

Université de Nantes

Unité de Formation et de Recherche – « Médecine et Techniques Médicales »

Année Universitaire 2014/2015

Mémoire pour l'obtention du Diplôme de Capacité d'Orthophoniste

Présenté par

Sandrine GRELLIER (née le 09/05/1991)

Louise MORINEAU (née le 04/11/1992)

**Habilités numériques de base (subitizing et estimation)
chez de jeunes enfants sourds âgés de quatre ans à six ans
et demi**

Présidente du Jury : Mme LE RAY Anne, Orthophoniste

Directrice du Mémoire : Mme FIOLEAU Lydie, Orthophoniste

Membre du Jury : Mme FEUVRAY Claire, Orthophoniste

“Par délibération du Conseil en date du 7 Mars 1962, la Faculté a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu’elle n’entend leur donner aucune approbation ni improbation”.

REMERCIEMENTS

Nous remercions infiniment Lydie Fioleau pour l'enthousiasme qu'elle a porté dès le début envers notre recherche, pour ses conseils, pour sa disponibilité et ses encouragements.

Nous tenons également à remercier Claire Feuvray pour son accompagnement, son aide et ses remarques.

Merci à Anne Le Ray d'avoir accepté de suivre notre travail.

Un grand merci à Anne Lafay qui a contribué à l'élaboration de ce mémoire. Nous la remercions énormément pour son aide précieuse, sa réflexion, ses idées, sa pédagogie. Merci à elle d'avoir consacré du temps à notre étude et de nous avoir guidées afin de mener à bien cette recherche.

Nous désirons également remercier les écoles maternelle et primaire du Fougan de Mer et l'école Célestin Freinet à Bouguenais, les enseignantes et les directeurs qui nous ont accueillies. Merci également à l'APAJH et la Persagotière de Nantes, le centre Charlotte Blouin d'Angers et le SSEFIS de La Roche-sur-Yon. Nous remercions particulièrement les orthophonistes Claire Feuvray, Muriel Romans, Pascale Poulain, Ingrid Veron, Elodie Lacore, Christine de Rancourt, Marie Wirth, Evelyne Paquereau et Corine Jouaud, pour leur accueil.

Un immense merci à tous les enfants pour leur participation à notre étude et leur enthousiasme, et merci à leurs parents pour nous avoir autorisées à les rencontrer, pour leur disponibilité, leur confiance et leur intérêt porté à cette recherche.

Merci à toi Louise, pour ta bonne humeur, ton efficacité et ta confiance.

Merci à toi Sandrine, pour tes idées, ta complémentarité, ton soutien.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....	2
INTRODUCTION	5
Partie théorique	7
I. LA COGNITION NUMERIQUE.....	8
I.1. Compétences numériques chez l’animal	8
I.2. Le bébé et les mathématiques	11
I.3. Apports de la cognition numérique.....	14
II. LES PROCESSUS DE QUANTIFICATION	16
II.1. Le dénombrement.....	16
II.2. Le processus de subitizing.....	17
II.3. Le processus d’estimation.....	24
II.4. Importance des processus de quantification sur le développement de la cognition numérique	28
III. SURDITE ET HABILETES MATHEMATIQUES	32
III.1. Généralités sur la surdité	32
III.2. Troubles mathématiques chez les enfants sourds	33
III.3. Facteurs explicatifs	35
Problématique et hypothèses	40
I. PROBLEMATIQUE	41
II. HYPOTHESES	42
II.1. Hypothèse Générale	42
II.2. Hypothèses opérationnelles	43
Méthodologie	45
I. POPULATION	46
I.1. Population d'enfants normo-entendants	46
I.2. Population d'enfants atteints de surdité	47
II. PROCEDURE	48
II.1. Généralités	48
II.2. Évaluation cognitive.....	49
II.3. Tâches expérimentales	53
Résultats et analyse	59
I. INTRODUCTION	60

II. AGE	60
III.EPREUVES COGNITIVES.....	62
III.1. Complétion des formes de la BREV	62
III.2. Langage	64
III.3. Chaîne numérique	66
III.4. Cubes de Corsi	69
IV.TACHES EXPERIMENTALES.....	71
IV.1. Tâche verbale d'identification.....	71
IV.2. Tâche non-verbale de comparaison	80
V. ANALYSE DESCRIPTIVE DES EPREUVES EXPERIMENTALES	88
V.1. Tâche d'identification	89
V.2. Tâche de comparaison.....	93
Discussion.....	95
I. INTERPRETATION DES RESULTATS	96
I.1. Introduction	96
I.2. Discussion de la première hypothèse.....	96
I.3 Discussion de la deuxième hypothèse.....	97
I.4. Discussion de la troisième hypothèse	98
I.5. Discussion de la quatrième hypothèse.....	99
II. LIMITES DE L'EXPERIMENTATION.....	100
II.1. Limites de la population.....	100
II.2.Limites du protocole expérimental	102
III. APPORTS DE L'ETUDE POUR LA RECHERCHE ET LA PRATIQUE ORTHOPHONIQUE.....	106
IV. PERSPECTIVES DE RECHERCHE.....	108
CONCLUSION	110
BIBLIOGRAPHIE.....	112
ANNEXES	121
TABLE DES ANNEXES	136
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	137
RESUME.....	140

INTRODUCTION

La surdité est un domaine qui suscite de nombreuses réflexions. Par des améliorations techniques, la médecine a permis des progrès considérables, mais elle a également engendré de nouvelles interrogations. De ce fait, tous les professionnels intervenant auprès de l'enfant atteint de surdité, tels que les orthophonistes, tentent de trouver des solutions adaptées pour l'aider à se développer et à s'épanouir.

En règle générale, la rééducation orthophonique lors d'un handicap sensoriel auditif est souvent directement associée à l'éducation auditive, la rééducation du langage et de la communication. Pourtant, actuellement, la cognition numérique prend une part de plus en plus importante dans les champs d'investigation orthophonique, toutes pathologies confondues. En effet, les troubles de la compréhension et du raisonnement, notamment le raisonnement mathématique, font maintenant partie intégrante des rééducations orthophoniques. La cognition numérique, dans sa compréhension des mécanismes numériques chez l'Homme, prend donc tout son sens au sein de l'orthophonie. Or, dans le cadre d'une déficience auditive, la prise en charge est surtout focalisée sur le langage, aux dépens des autres fonctions cognitives. Il est vrai que le développement du langage est, dans ce cas, un des points les plus essentiels. Néanmoins, dans le but de se préoccuper du développement de l'enfant dans sa globalité, il est important de s'intéresser également à l'approfondissement de ses connaissances numériques.

