de mathématiques formelles.

Derrière ces deux questions, se cache finalement une seule et même interrogation : les élèves sourds scolarisés en intégration individuelle parviennent-ils à tirer autant bénéfice des enseignements mathématiques que leurs pairs entendants ?

# Méthode

Nous présentons dans cette partie la méthode employée dans cette étude.

## 1. Participants

Cinquante enfants et adolescents scolarisés du CE1 à la 3<sup>e</sup> et répartis en deux groupes ont été recrutés pour cette étude : un groupe constitué d'enfants sourds (ES par la suite), et un groupe constitué d'enfants entendants (EE par la suite). Une autorisation parentale (cf. Annexe 1) a été remplie pour chaque participant avant le début des passations. Les participants sont originaires de différentes régions de France (Hauts-de-France, Ile-de-France, Normandie) et de Belgique. Certains participants sont issus d'une base de donnée pré-existante (Bourles & Laussel, 2016 ; Gérardy, 2016 ; Legoff, 2016 ; Lentz, 2017), d'autres ont été nouvellement recrutés auprès d'établissements spécialisés ou d'orthophonistes libérales (cf. courrier de prise de contact en Annexe 2). Les données ont toutes été anonymisées par l'attribution d'un numéro à chaque participant.

Le groupe ES est constitué de 25 enfants présentant une surdité bilatérale (âge moyen = 111.32 mois, écart-type = 27.46 ; 13 filles et 12 garçons) (Tableau 1). Tous sont munis d'un appareillage auditif et utilisent le français à l'oral pour communiquer. Des données plus précises en lien avec la surdité (âge de diagnostic et d'appareillage, type d'appareillage, étiologie, etc.) sont répertoriées pour chaque participant dans le tableau de l'Annexe 3. Étaient automatiquement exclus de l'étude les enfants présentant des troubles avérés ou suspectés associés à la surdité (déficience intellectuelle, trouble spécifique des apprentissages, trouble du spectre autistique, etc.). Afin de constituer un échantillon relativement homogène, nous n'avons inclus que des participants scolarisés dans le milieu ordinaire. La plupart bénéficie néanmoins d'aménagements pédagogiques spécifiques (cf. Annexe 3).

Le groupe EE est constitué de 25 enfants et adolescents entendants (âge moyen = 110.8 mois, écart-type = 25.66 ; 13 filles et 12 garçons). Les participants sont scolarisés dans le milieu ordinaire du CP à la 3<sup>e</sup> et ne présentent pas de difficulté particulière d'apprentissage. Ils ont tous le français pour langue maternelle. Chaque sujet du groupe EE est apparié à un sujet du groupe ES de même niveau scolaire. Dans l'idéal, nous aurions souhaité évaluer des sujets contrôles issus des mêmes classes que les enfants du groupe ES afin de réduire au maximum l'impact de l'enseignement reçu. Pour des raisons pratiques, et dans un souci de respect du désir des familles, cela n'a toutefois pas été possible. Les sujets sont donc bien appariés en fonction du niveau scolaire, mais sont le plus souvent issus d'établissements scolaires différents, voire même de régions différentes. Il n'existe pas de différence significative concernant la répartition des sexes ( $\chi^2(1) = 1.00 ; p = 1.00$ ) ou la moyenne d'âge ( $t(47.78) = .07 ; p = .95$ ) entre le groupe ES et le groupe EE.

L'ensemble des participants s'est vu administrer le test des matrices non-verbales de l'échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants et adolescents, 4<sup>e</sup> édition (WISC IV : Wechsler, 2004) afin de recueillir une mesure homogène de l'intelligence non-verbale. Il n'existe pas de différence significative entre les scores du groupe ES et du groupe EE à cette épreuve ( $t(36.48) = -.049 ; p = .62$ ). L'échelle de vocabulaire en images de Peabody (EVIP)

dans sa forme B (Dunn, Thériault-Whalen, & Dunn, 1993) a également été proposée de façon systématique afin d'avoir une mesure homogène du niveau linguistique. Pour cette épreuve, il existe une différence significative entre le groupe ES et le groupe EE ( $t(47.35) = 3.90 ; p < .001$ ). Conformément à ce qui est attendu compte-tenu de leur déficience sensorielle, les participants sourds ont un niveau lexical en réception inférieur à celui des entendants. Les données descriptives pour ces deux épreuves sont présentées dans le Tableau 1.

Groupe		ES	EE
Sexe	Fém/Masc	13/12	13/12
Âge en mois	Moyenne	111.32	110.8
	Écart-type	27.46	25.66
	Min – Max	76 - 192	75 - 173
Note brute aux matrices	Moyenne	19.56	20.08
	Écart-type	4.66	2.46
	Min – Max	12 - 29	16 – 25
Note brute à l'EVIP	Moyenne	84.56	111.36
	Écart-type	22.85	25.7
	Min – Max	40 – 131	65 – 157

**Tableau 1. Répartition des sexes, âges, mesures de l'intelligence non-verbale et du lexique en réception**

## 2. Procédure

Le même protocole d'évaluation a été administré à chaque participant. Il comportait un pré-test cognitif et langagier, des épreuves de mathématiques formelles, et une épreuve d'estimation. Les différentes épreuves sont présentées ci-dessous. L'évaluation complète durait environ 1h30. En fonction de l'âge des participants et de leur disponibilité, elle a été réalisée en une à quatre sessions, soit à domicile, soit à l'école, soit au sein de la structure d'accueil spécialisée. L'épreuve des matrices (Wechsler, 2004) a systématiquement été proposée en premier, de sorte à pouvoir interrompre l'évaluation en cas de score inférieur à -1,5 ET, ce qui aurait entraîné l'exclusion du participant. Les autres épreuves ont été proposées dans un ordre variable d'un participant à l'autre.

## 3. Tâches et matériel

De nombreuses épreuves ont été proposées afin de contribuer à l'élaboration d'une large base de données, mais toutes ne seront pas forcément utilisées pour tenter de répondre aux questions précises soulevées dans cette étude. Les épreuves pour lesquelles il existe un manuel seront décrites succinctement.

### 3.1. Pré-test cognitif et langagier

Les *aptitudes intellectuelles non-verbales* ont été évaluées à l'aide du subtest des matrices issu de l'Echelle d'Intelligence de Wechsler pour Enfants et Adolescents, 4e édition (WISC IV ; Wechsler, 2004). L'épreuve, initialement prévue au format papier, a ici été proposée sous une version numérisée sur ordinateur.

Le *lexique* en réception a été évalué à l'aide de l'échelle de vocabulaire en image de Peabody (EVIP ; Dunn, Thériault-Whalen, & Dunn, 1993). Cette échelle a été administrée dans sa forme B à l'ensemble des enfants pour éviter un éventuel effet test-retest. L'épreuve, initialement prévue au format papier, a ici été proposée sous une version numérisée sur ordinateur.

Les *capacités en mémoire visuo-spatiale* ont été évaluées à l'aide d'une épreuve de reproduction de patterns visuels (Wilson, Scott, & Power, 1987). Dans cette épreuve, les enfants voyaient apparaître pendant deux secondes sur l'écran d'un ordinateur un quadrillage dont la moitié des cases étaient noircies. Ils devaient ensuite reproduire le pattern visuel sur un support quadrillé papier vierge. Le test comporte quatorze niveaux allant de deux à quinze éléments et comprenant trois items chacun. L'empan visuel correspond au dernier niveau pour lequel le participant a réussi au moins deux items sur trois.

Les *capacités en mémoire auditivo-verbale* ont été évaluées à l'aide d'une épreuve de répétition de chiffres à l'endroit issue de l'Échelle Clinique de la Mémoire pour enfants (CMS ; Cohen, 2001).