D'ailleurs, il est à souligner que les habiletés numériques de base peuvent être à l'origine de difficultés mathématiques ultérieures (Barouillet & Camos, 2006). Effectivement, certaines études révèlent que ces compétences numériques précoces sont importantes voire nécessaires à l'élaboration de concepts mathématiques futurs. Du reste, il est admis qu'à partir d'un certain âge, les individus atteints de surdité témoignent de difficultés particulières dans le domaine des mathématiques. Il paraît ainsi fondamental de s'intéresser de plus près aux habiletés numériques de base pour tenter de confirmer ou d'infirmer l'existence d'un lien avec ces compétences futures.

De plus, les processus de quantification, que sont le subitizing et l'estimation, dépendent de représentations analogiques innées (Dehaene, 2003). Toutefois, malgré leur

caractère inné, certains chercheurs se sont interrogés sur le lien susceptible d'exister entre le langage et ces habiletés numériques de base. De ce fait, des études ont été effectuées en comparant des groupes contrôles d'enfants tout-venant avec plusieurs groupes d'enfants présentant un développement langagier altéré. Outre la dysphasie, certaines études se sont également penchées sur la surdité puisque celle-ci impacte directement le langage des enfants. Mais, ces recherches portent exclusivement sur des populations adolescentes ou adultes. Comme en témoigne Roux (2014), si leurs analyses ne révèlent pas de décalage significatif entre la population sourde et la population normo-entendante, aucune conclusion ne peut être tirée quant aux performances des jeunes enfants sourds au niveau des habiletés numériques précoces. En réalité, cette absence de différence à l'âge adulte peut être expliquée par l'existence d'un décalage chez les petits, compensé au fil du temps, ou l'absence totale de différence au préalable.

En somme, cette présente étude a pour intention d'explorer les habiletés numériques de base des enfants sourds de quatre ans à six ans et demi. L'objectif est d'évaluer si une différence de performances existe entre la population sourde et la population normo-entendante. Par ailleurs, cette recherche vise également à déterminer l'impact du langage sur l'innéité des processus de quantification.

Partie I :

Partie théorique

I. LA COGNITION NUMERIQUE

I.1. Compétences numériques chez l'animal

I. 1.1. L'animal et les mathématiques

Depuis toujours, le système de sélection naturelle a influencé les comportements des organismes vivants (Dehaene, 2003). Leur survie a toujours dépendu de leur mode de prédation, notamment de leur recherche de nourriture. La compétition entre espèces se base, de ce fait, sur un mécanisme élémentaire de comparaison de quantités. En effet, n'importe quel ensemble de proies, dès lors qu'il est plus important qu'un autre, est sujet à la préférence du chasseur.

Les premières hypothèses concernant l'intelligence animale proviennent de maître Wilhem Von Osten (1904, cité par Samhita et Gross, 2013), persuadé des habiletés arithmétiques de son cheval Hans. Cependant, il a été démontré que l'animal se servait en réalité des signes inconscients émanant de son environnement qui lui permettaient de répondre correctement aux problèmes posés. Depuis, d'autres chercheurs, tels que Mechner, Platt et Jonhson (1958, 1972, cités par Dehaene, 2003), ont élaboré des protocoles plus pertinents. Des rats, enfermés dans des cages, ont dû appuyer autant de fois que nécessaire sur un levier. Cette expérience a démontré les capacités d'estimation approximative des nombres de cette espèce animale.

Meck et Church (1983) ont montré, de plus, que l'animal tenait autant compte du nombre d'éléments que de leur durée, en faisant varier des stimuli auditifs dans ces deux conditions. Ils révèlent d'ailleurs que la représentation du nombre chez le rat n'est pas affectée par la modalité d'entrée du stimulus. Woodruff et Premack (1981, cités par Dehaene, 2003) renforcent cette idée d'abstraction du nombre chez l'animal grâce à la réalisation d'additions simples de fractions par un chimpanzé. Les résultats ne sont pas toujours exacts mais ils témoignent d'une connaissance intuitive du nombre chez cet animal.

I.1.2. Notion de l'accumulateur

Pour tenter d'expliquer le fonctionnement du cerveau animal en ce qui concerne la représentation du nombre, Dehaene (2003) propose le modèle de l'accumulateur. Il utilise ainsi l'image d'un récipient d'eau par l'intermédiaire duquel le nombre est représenté par la quantité d'eau. Cet exemple souligne le fait que l'animal conçoit des collections d'éléments discontinus comme un ensemble continu. La représentation du nombre qui en découle est donc approximative. Il est d'ailleurs préférable de parler de sensibilité à la numérosité plutôt que d'une réelle représentation du nombre, étant donné que l'animal ne possède pas une conception exacte du nombre.

Malgré cette imprécision, Matsuzawa (1985) prouve tout de même qu'il est possible pour son chimpanzé Ai d'apprendre un système symbolique comme modalité de réponse. Ce système ne se résume pas en une simple automatisation de réponse par apprentissage car le chimpanzé peut créer de nouvelles combinaisons de symboles lors de situations inédites. En outre, Dehaene (2003) évoque une expérience de Boysen qui démontre la capacité de son chimpanzé Sheba à comprendre la symbolisation numérique arabe. Cet animal était capable de comparer deux chiffres, d'attribuer un chiffre à une collection et de choisir la plus grande voire la plus petite des deux collections. Il pouvait également additionner deux chiffres et donner le total. Vauclair (2000) suggère de ce fait l'existence de capacités proto-arithmétiques par la maîtrise de la correspondance entre objets et nombres.

I.1.3. Compétences de l'animal

Les animaux sont donc tout à fait capables de discriminer des quantités et d'estimer la taille de collections. Leur fonctionnement, comme expliqué précédemment, s'apparente à une assimilation perceptive des quantités. Leurs possibilités quant à l'arithmétique se résument alors à la discrimination de quantités, démontrée par Savage, Savage-Rumbaugh et Hegel (1984, cités par Camos, 2011) et à l'estimation de collections. Ces chercheurs ont testé des chimpanzés par la présentation de pastilles en chocolat. Les animaux ont alors été capables de choisir le tas comportant le plus de pastilles. Néanmoins, ils sont restés sensibles à la quantité d'éléments, limitée à cinq, leur disparité et le ratio entre les deux collections. Camos (2011) évoque d'ailleurs l'expérience du perroquet Alex qui estimait correctement jusqu'à cinq le

nombre d'objets d'un ensemble. Cet animal était également apte à distinguer des sous-ensembles d'objets en faisant appel à des classifications, selon le critère couleur par exemple.

Toutefois, la question de l'entraînement en laboratoire se pose par rapport aux réelles capacités arithmétiques de l'animal. Mais, une étude s'intéressant aux oiseaux sauvages réfute ce problème en prouvant que des oiseaux en milieu naturel choisissent spontanément la plus grande quantité de nourriture (Camos, 2011). Par conséquent, bon nombre d'auteurs se rejoignent sur l'idée d'innéité des représentations analogiques (Lafay, Macoir & Saint-Pierre, 2013), Dehaene (2003) mentionne même un « sixième sens numérique ».

I.1.4. Limites de l'animal

Néanmoins, même si les animaux possèdent indubitablement des capacités « proto-arithmétiques » analogiques, celles-ci restent limitées. Tout d'abord, la covariation des caractéristiques physiques en jeu pose problème. En effet, la numérosité varie en fonction d'autres critères tels que la luminance ou le volume spatial occupé par les éléments (Camos, 2011).

Ensuite, les compétences en comparaison de quantités, mises en évidence par certaines études, ne concernent que les petites quantités. L'estimation du nombre d'éléments ne dépasse pas en général la quantité cinq. Au-delà, le taux d'erreur est trop élevé pour être négligeable. De plus, la symbolisation n'est accessible partiellement que pour un nombre réduit d'espèces animales, comme les chimpanzés. Leur niveau d'abstraction des numérosités dépend de l'usage qu'ils font de l'accumulateur. L'arithmétique chez l'animal se restreint donc principalement à la représentation analogique et n'atteint pas l'exactitude du calcul.

De ce fait, certaines habiletés arithmétiques sont présentes chez toutes les espèces, mais l'espèce humaine se distingue par son pouvoir d'abstraction. L'Homme a recours au mécanisme cérébral produisant le langage et ainsi peut construire divers systèmes symboliques, notamment le langage mathématique.

I.2. Le bébé et les mathématiques

I.2.1 Avancées dans les recherches

Les premières études menées sur les habiletés numériques des bébés datent seulement des années 1980. Auparavant, les chercheurs se cantonnaient aux concepts piagétiens prônant une apparition tardive des représentations du nombre.

Dès lors, de nouvelles techniques ont été mises en place, jouant un rôle décisif sur la compréhension du développement numérique chez le jeune enfant. Starkey et Cooper (1980) font partie des premiers chercheurs à utiliser un paradigme d'habituation / déshabituaiton. Cette méthode s'appuie sur le temps de regard du bébé dirigé vers des collections d'objets qui lui sont présentées. Ils ont alors découvert que les bébés de cinq mois pouvaient différencier un ensemble de deux objets d'un ensemble de trois. Antell et Keating (1983) arrivent d'ailleurs aux mêmes conclusions avec des bébés de un à trois jours.

Ces observations rejoignent celles des capacités numériques des animaux, convergeant vers l'idée de mécanismes numériques primaires hérités du monde animal (Dehaene, 2003). L'absence d'influence des modalités d'entrée, visuelle ou auditive, visible chez les bébés et observée précédemment chez les animaux, se dirige également dans ce sens. Qui plus est, Dehaene (2003) souligne les compétences d'abstraction des bébés qui préfèrent une présentation d'un certain nombre d'objets associée au même nombre de sons entendus. Malgré les variations de quantités dans l'une des modalités, le bébé de six à huit mois est capable de discerner la correspondance entre les deux présentations. Il démontre ainsi sa capacité à décomposer les sons qu'il entend en les associant aux perceptions visuelles. Il témoigne d'une sensibilité centrée plus sur le nombre que sur les caractéristiques physiques (Starkey, Spelke & Gelman, 1983, cités par Fischer, 2005). Brannon et Jordan (2006) rejoignent d'ailleurs cette idée de perception multi-sensorielle de la numérosité en montrant que les nourrissons de sept mois associent le nombre de voix qu'ils entendent au nombre de visages qu'ils voient.

Concernant la comparaison de quantités, la réussite de l'enfant dépend du ratio entre les deux collections. Les enfants de trois à cinq ans réussissent mieux à discriminer deux quantités quand leur ratio est d'un demi plutôt que de deux tiers (Camos, 2011). Ce ratio tend

à diminuer avec l'âge. Quant aux opérations simples, les enfants peuvent se prêter, dès six mois, à des additions ou des soustractions simples.

I.2.2. Capacités des bébés

A ce jour, l'existence de capacités numériques chez le bébé est indiscutable. En effet, différentes études montrent tout d'abord que le jeune enfant est capable de discerner visuellement qu'une collection d'un élément diffère d'une collection de deux éléments, et qu'une collection de deux éléments diffère d'une collection de trois éléments (Feigenson, Dehaene & Spelke, 2004). Qui plus est, Starkey, Spelke et Gelman (1990, cités par Fischer, 2005) suggèrent que le caractère hétérogène des collections présentées à l'enfant de six à neuf mois n'influence pas ses compétences discriminatoires. Ils appuient ainsi l'hypothèse d'une réelle sensibilité à la numérosité. Canfield et Smith (1996, cités par Fischer, 2005) mentionnent que l'enfant présente cette sensibilité même dans des tâches séquentielles. L'enfant a donc accès à la perception d'une régularité numérique que ce soit dans des tâches simultanées ou séquentielles. Cette perception illustre la prévalence de la sensibilité à la numérosité sur les critères physiques, concrets. A ces compétences s'ajoutent la correspondance numérique intermodale évoquée précédemment, ainsi que la possibilité de détecter les aberrations additives ou soustractives.

En revanche, Xu (2003) souligne les différences de compétences du bébé entre les collections inférieures à quatre éléments, et les collections supérieures. Elles renvoient alors à deux systèmes distincts d'habiletés numériques. Le premier système correspond à la représentation précise de petites quantités, modélisé en « fichiers d'objets » par Kahneman, Treisman et Gibbs (1992). Cette représentation nécessite seulement une correspondance terme à terme, en dépit du concept de cardinalité (Camos, 2011). Le bébé s'appuie sur des processus attentionnels ainsi que sur les critères spatio-temporels des éléments de la collection. Le second système concerne, lui, les grandes collections. Il se réfère au modèle de l'accumulateur, au sein de la recherche animale, en tant que système approximatif.

I.2.3. Influence du langage

De ce fait, les bébés présentent des habiletés numériques bien avant de savoir compter, avant même l'apparition du langage. Les représentations analogiques chez le bébé proviennent, entre autres, des représentations matérielles issues de son environnement (Gaillard & Willadino-Braga, 2005). Les objets qui l'entourent vont contribuer à la construction de sa représentation du nombre.

De plus, Wynn (1992, cité par Fayol, Camos & Roussel, 2000) signale la capacité précoce de l'enfant à distinguer les mots « un », « deux », et « trois » des autres mots. L'apparition du langage va permettre ensuite un codage formel de la numérosité. Les premiers noms de nombre apparaissent dès deux ans chez l'enfant. Puis, vers trois ou quatre ans, le subitizing, processus permettant de déterminer de manière rapide et précise le nombre d'éléments de petites collections, s'ajoute aux stratégies de comptage. L'ensemble de ces capacités, complété par l'apparition des symboles numériques, contribue à l'acquisition du concept de cardinalité.