Les *gnosies digitales* ont été évaluées à l'aide du test des gnosies de Galifret-Granjon (1971). Seule l'épreuve des touches uniques a été proposée. Dans cette épreuve, on touche un à un les doigts de l'enfant hors de sa vue, et celui-ci nous indique le doigt touché sur une main dessinée. Chaque doigt est touché deux fois en tout, on réalise le test pour les deux mains.

### **3.2. Épreuves de mathématiques formelles**

La *connaissance de la chaîne numérique*, la *lecture de nombres* et l'*écriture de nombres* ont été évaluées à l'aide des épreuves de comptage et de transcodage issues du Tedi-Maths (Van Nieuwenhoven, Grégoire, & Noël, 2008).

Les compétences en *calcul exact* ont été évaluées à l'aide du Tempo Test Rekenen (TTR ; De Vos, 1992). Pour cette épreuve, notons qu'elle permet de tester soit les procédures de calcul, soit les faits arithmétiques, selon que l'enfant récupère les résultats des opérations proposées en mémoire ou non. Pour les plus jeunes, seules les additions et les soustractions ont été proposées. A partir de dix ans, les subtests de multiplications et de divisions étaient également administrés.

### **3.3. Épreuve d'estimation**

La *précision du système numérique approximatif* et l'*accès à la numérosité à partir des données symboliques* ont été testées à l'aide de l'épreuve informatisée d'estimation conçue par Mejias et collaborateurs (2012). Dans cette épreuve, il est demandé à l'enfant d'estimer, sans compter, la numérosité perçue. Les consignes sont lues à voix haute pour le participant et peuvent être reformulées en cas de nécessité. La modalité d'entrée varie selon quatre conditions (Figure 1).

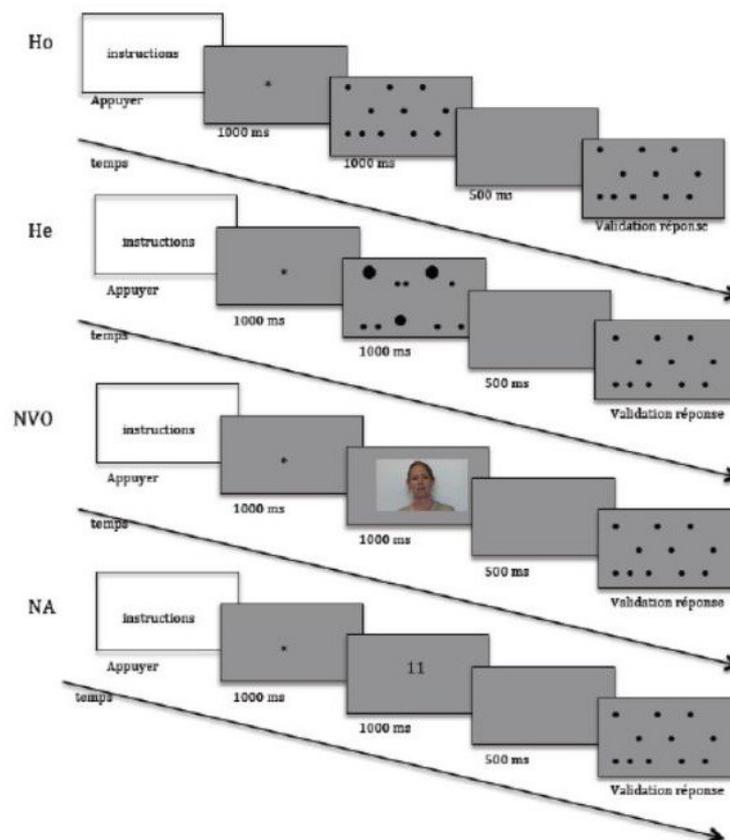


Figure 1. Illustration des quatre conditions de la tâche d'estimation

Dans la condition « Homogène » (Ho), une collection de points de même taille apparaît à l'écran. Dans cette condition, la surface noircie n'est pas contrôlée, elle varie avec la numérosité.

Dans la condition « Hétérogène » (He), une collection de points de tailles différentes apparaît à l'écran. Dans cette condition, la surface noircie est identique quel que soit le nombre de points. Le contrôle de ce paramètre permet de s'assurer que les participants extraient bien la numérosité plutôt que de s'appuyer sur des indices perceptifs.

Dans la condition « Nombres Verbaux Oraux » (NVO), une vidéo d'une personne prononçant un nombre est présentée à l'enfant. Le support visuel permet un appui sur la lecture labiale pour les participants sourds. En revanche, aucune aide supplémentaire à la réception n'était permise lors des passations (répétition, signes).

Dans la condition « Nombres Arabes » (NA), le participant voit apparaître à l'écran un nombre arabe.

Quelle que soit la modalité d'entrée, la modalité de sortie est toujours la même : le participant doit, à l'aide d'un potentiomètre (Figure 2) faire apparaître à l'écran une collection de points (tous identiques) correspondant à la numérosité perçue. Il lui est bien précisé qu'il ne doit pas compter mais fournir une réponse approximative. Quelle que soit la modalité

d'entrée, les stimuli apparaissent à l'écran pour une durée de 1000 ms. Cette durée assure la perception consciente du stimulus sans pour autant permettre un dénombrement. Les numérosités présentées sont les mêmes pour toutes les modalités d'entrée (8, 12, 16, 21, 26, 34, 64). Chacune est présentée six fois par condition. Une phase d'entraînement avec d'autres numérosités (5, 25, 50, 75) est prévue pour chaque condition. Pour éviter d'avoir un effet lié à l'ordre de présentation des conditions, elles ont été administrées selon un ordre pré-établi variable d'un participant à l'autre. Cette épreuve donne accès à plusieurs données dont deux seront principalement exploitées dans cette étude. Ces deux données sont le score moyen d'imprécision calculé à partir de la différence entre la cible et la réponse, ainsi que le temps moyen de réponse. Ces scores sont accessibles pour chaque numérosité et dans chaque condition.

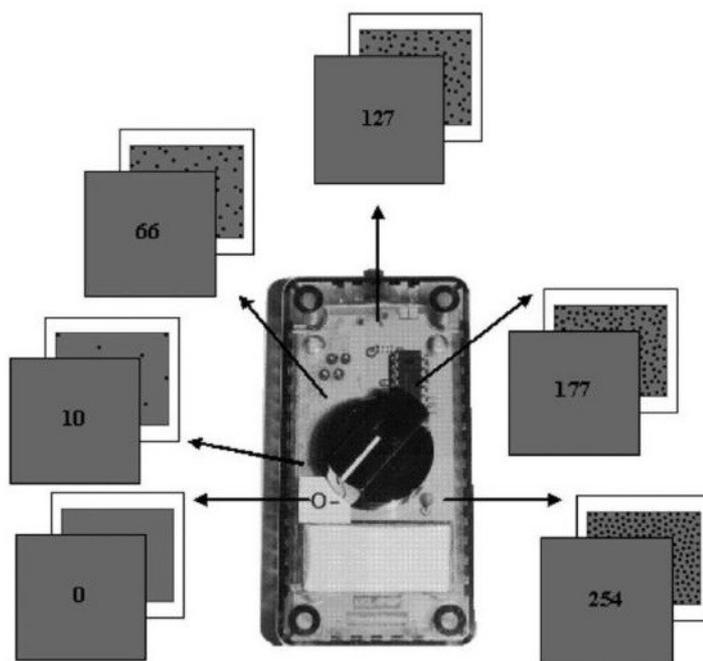


Figure 2. Potentiomètre

# Résultats

Comme mentionné précédemment, de nombreuses épreuves ont été administrées dans l'optique de contribuer à l'élaboration d'une large base de données. Seuls les résultats pertinents pour nos questions de recherche seront détaillés par la suite.