Enfin, grâce à l'évolution du langage, au développement de la chaîne numérique verbale et du dénombrement, les deux systèmes précis et approximatif évoqués précédemment vont se combiner (Camos, 2011). Ainsi, la représentation cardinale de la numérosité, issue des mécanismes « innés », se lie à la représentation ordinale du nombre permise par le dénombrement, afin de générer le concept de nombre naturel. Cette notion est la base de toute compétence arithmétique.

I.2.4. Différents points de vue

La psychologie du développement de l'enfant a d'abord été dominée par le courant de pensée constructiviste, développé par Piaget. Il prône le fait que le bébé construit ses connaissances, inexistantes à la naissance, grâce à l'interaction avec son environnement. Pour lui, l'enfant ne possède pas de compétences numériques précoces et le concept de nombre se construit à long terme. Il appuie ses propos par la non-permanence de l'objet (Dehaene, 2003) : si l'enfant ne saisit pas l'invariance des objets, l'accès à leur nombre est alors impossible. Selon Piaget, l'enfant ne peut être prêt à comprendre le concept de nombre avant l'âge de six ou sept ans.

Mais, à partir des années 1980, cette conception est remise en cause. En effet, des recherches montrent que même si les compétences numériques s'approfondissent tout au long du développement de l'enfant, celui-ci n'est pas néanmoins, dépourvu de capacités à la naissance. Des études ont réfuté, d'une part, l'argument de non-permanence de l'objet en expliquant que les bébés acquéraient ce concept précocement, mais ne pouvaient le prouver par un engagement sur le plan moteur. D'autre part, des erreurs de méthodologie ont été mises en évidence concernant les conditions de passation ou l'interaction entre expérimentateur et expérimenté. Ainsi, les manques au niveau de la théorie piagétienne ont amené les chercheurs à explorer le domaine de la psychologie du développement de l'enfant par d'autres biais.

I.3. Apports de la cognition numérique

I.3.1. Apports de l'imagerie

Au-delà des avancées dans le domaine de la psychologie, les progrès dans l'imagerie cérébrale ont été essentiels dans la compréhension des mécanismes numériques chez l'Homme. L'imagerie a permis effectivement d'impliquer le cortex intra-pariétal dans les processus cérébraux numériques (Habib, 2011), notamment le sillon intra-pariétal et sa partie horizontale. Simon, Mangin, Cohen, Le Bihan et Dehaene (2002, cités par Habib, 2011) distinguent trois systèmes. Le segment horizontal du sillon intra-pariétal est impliqué dans toutes les tâches numériques. Le gyrus angulaire gauche permet, lui, le codage verbal des éléments numériques. Il est d'ailleurs activé dans d'autres tâches verbales non arithmétiques. Enfin, la région pariétale supéropostérieure bilatérale est impliquée, entre autres, dans les tâches attentionnelles visuo-spatiales.

Les études chez l'homme ont montré notamment la mise en activité du segment horizontal du sillon intra-pariétal lorsque l'individu est en situation de comparaison de quantités (Feigenson & al., 2004). Pinel, Dehaene, Riviere et Le Bihan (2001, cités par Habib, 2011) ajoutent que l'activation de cette portion cérébrale est d'autant plus effective que la distance entre deux nombres à comparer est faible. La représentation analogique fait donc partie du patrimoine génétique humain et elle est accessible précocement chez tout individu.

I.3.2. Modèle du Triple Code

Pour rendre compte de l'ensemble des compétences propres à l'être humain, Dehaene et Cohen (2000) proposent le modèle Triple Code qui distingue trois systèmes de représentation numérique (Annexe 1).

Ce modèle postule notamment l'existence d'une région cérébrale responsable du codage analogique, permettant l'évaluation approximative de la numérosité par des comparaisons ou des calculs approximatifs. Ce premier système, analogique, est mis en évidence lors de l'estimation ou du subitizing, notions abordées ultérieurement. Il diffère des deux systèmes suivants car il n'est pas symbolique.

Le modèle Triple Code comprend également un système de représentation auditivo-verbale utilisé lors du comptage, ou lors de la récupération de faits arithmétiques enregistrés par associations verbales (Pesenti & Seron, 2000). Il permet ainsi le codage et le calcul précis.

Le dernier système correspond à la représentation visuelle arabe permettant la réalisation mentale de calculs et les jugements de parité (Lafay & al., 2013).

I.3.3. Représentations analogiques non symboliques

Les représentations numériques non symboliques peuvent être regroupées en deux systèmes distincts (Feigenson & al., 2004). Le Système Numérique Approximatif (SNA) se base sur des processus intuitifs et perceptifs permettant une représentation analogique des numérosités. Il est illustré par le processus d'estimation. L'individu, par le biais du SNA, peut alors comparer et estimer des collections. Ce système se précise avec l'âge (Lafay & al., 2013). Le Système Numérique Précis (SNP) est illustré, lui, par le subitizing, et s'appuie seulement sur le traitement de petites quantités, de un à plus ou moins quatre. Ce système permet une représentation numérique rapide, qui l'est d'autant plus selon l'âge de l'individu.

II. LES PROCESSUS DE QUANTIFICATION

Pour déterminer le nombre d'éléments constituant une collection, trois processus de quantification peuvent être activés : le subitizing, le dénombrement et l'estimation globale (Dehaene, 2003). Si les deux premiers processus permettent une quantification exacte, l'estimation, elle, ne permet qu'une quantification approximative.

II.1. Le dénombrement

II.1.1. Définition

Le dénombrement permet une quantification précise, quelle que soit la taille des collections. Il se définit par la mise en correspondance terme à terme des éléments d'une collection avec les noms des nombres. Il met en jeu deux compétences de base qui doivent se coordonner : le pointage et l'énonciation de la chaîne numérique verbale.

II.1.2. Le développement du dénombrement

De nombreux chercheurs s'accordent sur l'existence très précoce d'une sensibilité aux quantités. Cependant, deux points de vue théoriques, développés dans les années 1980, s'opposent quant au développement du dénombrement.

II.1.2.1. La théorie des « principes en premier »

Gelman et Gallistel (1978) élaborent cinq principes innés et fondamentaux, nécessaires au comptage :

- *le principe de stricte-correspondance* : chaque nombre doit correspondre uniquement à un nombre et à un seul.

- *le principe d'ordre stable* : les nombres de la chaîne numérique doivent toujours être énoncés dans le même ordre.

- *le principe de cardinalité* : le cardinal de la collection correspond au dernier nombre énoncé.

- *le principe d'abstraction* : le cardinal d'une collection n'est pas affecté par le caractère hétérogène des éléments composant la collection.

- *le principe de non pertinence de l'ordre* : l'ordre de traitement des éléments n'est pas pertinent pour déterminer le cardinal d'une collection qui sera toujours identique, quel que soit l'ordre d'énumération.

II. 1.2.2. La théorie des « principes après »

Cette théorie, essentiellement développée par Fuson (1988, cité par Lecoindre, Lépine & Camos, 2005), considère que les principes du dénombrement ne sont pas innés mais acquis par la répétition d'expériences. Le dénombrement serait tout d'abord une activité sans but précis, une routine. Par la suite, grâce à la pratique, l'enfant établirait progressivement des liens et développerait les principes du dénombrement.

II.2. Le processus de subitizing

II.2.1. Définition

Le terme « subitizing » a été introduit par Kaufman, Lord, Reese & Volhmann en 1949. Il désigne le processus capable de définir de manière très rapide et exacte la numérosité de collections comportant peu d'éléments. Son existence a été mise en évidence à travers de nombreuses études. Les différentes expériences menées proposaient aux participants de déterminer le plus rapidement possible la numérosité de collections. La courbe des résultats obtenus (Annexe 2) montre une augmentation non significative des temps de réponses pour les petites quantités. Au-delà d'une certaine quantité, une augmentation brutale et linéaire des temps de réaction est observée. Ainsi, des processus de quantification différents seraient déployés en fonction du nombre d'objets constituant la collection : le subitizing pour les petites quantités et le dénombrement pour les quantités supérieures.

Clements (1999) distingue deux types de subitizing. Le premier, le subitizing perceptif, est un processus très précoce chez l'enfant. Se rapprochant de la définition classique du subitizing, il permet la reconnaissance immédiate d'un nombre sans s'aider d'un autre procédé mathématique comme le comptage. Le second, appelé subitizing conceptuel, permet

quant à lui la reconnaissance de patrons canoniques auditifs, kinesthésiques ou spatiaux, tels que les faces d'un dé ou celles d'un domino. Ce processus, plus tardif, se développerait au cours de la scolarité de l'enfant, grâce à l'expérience et à l'entraînement.

II.2.2. Etendue du subitizing

Selon les auteurs, l'étendue du subitizing varie de manière plus ou moins importante ; de un à trois selon Fayol, Perros et Serron (2004, cités par Lafay, Saint-Pierre et Macoir, 2013), de un à quatre selon Mandler et Shebo (1982) et de un à cinq selon Starkey et Cooper (1995). Pour Cowan (2001), l'étendue du subitizing dépendrait de la taille du focus attentionnel. En effet, lors d'une tâche de quantification, les adultes peuvent seulement appréhender de manière conjointe les éléments appartenant à la même focalisation attentionnelle. Ainsi, parallèlement à la taille du focus, l'étendue du subitizing augmente avec l'âge, jusqu'à atteindre la limite de quatre à l'âge adulte.

D'après Peterson & Simon (2000), la limite du subitizing comporte une variable inter-individuelle. Elle dépendrait de certaines caractéristiques propres à l'individu comme l'efficacité de la mémoire de travail ou les capacités attentionnelles, ainsi que du niveau de confiance accordé par l'individu à ce processus.

Enfin, l'étude menée par Wolter, Van Kempen et Wijhuizen (1987) révèle que, grâce à un entraînement suffisant, le subitizing peut être utilisé pour des collections beaucoup plus importantes. Pour eux, le subitizing ne dépendrait donc pas du nombre d'objets de la collection mais des connaissances stockées en mémoire à long terme.

II.2.3. Nature du processus : lien entre subitizing & dénombrement ?

La nature du subitizing reste, aujourd'hui encore, au cœur d'un vif débat théorique. Alors que certains auteurs affirment l'existence de deux processus distincts, le subitizing et le dénombrement, d'autres évoquent en revanche un seul processus mis en jeu.

II.2.3.1 Modèle de Gallistel et Gelman

Selon Gallistel et Gelman (1992), le subitizing ne serait pas un processus de quantification distinct des autres processus mais seulement un dénombrement très rapide. L'analyse des résultats de leur étude a permis de mettre en évidence que, pour les quantités de une à quatre, les temps de réponses n'étaient pas constants mais augmentaient faiblement. Cette analyse constitue pour eux la preuve de processus non différenciés. Face à une collection à quantifier, l'individu dirigerait successivement son attention vers les éléments. Il utiliserait systématiquement le processus de dénombrement dont l'efficacité diminue avec l'augmentation du nombre d'objets de la collection. Ainsi, il n'existerait pas de réelle rupture entre le subitizing et le dénombrement.

II.2.3.2. Modèle de Trick et Pylyshyn : les FINSTs

D'après Trick et Pylyshyn (1993, 1994, cités par Lecointre & al, 2005), les processus de subitizing et de dénombrement dépendraient de la construction du système visuel humain. Pour traiter visuellement une scène, deux étapes se succèdent : l'étape parallèle ou pré-attentive et l'étape sérielle appelée aussi étape attentionnelle.

Lors de la première étape, dirigeant le subitizing, des marqueurs spatiaux appelés FINSTs (FINgers of InSTanciation) s'associent chacun, de manière automatique, à un objet de la collection et codent ainsi leur localisation spatiale. Pour ces petites quantités, l'individu, sans diriger son attention sur les objets, a besoin uniquement de rapporter le nombre de FINSTs activés. Si le nombre d'objets présentés dépasse le nombre de FINSTs maximum, s'élevant à quatre chez l'adulte, le subitizing ne peut plus être utilisé. L'étape attentionnelle est alors activée et l'individu utilise le dénombrement pour déterminer la numérosité de la collection. Lors de cette étape, des routines visuelles interviennent en déplaçant le focus attentionnel sur les différents éléments qui s'additionnent progressivement.

II.2.3.3. Modèle de Mandler et Shebo

Mandler et Shebo (1982) proposent un modèle permettant d'expliquer la limite du subitizing fixée à quatre. Leur modèle repose sur la reconnaissance de patrons perceptifs,

appelés aussi configurations canoniques, encodés en mémoire. Les arrangements spatiaux des petites quantités, de un à quatre, varient peu et forment des configurations canoniques facilement reconnaissables, permettant ainsi une reconnaissance immédiate des quantités. Quelle que soit la nature des objets de la collection, la quantité une ne peut être représentée que par un point, la quantité deux par une ligne, la quantité trois par un triangle et la quantité quatre par un quadrilatère. Au-delà de quatre, le nombre de patrons perceptifs possibles augmentant avec la numérosité, la reconnaissance des quantités devient plus difficile, ce qui expliquerait l'accroissement des temps de réponse. La reconnaissance immédiate des quantités n'est alors plus possible à l'exception des configurations spatiales familières comme les faces d'un dé.

En revanche, dans leur étude, Simon et Cabrera (1995) ont présenté aux participants des objets de façon linéaire. Les résultats montrent qu'en l'absence de configurations spatiales canoniques, le subitizing est tout de même utilisé. Le modèle proposé par Mandler et Shebo est donc limité car il ne permet pas d'expliquer ce phénomène.