## 1. Mémoire visuo-spatiale, mémoire auditivo-verbale, gnosies digitales

Avant d'aborder les résultats des différentes épreuves numériques, nous souhaitons nous assurer qu'il n'existe pas de différence entre les groupes ES et EE pour les épreuves d'empan visuo-spatial, de mémoire auditivo-verbale et de gnosies digitales. L'analyse descriptive des résultats de ces différentes épreuves est présentée dans le Tableau 2. Les analyses statistiques ne révèlent aucune différence significative entre le groupe ES et le groupe EE, que ce soit pour l'épreuve d'empan visuel ( $t(45.69) = -.60$  ;  $p = .55$ ), pour l'épreuve de mémoire auditivo-verbale ( $t(47.25) = -1.57$  ;  $p = .12$ ) ou pour l'épreuve des gnosies digitales ( $t(40,34) = -.88$  ;  $p = .38$ ).

Groupe		ES	EE
Empan visuo-spatial	Moyenne	5.12	5.4
	Écart-type	1.45	1.83
	Min-Max	3 - 9	3 - 11
Mémoire auditivo-verbale	Moyenne	6.52	7.44
	Écart-type	1.94	2.2
	Min-Max	4 - 11	4 - 13
Gnosies digitales	Moyenne	18.04	18.6
	Écart-type	2.68	1.83
	Min-Max	11 - 20	14 - 20

Tableau 2. Empan visuo-spatial, mémoire auditivo-verbale, gnosies digitales

## 2. Vérification des hypothèses de départ

Pour rappel, nous avons émis deux hypothèses de départ qui, si elles se vérifient, ouvriront la voie à d'autres questions à visée exploratoire. La première de ces hypothèses est que, lorsqu'ils débutent leur scolarité primaire, les enfants sourds possèdent les mêmes compétences en estimation non symbolique que leurs pairs entendants. La deuxième hypothèse concerne cette fois les enfants entendants. Nous supposons que, chez ces enfants au développement typique, la sensibilité à la numérosité se précise avec l'âge au contact des apprentissages formels. Par la suite, nous présentons les résultats permettant de vérifier la validité de ces deux hypothèses.

## 2.1. Précision de l'estimation non symbolique chez les enfants sourds en début de scolarité

Afin de vérifier que les enfants sourds débutent les apprentissages avec les mêmes compétences en estimation non symbolique que leurs pairs entendants, nous avons comparé les moyennes des scores d'imprécision pour chaque valeur dans les conditions Ho et He sur un échantillon réduit à treize enfants (strictement plus jeunes que 9 ans) par groupe. Sur le diagramme (Figure 3), on peut observer que les enfants du groupe ES sont globalement moins précis que ceux du groupe EE. Cependant, en raison d'une dispersion importante des données, cette différence ne ressort pas comme significative lors des analyses statistiques, que ce soit pour la condition Ho ( $t(22.80) = 1.28 ; p = .21$ ) ou la condition He ( $t(17.09) = 1.81 ; p = .09$ ).

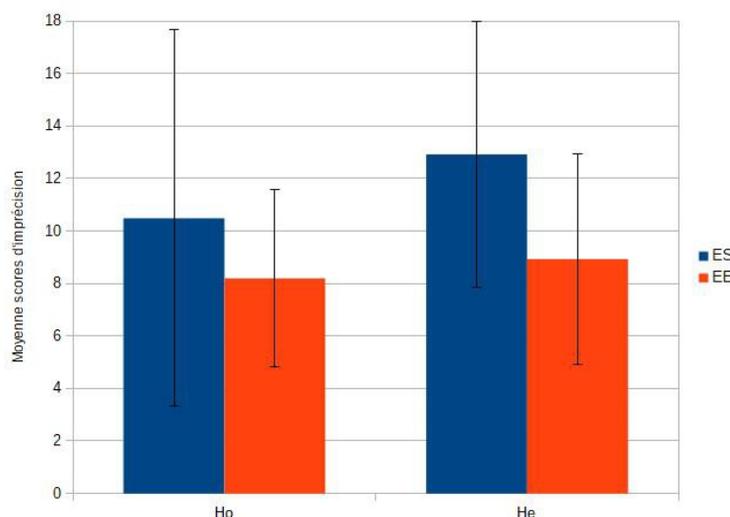


Figure 3 : Moyennes des scores d'imprécision et écarts-types pour les conditions He et Ho chez les enfants de moins de 9 ans

## 2.2. Évolution de la précision de l'estimation chez les jeunes entendants

Afin de vérifier que la sensibilité à la numérosité se précise au contact des apprentissages formels chez les entendants, nous avons effectué une recherche de corrélation entre l'âge et les performances en estimation dans les différentes conditions pour le groupe EE. Nous avons effectué cette analyse sur l'ensemble de l'échantillon d'abord ( $EE_{(1)}$ ), puis sur un échantillon réduit à dix-huit sujets âgés de moins de 10 ans ( $EE_{(2)}$ ). Nous voulions de cette façon vérifier si la présence éventuelle d'une corrélation était plus marquée chez les sujets jeunes. Mis à part pour la condition NVO sur l'ensemble de l'échantillon, les analyses statistiques ne mettent en évidence aucune corrélation entre l'âge et la précision de l'estimation pour le groupe EE (Tableau 3).

Condition	EE <sub>(1)</sub>	EE <sub>(2)</sub>
HO	$r = -.21 ; p = .31$ Absence de corrélation	$r = -.17 ; p = .50$ Absence de corrélation
HE	$r = -.33 ; p = .11$ Absence de corrélation	$r = -.38 ; p = .12$ Absence de corrélation
NVO	$r = -.46 ; p = .02$ Corrélation	$r = -.32 ; p = .19$ Absence de corrélation
NA	$r = -.17 ; p = .43$ Absence de corrélation	$r = -.25 ; p = .31$ Absence de corrélation

Tableau 3. Corrélation entre l'âge et l'imprécision de l'estimation pour le groupe EE

### 3. Questions à visée exploratoire

Après vérification de nos hypothèses de départ, nous souhaitons explorer deux questions. La première est de savoir si les compétences en estimation se précisent autant chez les enfants sourds que chez les enfants entendants au contact des apprentissages formels. La deuxième question est de savoir si les enfants sourds et entendants développent les mêmes compétences pour les mathématiques formelles. Par la suite, nous présentons les résultats permettant d'apporter des éléments de réponse à ces deux questions.

#### 3.1. Comparaison des compétences en estimation entre les groupes

Notre hypothèse selon laquelle il existe une corrélation entre la précision de l'estimation et l'âge pour le groupe EE n'ayant pas été vérifiée, nous ne présenterons pas les résultats des recherches de corrélation correspondantes pour le groupe ES. En effet cela n'aurait que peu d'intérêt puisque nous ne pourrions pas établir de comparaison avec le groupe EE. En revanche, nous pouvons comparer la précision à la tâche d'estimation dans les différentes conditions pour l'ensemble de l'échantillon (Figure 4). Les analyses statistiques révèlent un effet de groupe en faveur du groupe EE pour les conditions Ho ( $t(26.01) = -19.36 ; p < .001$ ) et He ( $t(29.84) = -2.21 ; p = .03$ ) mais pas pour les conditions NVO ( $t(40.59) = 1.90 ; p = .06$ ) ni NA ( $t(45.58) = .70 ; p = .49$ ).