II.2.3.4. Modèle de Peterson et Simon

Selon Peterson et Simon (2000), le subitizing correspondrait à une procédure de reconnaissance de configurations spatiales. Lorsqu'une configuration spatiale est rencontrée pour la première fois, l'individu utilise le dénombrement afin de déterminer le nombre d'éléments qui la constitue pour qu'elle puisse être stockée en mémoire. Par la suite, chaque nouvelle présentation de cette configuration renforce sa trace mnésique. Lorsque la configuration devient familière, c'est-à-dire quand la trace mnésique est suffisamment forte, la récupération en mémoire est immédiate. La réponse est donc rapide et fiable, le sujet utilise alors le processus de subitizing. En accord avec Mandler et Shebo (1982), ils affirment que pour les collections constituées de un à quatre objets, peu de configurations spatiales sont possibles. Chacune d'elle serait rencontrée suffisamment pour qu'elle devienne familière et pour que le subitizing soit possible. Ainsi, cette étude suggère que la limite du subitizing serait dépendante du système cognitif humain.

II.2.3.5. L'apport de l'imagerie cérébrale

Le développement de l'imagerie cérébrale a permis d'apporter un nouvel éclairage dans le domaine de la cognition numérique, notamment sur la nature des processus de quantification et leur fonctionnement.

Dehaene et Cohen (1994) ont étudié les processus de quantification chez des patients simultanés, c'est-à-dire présentant une incapacité à visualiser une scène de manière globale. Les résultats de leur étude montrent que ces patients n'éprouvent aucune difficulté à utiliser le subitizing alors que leurs capacités à dénombrer sont altérées.

Une étude de Pasini et Tessari (2001) s'est intéressée à l'activité cérébrale impliquée dans diverses tâches de quantification. Celle-ci a ainsi mis en évidence une spécificité des différents processus de quantification. Ainsi, l'hémisphère cérébral gauche, permettant un traitement analytique de l'information, serait activé lors du dénombrement. A l'inverse, l'hémisphère cérébral droit, préférant un traitement global, serait utilisé uniquement pour traiter les petites quantités et correspondrait donc au subitizing.

Enfin, l'étude de Piazza, Giacomini, Le Bihan et Dehaene (2003) s'appuie également sur l'imagerie cérébrale. Au moment de l'accroissement brusque des temps de réponse au-delà de trois ou quatre objets, l'activité cérébrale se modifie. L'imagerie cérébrale détecte une amplification de celle-ci dans plusieurs régions du cerveau liées au comptage verbal. Elle révèle qu'à partir de ce moment, l'individu utiliserait une autre stratégie pour déterminer le nombre d'éléments de la collection : le dénombrement.

Ces différentes études, s'appuyant sur l'imagerie cérébrale, constituent un argument en faveur des modèles prônant l'existence de deux processus distincts.

II.2.4. Le développement du subitizing

Les différents modèles présentés dans la partie précédente tentent d'expliquer le fonctionnement du processus de subitizing chez l'adulte. Chez l'enfant, peu d'études ont été réalisées jusqu'à présent sur le sujet et aucun consensus n'a pu être trouvé.

Selon Chi et Klahr (1975), les enfants utilisent, dès l'âge de six ans, les processus de quantification de la même manière que les adultes. Ainsi, le subitizing est activé pour les petites collections et le dénombrement pour les quantités supérieures. Cependant, les enfants sont moins rapides que les adultes. Effectivement, lors d'une tâche de quantification, le temps de réponse moyen d'un adulte est de 600 ms alors qu'il est de 1150 ms pour un enfant âgé de six ans pour des petites collections.

Le subitizing, bien qu'inné, s'inscrit donc dans un processus évolutif. Son développement se manifeste principalement par une diminution des temps de réponse. L'étude transversale de Schleifer et Landerl (2011) révèle que les enfants âgés de huit ans sont moins rapides que les enfants âgés de 11 ans qui ont, eux, des capacités équivalentes à celles des adultes. Ces résultats suggèrent donc que les performances en subitizing augmenteraient avec l'âge jusqu'à atteindre un certain niveau d'efficacité à l'adolescence.

II.2.5. Les facteurs pouvant influencer le subitizing

Bien que le subitizing soit un processus inné, différents facteurs peuvent contraindre son efficacité et même rendre impossible son application lors d'une tâche de quantification.

II.2.5.1. Les capacités attentionnelles de l'individu

Camos, Lépine et Barouillet (2003) ont cherché à rendre compte de l'existence d'un lien éventuel entre les capacités attentionnelles évaluées par les empan en mémoire de travail et les performances des individus sur des tâches de quantification. Ils ont démontré que les adultes disposant de bonnes capacités attentionnelles étaient plus rapides pour le subitizing que ceux possédant de faibles capacités. Cependant, aucune différence n'a pu être établie concernant l'étendue du subitizing. En effet, celle-ci était identique, quelles que soient les capacités attentionnelles des individus.

Par la suite, Lépine, Camos et Barouillet (2003) ont répliqué leur étude auprès d'enfants âgés de neuf ans. Cette étude montre des résultats similaires à ceux des adultes. En effet, les enfants avec de fortes capacités en mémoire de travail étaient plus performants que

les enfants ayant de faibles capacités. De plus, aucune influence des capacités attentionnelles sur l'étendue du subitizing n'a été retrouvée.

II.2.5.2. Les caractéristiques des collections

Selon Lépine et Camos (2004), les performances en subitizing peuvent être contraintes par certaines caractéristiques des collections. Tout d'abord, pour que ce processus soit opérant, les objets doivent être assez espacés et occuper dans l'espace des positions facilement identifiables. Alors que l'individu, face à des figures distinctes, activera facilement le processus de subitizing, il ne pourra plus le faire face à des figures concentriques telles que des cercles qui partagent un même centre.

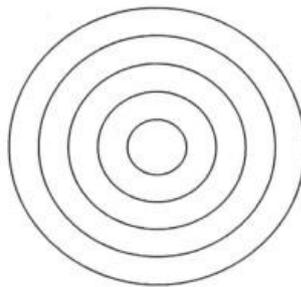


Figure 1: Exemple de figures concentriques

D'autres caractéristiques, comme la régularité, peuvent également influencer l'efficacité du subitizing. En effet, l'étude de Lépine, Barouillet et Camos (2003, cités par Lépine et Camos, 2004) révèle qu'avec des planches irrégulières de quelques points, les enfants utilisent le dénombrement et non le subitizing pour déterminer la numérosité de la collection alors qu'ils utilisent ce dernier pour des planches régulières. Chez les adultes, le subitizing est présent mais tout de même ralenti pour les planches irrégulières¹.

¹ Lépine, R. & Camos, V. (2004). Le développement de la quantification et ses contraintes, In E. Gentaz & P. Dessus, Comprendre les apprentissages : sciences cognitives et éducation. Paris ; Dunod.



Figure 2 : Collections de quatre points de disposition irrégulière (a) et régulière (b)

II.3. Le processus d'estimation

II.3.1. Définition

Selon Pesenti (2001), l'estimation globale est un processus mis en jeu dans deux types de situations. Lors d'une tâche de quantification, si le nombre d'éléments constituant la collection est trop important ou si l'individu dispose d'un temps insuffisant pour utiliser les stratégies de subitizing ou de dénombrement, l'estimation globale sera alors activée. Celle-ci permet à l'individu de donner une réponse rapide mais approximative des quantités, qu'elles soient symboliques ou non.

Ce processus d'estimation renvoie à une représentation mentale des quantités, assimilée à une ligne numérique mentale, compressée sur une échelle logarithmique. Ainsi, les nombres sont alignés mentalement sur une ligne où chaque position correspond à une quantité précise. Les petits nombres prennent plus de place que les grands nombres qui se retrouvent compressés sur la droite. De plus, l'estimation est soumise à la loi de Weber-Fechner ; son imprécision augmente de façon linéaire avec le nombre estimé. Cette loi se traduit par plusieurs effets, retrouvés lors de tâches de comparaison de collections de points (Dehaene, 2003) :

- **l'effet de taille** : à distance égale, deux nombres de petites tailles sont plus facilement traités que deux nombres de grandes tailles. La comparaison entre deux collections de deux et trois éléments sera plus aisée qu'une comparaison entre deux collections de huit et neuf éléments.

- **l'effet de distance** : lorsque la distance numérique entre deux quantités à comparer diminue, le temps de réaction pour effectuer la comparaison et le nombre d'erreurs augmentent. Ainsi, il sera plus facile de comparer des collections de trois et quatre éléments que des collections de huit et dix éléments.

- **l'effet de rapport** : il correspond à la synthèse de l'effet de distance et de l'effet de taille. Il tient compte à la fois de la taille des collections et de la distance numérique entre les quantités. Ainsi, plus le ratio entre deux quantités se rapproche de « un », plus il est difficile pour l'individu d'effectuer une discrimination entre ces deux numérosités. Comparer deux quantités avec un ratio de 1/4 sera plus facile que de comparer deux autres quantités avec un ratio 1/2.

- **l'effet SNARC** (Spatial Numerical Association of Responses Code) : cet effet atteste d'une association entre les représentations numériques et l'espace. La ligne numérique mentale est orientée de manière spatiale, les petites quantités se situant à gauche et les grandes quantités à droite. Cette orientation spatiale est culturellement déterminée. Ainsi, chez les sujets dont le sens de lecture s'effectue de la droite vers la gauche, l'effet SNARC est inversé par rapport aux sujets occidentaux.

II.3.2. Modèles explicatifs de l'estimation

II.3.2.1. Estimation et relation mathématique

Un modèle mathématique établissant une relation entre des quantités physiques a été proposé pour expliquer le processus d'estimation. Ainsi, le résultat de l'estimation approximative d'une quantité serait le produit de la densité des objets par l'aire visuelle. Selon Cuneo (1982), les sous-estimations fréquentes des enfants voire des adultes pourraient s'expliquer par l'application d'une règle erronée : la somme de la densité des objets et de l'aire visuelle.

D'après Dehaene (2003), les individus ont tendance à surestimer les nombres quand les objets sont répartis de manière régulière et à les sous-estimer lorsqu'ils sont distribués de façon irrégulière.

II.3.2.2. Le modèle de détection d'aires et de contours

Selon Van Oeffelen & Vos (1982 cités par Pesenti et Rousselle, 2005) la numérosité perçue par l'individu serait liée à l'aire totale occupée par les points et non à leur numérosité réelle. Ainsi, les points les plus proches se regroupent en agglomérats. La numérosité de la collection est ensuite déterminée par la surface définie par les contours de ces agglomérats.

II.3.2.3. Le modèle de la perception de la forme

Selon Frith (citée par Pesenti et Rousselle, 2005), l'estimation procéderait par extraction de formes. Certains points se regroupent par leur proximité spatiale et sont alors considérés comme de « meilleures » formes, dont la valeur numérique paraît plus importante. Cette interprétation permet d'expliquer l'effet du solitaire observé chez les individus : un ensemble unique de points semble en contenir plus que plusieurs petits ensembles de points séparés.

II.3.3. Développement du processus d'estimation

Chez l'enfant, peu d'études ont porté jusqu'à présent sur le processus d'estimation globale. L'une des raisons principales est que ce processus, activé principalement pour des collections de grandes numérosités, implique une bonne connaissance linguistique des nombres. Ainsi, les rares travaux effectués ont privilégié des tâches de comparaison d'ensembles de points. Ils permettent d'attester l'hypothèse que ce processus est effectif très tôt chez l'enfant. Celui-ci peut alors manipuler les quantités, qu'elles soient symboliques ou non. En effet, l'étude de Huntley-Fenner (2001), menée auprès d'enfants âgés de cinq à sept ans, montre qu'ils sont tout à fait capables de comparer des collections de points entre elles.

De plus, les différents effets identifiés au cours des travaux chez les adultes, en lien avec la loi de Weber-Fechner, sont retrouvés également dans plusieurs études réalisées chez les enfants. Tout d'abord, les résultats de l'étude transversale d'Halberda et Feigenson (2008), menée auprès d'enfants âgés de trois à six ans et d'adultes, ont permis de mettre en évidence une acuité de plus en plus fine de l'estimation au fil du développement. En effet, plus un enfant est âgé, plus il parvient à comparer des quantités dont le rapport est faible. Ainsi, alors que des enfants âgés de trois ans peuvent discriminer uniquement des quantités avec un ratio

de 2/3, les adultes, eux, peuvent comparer des quantités jusqu'à un ratio de 9/10. L'étude de Piazza et al. (2010), proposant une tâche de comparaison de points à des enfants en maternelle, des enfants de dix ans ainsi qu'à des adultes, vient confirmer ces résultats.

L'étude d'Holloway et Ansari (2009) renforce l'hypothèse de l'existence d'un processus d'estimation évolutif. Les auteurs ont observé que l'effet de distance entre deux quantités se manifestait déjà chez des enfants âgés de six à huit ans dans des tâches de comparaisons numériques et non numériques. Cependant, bien que ce processus soit présent, il est tout de même moins performant que celui des adultes ; il va évoluer au cours du développement de l'enfant pour devenir plus performant. L'étude réalisée par Halberda, Wilmer, Naiman et Germine (2012), auprès d'un grand nombre de participants via Internet, renforce cette idée. En effet, selon cette étude, les performances dans les tâches d'estimation s'améliorent graduellement pendant la période d'âge scolaire pour atteindre son niveau optimal vers 30 ans. Les auteurs notent tout de même de grandes différences inter-individuelles dans la précision de l'estimation, à l'âge adulte.