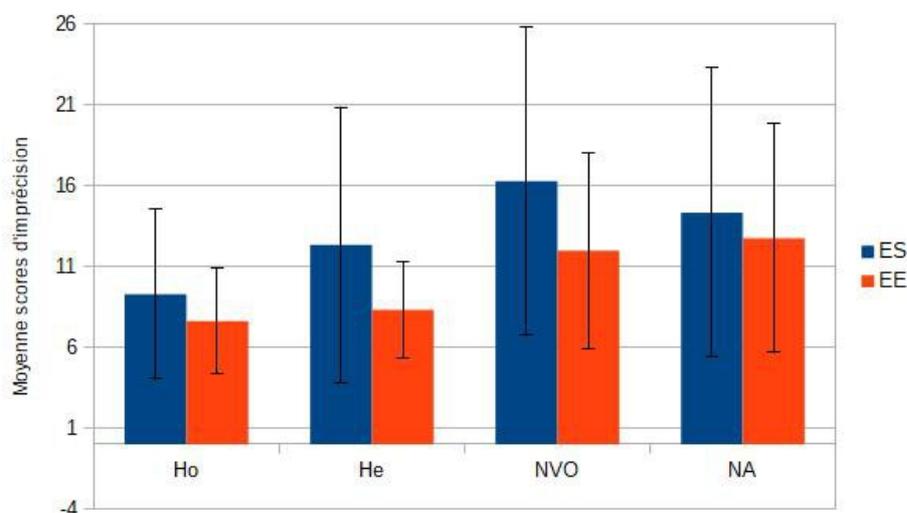


Figure 4 : Moyennes des scores d'imprécision et écarts-types pour toutes les conditions He et Ho sur l'ensemble de l'échantillon

Afin de voir si les différences constatées pourraient être liées à une différence dans la façon de traiter la tâche, les temps de réaction des groupes ES et EE ont été comparés. L'analyse statistique ne révèle pas de différence significative entre les groupes, que ce soit pour la condition Ho ( $t(47.85) = 1.45 ; p = .15$ ), He ( $t(45.66) = .41 ; p = .69$ ), NVO ( $t(47.78) = .22 ; p = .83$ ) ou NA ( $t(47.75) = .171 ; p = .86$ )

### 3.2. Comparaison des compétences en mathématiques formelles pour les groupes ES et EE

Afin de vérifier si les élèves sourds développent les mêmes compétences en mathématiques formelles que les élèves entendants, nous avons choisi de regrouper les scores aux subtests d'addition et de soustraction du TTR (De Vos, 1992) pour obtenir un score global de compétences mathématiques directement liées aux apprentissages scolaires. En raison d'effets plafonds marqués chez les sujets les plus âgés, les résultats aux épreuves du Tedi-Maths (Van Nieuwenhoven et al., 2008) n'ont pas été retenus pour le calcul de ce score. Les épreuves de multiplication et de division n'ayant pas été administrées aux sujets les plus jeunes, nous ne les avons pas retenues non plus. Après avoir vérifié que les résultats à l'épreuve d'addition étaient bien corrélés aux résultats à l'épreuve de soustraction et cela pour chacun des groupes ( $r = 0.85 ; p < .001$  pour le groupe ES ;  $r = .90 ; p < .001$  pour le groupe EE), nous avons donc additionné les scores de ces deux subtests afin d'établir un score global de calcul qui correspond à notre mesure de compétences en mathématiques formelles. L'analyse descriptive de ces résultats est disponible dans le Tableau 5. On constate que la moyenne du groupe ES est inférieure à celle du groupe EE. Les analyses statistiques ne révèlent toutefois pas de différence significative entre le groupe ES et le groupe EE ( $t(47.73) = -1.74 ; p = .09$ ).

Groupe		ES	EE
Score global calcul	Moyenne	25.88	31.8
	(Ecart-type)	11.57	12.46
	Min-Max	6 – 44	11 – 60

Tableau 5. Score global de calcul

# Discussion

L'objectif de ce mémoire est d'apporter des éléments de compréhension quant aux compétences numériques chez les jeunes sourds scolarisés en intégration. Plus précisément, nous souhaitons vérifier si les jeunes sourds scolarisés en intégration individuelle dans le milieu ordinaire parviennent à tirer autant bénéfice des apprentissages formels reçus en mathématiques que leurs pairs entendants. En effet, de nombreuses études témoignent de performances en mathématiques moins élevées chez les personnes sourdes que chez les personnes entendantes (Gottardis et al., 2011). Seulement, la plupart de ces études ne tiennent pas compte du type de scolarité, d'où l'importance de l'avoir fait dans ce travail. Une étude récente semble mettre en évidence que le décalage en mathématiques entre les enfants sourds et entendants ne concernerait en fait que les jeunes sourds scolarisés dans l'enseignement spécialisé, et non ceux scolarisés en milieu ordinaire (Brisset et al., 2017). Dans ce travail, nous nous sommes toutefois demandé si une partie de l'enseignement reçu en mathématiques ne risquait pas d'échapper aux élèves sourds scolarisés en intégration en raison de leurs difficultés auditives et langagières.

## 1. Analyse des résultats

Dans cette partie, nous présentons les principaux résultats de cette étude.

### 1.1. Mémoire visuo-spatiale, mémoire auditivo-verbale et gnosies digitales

Avant de comparer les compétences numériques approximatives et exactes des groupes ES et EE, nous avons souhaité nous assurer qu'ils possédaient bien les mêmes compétences en mémoire visuo-spatiale, mémoire auditivo-verbale et gnosies digitales. En effet, un déficit, ou au contraire un surinvestissement de l'une de ces fonctions auraient été susceptibles d'avoir un impact sur les tâches numériques proposées par la suite.

La mémoire visuo-spatiale intervient notamment dans la tâche d'estimation pour les conditions Ho et He, puisqu'il faut mémoriser un ensemble de points pour le reproduire ensuite. Certains auteurs suggèrent que les personnes sourdes auraient de meilleures capacités en mémoire-visuo-spatiale que les individus tout-venant (Roux, 2014). Il semblerait toutefois que ce phénomène soit davantage lié à la pratique d'une langue visuo-gestuelle qu'à un effet de compensation du déficit auditif (Arnold & Mills, 2001). Or dans notre population, seuls quelques enfants sont exposés aux signes (cf. Annexe 3). En cohérence avec ce constat, les analyses statistiques ne révèlent pas de différence entre les groupes ES et EE pour l'épreuve d'empan visuo-spatial. Les enfants du groupe ES ne bénéficient donc pas a priori d'un effet de compensation de la mémoire visuo-spatiale pour l'épreuve d'estimation dans les conditions Ho et He.

La mémoire auditivo-verbale intervient quant à elle dans la tâche d'estimation dans la condition NVO pour mémoriser le nombre énoncé, ainsi que dans les épreuves de calcul selon la stratégie employée. En effet si le participant ne parvient pas à récupérer automatiquement le résultat du calcul en mémoire, il utilisera des stratégies de comptage et de calcul mental

faisant intervenir la mémoire de travail auditivo-verbale (Fazio, 1999). Les résultats à des épreuves de répétition de chiffres mettent en évidence une faiblesse de la mémoire auditivo-verbale chez les jeunes sourds par rapport à leurs pairs entendants (Kronenberger, Pisoni, Henning, & Colson, 2013). Cette différence de performance n'est pas retrouvée pour notre échantillon, les analyses statistiques ne mettent pas en évidence de différence significative entre les groupes ES et EE pour l'épreuve de répétition de chiffres. Les éventuelles différences de performances entre les groupes aux tâches numériques présentées par la suite ne seront donc à priori pas attribuables à une différence au niveau de la mémoire auditivo-verbale.

Il est aujourd'hui clairement établi qu'un lien existe entre gnosies digitales et compétences numériques. En effet, les tests de gnosies digitales chez les enfants tout-venant en début de scolarité s'avèrent être de bons prédicteurs des performances en mathématiques ultérieures (M. Fayol, Barrouillet, & Marinthe, 1998; Noël, 2005). De plus, un entraînement portant sur les gnosies digitales a démontré son effet sur les performances à des tâches numériques (Gracia-Bafalluy & Noël, 2008). Un trouble développemental associant une agnosie digitale et de faibles performances en mathématiques a été décrit (Kinsbourne & Warrington, 1963). Nous souhaitons donc évaluer les gnosies digitales afin d'exclure la présence éventuelle d'un trouble de cet ordre chez l'ensemble de nos participants. Aucun participant ne semble avoir rencontré de difficulté particulière lors de l'épreuve des gnosies digitales. Nous souhaitons également nous assurer de l'absence de différence entre les participants du groupe ES et ceux du groupe EE à cette épreuve, ce qui a effectivement été mis en évidence par les analyses statistiques. Notons toutefois que l'épreuve utilisée (Galifret-Granjon, 1971) présente un effet plafond. Elle aurait donc permis de mettre en évidence des performances particulièrement faibles, mais pas au contraire un surinvestissement des gnosies digitales. Or, on peut supposer que l'exposition à une communication visuo-gestuelle entraînerait de meilleures représentations des doigts (Brisset et al., 2017). Il n'existe actuellement pas à notre connaissance de test permettant d'évaluer les gnosies digitales de façon suffisamment fine et précise pour mettre en évidence ce genre de phénomène.

## **1.2. Vérification des hypothèses de départ**

Les résultats permettant de confirmer ou non nos hypothèses de départ sont analysés dans cette partie.

### **1.2.1. Précision de l'estimation non symbolique chez les enfants sourds en début de scolarité**

Nous avons émis une première hypothèse selon laquelle les enfants sourds débutent leur scolarité avec la même sensibilité à la numérosité que les enfants entendants. Afin de vérifier cette hypothèse, nous avons comparé les performances aux épreuves d'estimation dans les conditions non symboliques (Ho et He) entre le groupe ES et le groupe EE pour les enfants les plus jeunes de notre échantillon. Nous avons pour cela sélectionné uniquement les enfants âgés de moins de 9 ans. Cela nous a permis d'obtenir un échantillon qui reste relativement conséquent, tout en ne gardant que des enfants ayant trois ans de scolarisation maximum derrière eux. Les analyses statistiques n'ont pas mis en évidence de différence significative

entre les moyennes des scores d'imprécision des deux groupes, que ce soit pour la condition Ho ou He.

Ces résultats tendent à confirmer notre hypothèse. Ils rejoignent les résultats des différentes études sur lesquelles nous nous sommes appuyés pour l'émettre (Arfe et al., 2011; Brisset et al., 2017; Zarfaty et al., 2004). En effet, la similarité entre enfants sourds et entendants dans la sensibilité à la numérosité a déjà été mise en évidence à plusieurs reprises. En mettant en évidence une sensibilité à la numérosité équivalente pour les grandes numérosités, nos résultats complètent utilement ceux des études précédentes, qui s'étaient davantage intéressées aux petites numérosités.

Ces résultats vont en revanche à l'encontre de ceux présentés par Bull et collaborateurs (2010). Dans leur étude, la sensibilité à la numérosité était évaluée à l'aide d'une tâche de comparaison de collections de points. Les enfants sourds étaient moins performants dans la réalisation de cette tâche que les sujets contrôles. Plusieurs explications peuvent être avancées pour expliquer cette différence de résultats. Dans l'étude de Bull et collaborateurs (2010), aucune donnée sur les aptitudes intellectuelles et mnésiques des participants, ni sur leur environnement scolaire n'est fournie. Comme évoqué précédemment, ce sont pourtant autant d'éléments qui pourraient avoir un impact sur les résultats à la tâche proposée. D'autre part, pour réaliser notre analyse nous avons sélectionné des enfants strictement plus jeunes que 9 ans afin de limiter l'impact éventuel des apprentissages formels sur la précision du SNA. Dans l'étude de Bull et ses collaborateurs (2010), les enfants avaient entre 9 et 10 ans en moyenne et étaient donc plus âgés. On peut émettre l'hypothèse que, si un décalage apparaît au niveau de la précision du SNA du fait de l'acquisition des mathématiques formelles, celui-ci apparaîtrait après quelques années de scolarisation en primaire, soit justement vers l'âge de 9 ans. Jusqu'à cet âge les enfants sourds et entendants montreraient d'aussi bonnes performances aux différentes tâches permettant d'évaluer la sensibilité à la numérosité, comme c'est le cas dans notre étude. Passé cet âge, un décalage apparaîtrait entre les enfants sourds et entendants, en faveur de ces derniers, comme c'est le cas dans l'étude de Bull et collaborateurs (2010). Nous verrons par la suite que les résultats obtenus par l'ensemble de notre échantillon aux différentes tâches d'estimation, sans écarter totalement cette hypothèse, ne permettent pas non plus de la confirmer.

### **1.2.2. Évolution de la précision de l'estimation chez les jeunes entendants**

Nous avons émis une deuxième hypothèse selon laquelle la sensibilité à la numérosité chez les enfants tout-venant se précise avec l'âge au contact des apprentissages formels. Cette hypothèse s'appuie sur les travaux de Halberda et Feigenson (2008b). Afin de la vérifier, nous avons recherché une corrélation entre l'âge et la précision à l'épreuve d'estimation dans les différentes conditions pour le groupe EE. Contrairement à ce qui était attendu, nous n'observons pas de corrélation marquée entre l'âge et la précision de l'estimation. En effet, les analyses statistiques ne mettent en évidence une corrélation significative que pour la condition NVO. Ces résultats ne permettent pas de confirmer notre hypothèse.

La corrélation entre l'âge et la précision du SNA étant particulièrement marquée chez les sujets jeunes (Halberda & Feigenson, 2008b), nous avons effectué une nouvelle recherche

de corrélation en excluant cette fois les participants les plus âgés. Cela nous a amené à un échantillon de 18 sujets, tous âgés de moins de 10 ans. Les résultats obtenus ne sont pas plus probants, aucune corrélation significative, dans aucune des conditions, n'étant mise en évidence.

Ces résultats vont à l'encontre de notre hypothèse et des résultats présentés par (Halberda & Feigenson, 2008b). Peut-être est-ce la taille restreinte de notre échantillon qui ne permet pas de mettre en évidence le phénomène recherché. En effet, il existe une importante variabilité inter-individuelle en ce qui concerne la précision du SNA (Halberda et al., 2008a). Les moyennes des scores d'imprécision obtenues sur un faible échantillon ne permettent donc pas forcément de mettre en évidence un phénomène de corrélation avec l'âge, qui ressortirait peut-être davantage sur un échantillon plus important. Cependant, il convient de souligner que la corrélation entre l'âge et la précision à des épreuves d'estimation telle qu'elle est décrite par Halberda et Feigenson (2008b) reste à ce jour un phénomène peu répliqué dans la littérature, mis à part par Piazza et Izard (2009). Nous ne disposons donc que de peu d'informations quant à la validité de ce phénomène et quant aux facteurs qui pourraient l'influencer.

### **1.3. Questions à visée exploratoire**

Après vérification de nos hypothèses, nous souhaitons examiner la capacité des élèves sourds à tirer bénéfice des apprentissages formels reçus en mathématiques. Pour cela nous nous sommes posé deux questions à visée exploratoire. Les résultats permettant d'apporter des éléments de réponse à ces questions sont présentés dans cette partie.

#### **1.3.1. Comparaison des performances en estimation entre les groupes ES et EE**

La première question était de savoir si les compétences en estimation se précisent autant avec l'âge au contact des apprentissages formels chez les sourds que chez les entendants. Notre hypothèse selon laquelle l'estimation se précise avec l'âge chez les sujets tout-venant n'étant pas vérifiée pour notre échantillon, il devient difficile de comparer l'évolution des jeunes sourds à celle des entendants. Si un profil d'évolution stable s'était dégagé pour la tâche d'estimation chez le groupe EE, nous aurions pu le comparer au profil d'évolution du groupe ES afin de voir si le SNA des jeunes sourds se précise autant au contact des apprentissages formels que celui des entendants. L'absence de vérification du postulat de base n'a pas permis cette analyse, mais nous pouvons cependant comparer les moyennes des scores d'imprécision aux épreuves d'estimation dans les différentes conditions pour les deux groupes afin de voir si des différences se dégagent.

Étonnamment, les sujets du groupe ES se montrent aussi performants que ceux du groupe EE pour les conditions NVO et NA, alors qu'ils sont significativement moins performants pour les conditions Ho et He. Nous n'avions pas émis d'hypothèse concernant d'éventuelles différences entre les groupes en fonction des conditions, mais si une différence avait été attendue cela aurait plutôt été à l'inverse pour les conditions NA et NVO. En effet, celles-ci font intervenir non seulement les compétences d'estimation sur du matériel non symbolique, mais aussi la maîtrise des codes symboliques dépendants d'un apprentissage, tandis que les conditions Ho et He sont strictement non symboliques. Ces résultats sont donc

plutôt encourageants, puisqu'ils tendent à prouver que les jeunes sourds peuvent disposer d'un accès aussi efficient que les entendants à la représentation de la quantité à partir des codes symboliques appris. Ce constat va à l'encontre de la plupart des données actuellement disponibles (Bull et al., 2010; Genovese et al., 2005; Rodríguez-Santos et al., 2014), mais il rejoint les résultats positifs obtenus par des enfants sourds implantés scolarisés en intégration en maternelle ordinaire à une tâche de comparaison de nombres arabes (Arfe et al., 2011). L'ensemble de ces résultats tend à prouver que l'acquisition des codes symboliques et leur mise en correspondance avec la numérosité, est un apprentissage formel à la portée des enfants sourds d'intelligence normale scolarisés dans le milieu ordinaire. Or, ces compétences développées dès la maternelle, notamment à travers l'acquisition du principe de cardinalité, semblent jouer un rôle important dans le développement des compétences numériques ultérieures (Geary et al., 2018; Mou, Berteletti, & Hyde, 2018)

La raison de l'écart de performance entre les groupes ES et EE pour les conditions Ho et He reste à déterminer. Le fait que cet écart de performance ne soit pas retrouvé lorsque l'on inclut uniquement les enfants les plus jeunes de notre échantillon pourrait laisser penser qu'il s'agit d'un effet de l'âge. Cela corroborerait l'hypothèse d'un décalage au niveau de la précision du SNA qui apparaîtrait suite à l'acquisition des mathématiques formelles. Cependant, le fait que nous ne retrouvons pas de corrélation entre l'âge et les performances en estimation pour le groupe EE semble écarter cette hypothèse. Une autre hypothèse envisageable est que ce serait plutôt la stratégie employée pour effectuer la tâche qui serait à mettre en cause dans ce résultat. En effet la différence de performance entre les sujets sourds et entendants pour les conditions Ho et He pourrait s'expliquer par le fait que, pour réaliser cette tâche inhabituelle, les participants procéderaient à un recodage verbal de la quantité perçue. La tâche n'évaluerait alors plus l'estimation non symbolique mais le transcodage entre des données analogiques et des données verbales. Les temps de réponse n'étant pas significativement différents pour les deux groupes, nous n'avons pas pour l'instant d'éléments pour confirmer le fait que cette différence de performance soit effectivement liée à la stratégie employée pour effectuer la tâche. Il s'agit d'une simple hypothèse qu'il conviendrait de vérifier par des explorations plus approfondies.

### **1.3.2. Comparaison des compétences en mathématiques formelles pour les groupes ES et EE**

La deuxième question était de savoir si les jeunes sourds parviennent à acquérir les mêmes compétences en mathématiques formelles que leurs pairs entendants. Afin d'apporter des éléments de réponse à cette question, nous avons établi un score global de mathématiques formelles composé des scores aux subtests d'addition et de soustraction du TTR. Nous avons ensuite comparé les moyennes des groupes ES et EE pour ce score. Les analyses statistiques ne mettent pas en évidence de différence significative entre les deux groupes. Ces résultats rejoignent ceux obtenus par Brisset et collaborateurs (2017), et ce malgré l'inclusion de sujets plus âgés. Il semblerait donc que les jeunes sourds parviennent à acquérir et à maintenir dans le temps d'aussi bonnes compétences en mathématiques formelles que leurs pairs entendants.

## **1.4. Synthèse des résultats**

L'ensemble de nos résultats est en faveur du fait que les élèves sourds parviennent à tirer autant bénéfice que leurs pairs entendants de l'enseignement reçu en mathématique, et ce de façon durable dans le temps. Nos résultats restent néanmoins à interpréter avec beaucoup de prudence compte-tenu d'un certain nombre de limites méthodologiques.

## **2. Limites méthodologiques**

La limite principale de cette étude tient à la taille de notre échantillon. En effet, la fiabilité de nos résultats est limitée par le petit effectif de 25 participants dans chacun de nos groupes. Dans l'idéal, nous aurions souhaité avoir davantage de participants et notamment de collégiens afin d'avoir une meilleure répartition des sujets en fonction des niveaux scolaires, mais il a été difficile de recruter des participants. En effet la population sourde est relativement rare, et nous étions limités par notre volonté d'inclure uniquement des jeunes sourds en intégration dans l'enseignement ordinaire. Notons qu'en plus, certains de ces enfants sont fréquemment sollicités pour participer à différentes expérimentations et ne sont donc pas toujours disponibles.

De cette difficulté d'accès à la population découle une deuxième limite de notre étude : nous n'avons pu évaluer que les enfants dont les familles ont répondu à nos sollicitations, ce qui est normal. Il est possible que cela ait induit, sans que nous puissions le vérifier, une sélection parmi les enfants sourds évalués.

Une autre limite concerne le recrutement des sujets du groupe EE. En effet, notre volonté était de limiter au maximum l'impact de différences potentielles dans l'environnement scolaire. Pour cela nous aurions souhaité que chaque sujet contrôle soit issu de la même classe que le sujet sourd auquel il était apparié. Comme mentionné dans la méthode, cela n'a pas été possible. Si nos sujets sont bien appariés sur le niveau scolaire, ils sont en revanche souvent issus d'établissements différents et parfois même de régions différentes. Nous n'avons pas non plus contrôlé les variables socio-culturelles pour nos deux groupes.

Enfin, une limite importante concerne la méthodologie employée. En effet, afin d'étudier la trajectoire développementale du SNA chez les jeunes sourds, une étude longitudinale aurait été tout à fait indiquée. Cela aurait entre autres permis de limiter l'impact des différences inter-individuelles au niveau de la précision du SNA (Halberda et al., 2008a) dans la recherche de corrélations entre l'âge et les compétences en estimation. Cela n'était toutefois pas réalisable dans le temps imparti pour réaliser ce travail.

## **3. Perspectives**

Dans cette dernière partie, nous présentons les perspectives ouvertes par cette étude, tant en termes d'implications cliniques qu'en termes de recherches futures.

### **3.1. Implications cliniques**

Le fait que les jeunes sourds semblent accéder avec autant d'efficacité que les entendants à la représentation de la quantité à partir des données symboliques est un résultat encourageant. En effet, cela signifie que, contrairement à ce que pouvaient laisser penser certaines publications (Bull et al., 2010, 2011), la surdité en tant que telle n'induirait pas inévitablement de déficit au niveau des compétences numériques fondamentales. En tant que thérapeute, cela implique que le travail sur la sémantique du nombre, tel qu'il peut être proposé dans le cadre des dyscalculies développementales, ne doit pas nécessairement constituer un axe de travail systématique auprès des jeunes sourds. Bien sûr les choix thérapeutiques restent à établir au cas par cas, et l'association fortuite d'une surdité et d'une dyscalculie développementale est une éventualité à ne pas écarter en cas de difficultés particulièrement importantes en mathématiques chez un jeune sourd.

Un autre résultat encourageant est l'absence de différence significative pour le score de mathématiques formelles entre les groupes ES et EE. Ce résultat laisse supposer que, dans l'état actuel des choses, les jeunes sourds parviendraient à tirer bénéfice des enseignements mathématiques au même titre que leurs pairs entendants, et ce de façon durable dans le temps. Cela est sûrement rendu possible par la mise en place d'aménagements pédagogiques (cf. Annexe 3). Comme nous pouvons le constater, ces aménagements peuvent prendre des formes variées en fonction des besoins (aide technique à la réception auditive, aide humaine, etc.). Si l'accompagnement des jeunes présentant une surdité passe par des temps de remédiation spécifiques, il doit aussi prendre en compte un temps de réflexion autour des aménagements pédagogiques les plus pertinents à proposer, ainsi qu'un temps de mise en place de ces aménagements.

### **3.2. Pistes de futures recherches**

Malgré des premiers résultats intéressants, cette étude mériterait d'être enrichie par l'inclusion de participants supplémentaires, et notamment davantage de collégiens afin de s'assurer qu'ils maintiennent bien des compétences similaires à celles de leurs pairs entendants.

Dans l'introduction nous soulevions deux questions : celle de savoir si les jeunes sourds scolarisés en intégration parviennent à tirer autant bénéfice des apprentissages en mathématiques que leurs pairs entendants d'une part, mais aussi celle de savoir si l'enseignement spécialisé offre aux enfants sourds autant d'opportunités que l'enseignement ordinaire de développer leurs compétences numériques. Si nous avons choisi dans cette étude de nous focaliser sur les enfants sourds scolarisés en intégration dans l'enseignement ordinaire, les problématiques liées au développement des compétences numériques chez les enfants sourds dans l'enseignement spécialisé demeurent intéressantes à étudier. Il serait tout à fait envisageable d'utiliser la méthode employée dans cette étude à cette fin. Ce travail a d'ailleurs commencé à être entrepris (Pivert & Mejias, 2018).

Enfin, dans cette étude, nous nous sommes intéressés à un facteur environnemental trop rarement pris en compte d'après nous : l'environnement scolaire. Un autre facteur qui mériterait d'être étudié est celui de l'environnement familial. Connaissant l'impact des

stimulations familiales dans le cadre du développement des compétences numériques précoces (Clements & Sarama, 2011), il serait intéressant d'étudier cette question chez les enfants sourds. En effet, les transmissions liées au concept du nombre qui se font habituellement naturellement peuvent être entravées par les difficultés de communication, notamment dans le cas des enfants sourds de parents entendants. Dans l'étude de Kritzer (2009) menée chez des enfants sourds d'âge pré-scolaire, on peut noter que les enfants qui obtenaient les performances les plus élevées en mathématiques étaient ceux de parents sourds. Cet élément est en faveur d'un impact de l'environnement familial sur les performances en mathématiques. A notre connaissance, seule une étude a déjà été menée sur le sujet de l'influence des stimulations familiales sur les performances en mathématiques chez les enfants sourds (Kritzer, 2008). Dans cette étude, les enfants qui obtenaient les meilleurs performances à des épreuves de mathématiques se sont révélés être ceux qui bénéficiaient le plus de sollicitations en rapport avec les notions de nombres et de quantités par leurs parents. La poursuite de ces travaux pourrait être intéressante en permettant notamment d'aboutir à des pistes d'interventions adaptées dans le cadre de l'accompagnement familial.

## Conclusion

L'objectif de ce travail était d'apporter des éléments de compréhension quant aux compétences numériques chez les enfants et adolescents sourds. Plus précisément, nous souhaitons vérifier si les jeunes sourds scolarisés en intégration dans le milieu ordinaire parviennent à tirer autant bénéfice des apprentissages formels reçus en mathématiques que leurs pairs entendants. Pour mener à bien ce projet, nous avons comparé les performances de jeunes tout-venant et de jeunes sourds scolarisés en intégration à différentes épreuves faisant intervenir des compétences numériques symboliques et non symboliques. Les premiers résultats sont encourageants. En effet, les jeunes sourds semblent avoir pu mettre en place des liens solides entre les codes symboliques et les quantités représentées. De plus, ils obtiennent d'aussi bons résultats que les jeunes entendants à des épreuves de mathématiques formelles. Ces résultats semblent soutenir l'idée que les jeunes sourds scolarisés en milieu ordinaire parviennent à tirer bénéfice de l'enseignement formel reçu en mathématiques, au même titre que leurs pairs entendants. Cette étude mériterait toutefois d'être répliquée sur un ensemble plus large de participants. Cela permettrait d'apporter de la fiabilité à nos conclusions et de pousser toujours plus loin la compréhension des compétences numériques chez les personnes sourdes, dans l'optique de leur proposer un accompagnement qui soit le plus adapté possible à leurs besoins.

## Bibliographie

- Arfe, 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 and Education International*, 13(1), 34-45. <https://doi.org/10.1179/1557069X11Y.0000000002>
- Arnold, P., & Mills, M. (2001). Memory for Faces, Shoes, and Objects by Deaf and Hearing Signers and Hearing Nonsigners. *Journal of Psycholinguistic Research*, 30(2), 185-195. <https://doi.org/10.1023/A:1010329912848>
- Bourles, F., & Laussel, E. (2016). La représentation du nombre chez les enfants dysphasiques.
- Brisset, M., Mussolin, C., & Leybaert, J. (2017). Traitements numériques, capacités visuo-spatiales et gnosies digitales chez l'enfant sourd et l'enfant entendants : Effet du type d'instruction. *Rééducation Orthophonique*.
- Bull, R., Marschark, M., & Blatto-Vallee, G. (2005). SNARC hunting: Examining number representation in deaf students. *Learning and Individual Differences*, 15(3), 223-236. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2005.01.004>
- Bull, R., Marschark, M., Davidson, W. A., Murphy, D., Nordmann, E., Remelt, S., & Sapere, P. (2010). Numerical Approximation and Maths Achievement in Deaf Children. Consulté à l'adresse [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/31186408/vancouver.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1504611142&Signature=aNsorZuHAWBN4%2BGpYWYQ00e5IjQ%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DNumerical\\_Approximation\\_and\\_Maths\\_Achiev.pdf](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/31186408/vancouver.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1504611142&Signature=aNsorZuHAWBN4%2BGpYWYQ00e5IjQ%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DNumerical_Approximation_and_Maths_Achiev.pdf)
- Bull, R., Marschark, M., Sapere, P., Davidson, W. A., Murphy, D., & Nordmann, E. (2011). Numerical estimation in deaf and hearing adults. *Learning and Individual Differences*, 21, 453-457. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2011.02.001>
- Clements, D. H., & Sarama, J. (2011). Early childhood mathematics intervention. *Science (New York, N.Y.)*, 333(6045), 968-970. <https://doi.org/10.1126/science.1204537>
- Cohen, M. J. (2001). Echelle clinique de mémoire pour enfants. Editions du Centre de Psychologie Appliquée
- Dehaene, S. (2010). *Bosse des maths (La): Quinze ans après*. Odile Jacob.
- De Vos, T. (1992). Tempo-Test-Rekenen. Handleiding. [Tempo Test Arithmetic. Manual]. Nijmegen: Berkhout.
- Dunn, L.M., Thériault-Whalen, C.M., & Dunn, L.M. (1993). Adaptation française du *Peabody Picture Vocabulary Test Revised*. Psycan, Toronto.
- Fayol, M., Barrouillet, P., & Marinthe, C. (1998). Predicting arithmetical achievement from neuro-psychological performance: a longitudinal study. *Cognition*, 68(2), B63-70.
- Fayol, Michel. (2013). *L'acquisition du nombre*. PUF. Consulté à l'adresse <http://www.cafepedagogique.net/lemensuel/lenseignant/primaire/elementaire/Pages/Fa>

- Fazio, B. B. (1999). Arithmetic Calculation, Short-Term Memory, and Language Performance in Children With Specific Language Impairment: A 5-Year Follow-Up. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 42(2), 420-431. <https://doi.org/10.1044/jslhr.4202.420>
- Galifret-Granjon, N. (1971). *Test des gnosies digitales*. Delachaux et Niestlé.
- Geary, D. C. (2011). Consequences, Characteristics, and Causes of Mathematical Learning Disabilities and Persistent Low Achievement in Mathematics. *Journal of developmental and behavioral pediatrics : JDBP*, 32(3), 250-263. <https://doi.org/10.1097/DBP.0b013e318209edef>
- Geary, D. C., vanMarle, K., Chu, F. W., Rouder, J., Hoard, M. K., & Nugent, L. (2018). Early Conceptual Understanding of Cardinality Predicts Superior School-Entry Number-System Knowledge. *Psychological Science*, 29(2), 191-205. <https://doi.org/10.1177/0956797617729817>
- Gérardy, A. (2016). *La représentation du nombre chez l'enfant porteur de trouble spécifique du langage : étude comportementale*.
- Gottardis, L., Nunes, T., & Lunt, I. (2011). A Synthesis of Research on Deaf and Hearing Children's Mathematical Achievement. *Deafness & Education International*, 13(3), 131-150. <https://doi.org/10.1179/1557069X11Y.0000000006>
- Gracia-Bafalluy, M., & Noël, M.-P. (2008). Does finger training increase young children's numerical performance? *Cortex; a Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, 44(4), 368-375. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2007.08.020>
- 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. In *Cognition and Learning in Diverse Settings* (Vol. 18, p. 33-46). Emerald Group Publishing Limited. [https://doi.org/10.1016/S0735-004X\(05\)18002-1](https://doi.org/10.1016/S0735-004X(05)18002-1)
- Halberda, J., & Feigenson, L. (2008b). Developmental change in the acuity of the « Number Sense »: The Approximate Number System in 3-, 4-, 5-, and 6-year-olds and adults. *Developmental Psychology*, 44(5), 1457-1465. <https://doi.org/10.1037/a0012682>
- Halberda, J., Mazocco, M. M. M., & Feigenson, L. (2008a). Individual differences in non-verbal number acuity correlate with maths achievement. *Nature*, 455(7213), 665-668. <https://doi.org/10.1038/nature07246>
- Kinsbourne, M., & Warrington, E. K. (1963). The Developmental Gerstmann Syndrome. *Archives of Neurology*, 8(5), 490-501. <https://doi.org/10.1001/archneur.1963.00460050040004>
- 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*, 13(4), 503-517. <https://doi.org/10.1093/deafed/enn007>
- 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*, (4), 409. <https://doi.org/10.1093/deafed/enp015>
- Kronenberger, W. G., Pisoni, D. B., Henning, S. C., & Colson, B. G. (2013). Executive functioning skills in long-term users of cochlear implants: a case control study. *Journal of Pediatric Psychology*, 38(8), 902-914. <https://doi.org/10.1093/jpepsy/jst034>
- Legoff, A. (2016). *Représentations numériques chez l'enfant déficient auditif*.
- Lentz, V. (2017). *La représentation du nombre chez l'enfant sourd*.
- Leybaert, J. (2006). *Chapitre 10. L'évaluation des habiletés numériques chez les enfants atteints de surdité*. Mardaga. Consulté à l'adresse [http://www.cairn.info/resume.php?ID\\_ARTICLE=MARD\\_HAGE\\_2006\\_01\\_0223](http://www.cairn.info/resume.php?ID_ARTICLE=MARD_HAGE_2006_01_0223)
- Leybaert, J., & Van Cutsem, M.-N. (2002). Counting in Sign Language. *Journal of Experimental Child Psychology*, 81(4), 482-501. <https://doi.org/10.1006/jecp.2002.2660>
- Masataka, N. (2006). Differences in Arithmetic Subtraction of Nonsymbolic Numerosities by Deaf and Hearing Adults. *The Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 11(2), 139-143. <https://doi.org/10.1093/deafed/enj016>
- Mejias, S., Mussolin, C., Rousselle, L., Grégoire, J., & Noël, M.-P. (2012). Numerical and nonnumerical estimation in children with and without mathematical learning disabilities. *Child Neuropsychology*, 18(6), 550-575. <https://doi.org/10.1080/09297049.2011.625355>
- Mou, Y., Berteletti, I., & Hyde, D. C. (2018). What counts in preschool number knowledge? A Bayes factor analytic approach toward theoretical model development. *Journal of Experimental Child Psychology*, 166, 116-133. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2017.07.016>
- Noël, M.-P. (2005). Finger gnosis: a predictor of numerical abilities in children? *Child Neuropsychology: A Journal on Normal and Abnormal Development in Childhood and Adolescence*, 11(5), 413-430. <https://doi.org/10.1080/09297040590951550>
- Nys, J., Ventura, P., Fernandes, T., Querido, L., Leybaert, J., & Content, A. (s. d.). Does math education modify the approximate number system? A comparison of schooled and unschooled adults. *Trends in Neuroscience and Education*, 2(1), 13-22.
- Piazza, M., & Izard, V. (2009). How humans count: numerosity and the parietal cortex. *The Neuroscientist: A Review Journal Bringing Neurobiology, Neurology and Psychiatry*, 15(3), 261-273. <https://doi.org/10.1177/1073858409333073>
- Pivert, M., & Mejias, S. (2018). Évaluation des compétences numériques chez des enfants déficients auditifs du CP au CM2. Le cas des enfants en inclusion collective ou en école spécialisée.
- Rodríguez-Santos, J. M., Calleja, M., García-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), 34-44. <https://doi.org/10.1353/aad.2014.0015>

- 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*(3), 361-395.  
<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.01.005>
- Roux, M.-O. (2014). Surdité et difficultés d'apprentissage en mathématiques, état des lieux et probl matiques actuelles, Deaf students and mathematical learning difficulties: Review and questions. *Bulletin de psychologie*, *Num ro 532*(4), 295-307.
- Rubinsten, O., & Henik, A. (2005). Automatic Activation of Internal Magnitudes: A Study of Developmental Dyscalculia. *Neuropsychology*, *19*(5), 641-648.  
<https://doi.org/10.1037/0894-4105.19.5.641>
- Siegler, R. S., & Booth, J. L. (2004). Development of Numerical Estimation in Young Children. *Child Development*, *75*(2), 428-444. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2004.00684.x>
- Smets, K., Sasanguie, D., Sz cs, D., & Reynvoet, B. (2015). The effect of different methods to construct non-symbolic stimuli in numerosity estimation and comparison. *Journal of Cognitive Psychology*, *27*(3), 310-325.  
<https://doi.org/10.1080/20445911.2014.996568>
- Van Nieuwenhoven, C., Grégoire, J., & No l, M. P. (2008). *TEDI-MATH: Test diagnostique des compétences de base en mathématiques*. les  d. du Centre de psychologie appliquée.
- Wechsler, D. (2004). *WISC-IV:  chelle d'intelligence de Wechsler pour enfants*. PsychCorp.
- Wilson, J. T., Scott, J. H., & Power, K. G. (1987). Developmental differences in the span of visual memory for pattern. *British Journal of Developmental Psychology*, *5*(3), 249-255.
- Wood, H. A., Wood, D. J., Kingsmill, M. C., French, J. R. W., & Howarth, S. P. (1984). The Mathematical Achievements of Deaf Children from Different Educational Environments. *British Journal of Educational Psychology*, *54*(3), 254-264.  
<https://doi.org/10.1111/j.2044-8279.1984.tb02589.x>
- Zarfaty, Y., Nunes, T., & Bryant, P. (2004). The Performance of Young Deaf Children in Spatial and Temporal Number Tasks. *The Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, *9*(3), 315-326. <https://doi.org/10.1093/deafed/enh034>

# Liste des annexes

**Annexe n°1 : Courrier à destination des parents**

**Annexe n°2 : Courrier type à destination des orthophonistes et des structures**

**Annexe n°3 : Tableau récapitulatif des données en lien avec la surdité**