Enfin, l'étude de Temple et Posner (1998) révèle que face à une tâche de comparaison numérique de matériels symbolique et non symbolique, l'activité cérébrale d'enfants de cinq ans est identique à celle des adultes. Cependant, les temps de réaction neurologique enregistrés sont plus longs pour les enfants. Cette lenteur reflète un accès aux représentations numériques moins automatisé chez les enfants que chez les adultes.

Certains chercheurs ont utilisé un autre paradigme pour évaluer l'évolution du processus d'estimation : le placement de quantités sur une ligne numérique. Les différentes études révèlent que les enfants passent progressivement d'une organisation logarithmique à une organisation linéaire vers six ou sept ans pour les représentations numériques de 0 à 100 (Siegler & Booth, 2004). Le même phénomène est observé pour les représentations numériques jusqu'à 1000, mais plus tardivement, à partir de neuf ans. (Siegler & Opfer, 2003).

De plus, l'étude de Booth et Siegler (2006) montre que ce changement affecte également d'autres types d'estimation comme l'estimation de numérosité qui consiste à estimer le nombre d'objets d'une collection.

Ces différentes études s'accordent sur l'existence d'une représentation approximative des quantités chez les jeunes enfants qui va s'affiner au cours de leur développement. Ce processus, moins mature et précis que celui des adultes, leur permet, tout de même, de comparer des ensembles de points très tôt.

II.4. Importance des processus de quantification sur le développement de la cognition numérique

II.4.1. Le lien entre les processus de quantification et les habiletés mathématiques ultérieures

Selon Barrouillet et Camos (2006), les processus de quantification jouent un rôle fondamental dans l'acquisition future des autres habiletés numériques. De nombreuses études ont démontré le lien pouvant exister entre les compétences numériques de base et les performances ultérieures à des tests standardisés de mathématiques.

L'étude de Fischer, Gebhardt et Hartnegg (2008) révèle que les enfants présentant des difficultés dans les apprentissages mathématiques sont plus lents et moins précis dans des tâches de quantification de points, quel que soit leur âge. En accord avec ces résultats, l'étude de Gilmore, McCarthy et Spelke (2010) montre que les performances numériques non symboliques des enfants de maternelle sont prédictives de leurs habiletés mathématiques futures. Enfin, l'étude longitudinale de McMullen, Hannula-Sormunen et Lehtinen (2015), menée auprès d'enfants de six puis douze ans, révèle que l'intuition des nombres, chez les plus petits, impacte à l'adolescence le développement de la compréhension de notions plus élaborées comme les nombres rationnels.

D'autre part, Fischer, Köngeter et Hartnegg (2008) ont proposé à des enfants âgés de 7 à 13 ans, ayant des difficultés en mathématiques, un entraînement à domicile d'une tâche d'identification de points. Les résultats montrent une augmentation du nombre de réponses correctes ainsi qu'une diminution des temps de réponse. L'entraînement a donc permis, chez ces sujets, de rendre plus performants leurs processus de subitizing et d'estimation. Un impact positif sur d'autres capacités mathématiques a également été observé à la suite de cet

entraînement. Ainsi, cette étude constitue un argument en faveur d'un lien existant entre le système non symbolique des nombres et les habiletés mathématiques ultérieures.

La plupart des chercheurs reconnaissent le rôle fondamental joué par les représentations numériques non symboliques sur le développement des compétences arithmétiques. Cependant, des divergences sont repérées concernant l'impact respectif des deux systèmes de base.

II.4.2. Le rôle du Système Numérique Précis (SNP) dans le développement des capacités mathématiques

Pour certains auteurs, le SNP, dont dépend le subitizing, jouerait un rôle central dans le développement des concepts du nombre. Carey (2004) a développé le principe de « bootstrapping ». Selon elle, les enfants parviennent à reconnaître et à dénombrer les petites quantités qu'ils associent très vite à des mots nombres distincts. L'établissement de ce lien leur permet ainsi d'accéder à la compréhension du concept de cardinalité. Ils peuvent alors traiter de la même façon les grandes numérosités.

De plus, l'étude longitudinale de Desoete et Grégoire (2006) avait pour objectif de rechercher des facteurs prédictifs, en maternelle, des difficultés ultérieures en mathématiques. Les résultats montrent que les enfants témoignant de faibles performances dans les compétences pré-numériques, telles que le subitizing ou les structures logiques, à cinq ou six ans, présentent également des difficultés arithmétiques à six ou sept ans. Cependant, puisque l'étude n'a pas isolé chaque compétence pré-numérique, il est difficile de connaître le caractère prédictif du subitizing lui-même.

Des études menées auprès d'enfants dyscalculiques s'interrogent d'ailleurs sur la présence d'un déficit du SNP et d'un lien éventuel avec les difficultés rencontrées ultérieurement. D'après Desoete et Grégoire (2006), 33% des enfants âgés de huit ou neuf ans présenteraient un déficit des capacités de subitizing.

Schleifer et Landerl (2011) ont, quant à eux, proposé une tâche de quantification de collections de un à dix points à des sujets dyscalculiques. Les résultats de leur étude révèlent

la présence d'une augmentation plus rapide des temps de réponse pour le subitizing chez ces individus par rapport au groupe contrôle. En revanche, aucune différence n'est observée pour le dénombrement. Les capacités en subitizing seraient donc touchées chez les sujets dyscalculiques. L'hypothèse de l'utilisation d'une stratégie de secours comme le dénombrement a été formulée par les auteurs pour expliquer ces résultats.

D'une manière générale, les différentes études citées fournissent des arguments en faveur de l'existence d'un lien entre le subitizing et les habiletés mathématiques ultérieures. Cependant, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour déterminer la nature exacte de ce lien et du rôle précis joué par le SNP.

II.4.3. Le rôle du Système Numérique Approximatif (SNA) dans le développement des capacités mathématiques

La plupart des études actuelles suggèrent que le SNA serait prédictif des habiletés mathématiques ultérieures, bien plus que le SNP.

Tout d'abord, l'étude de Gilmore, McCarthy et Spelke (2007) prouve que le SNA fournit, très tôt, une intuition du nombre aux enfants, essentielle pour la compréhension des concepts mathématiques plus élaborés. Les auteurs ont proposé à des enfants de cinq et six ans n'ayant reçu aucun enseignement formel auparavant, des petits problèmes mathématiques à résoudre. Les résultats montrent un fort taux de réussite significatif. Ainsi, les enfants s'aideraient précocement de leurs représentations numériques non-symboliques pour aborder des tâches utilisant du matériel symbolique.

Halberda, Mazocco et Feigenson (2008) ont proposé à des enfants âgés de 14 ans, ayant au préalable participé à une étude longitudinale entre 5 et 11 ans, une tâche de comparaison d'ensembles de points. Les résultats mettent en évidence qu'il existe, d'une part, des différences individuelles importantes dans la précision du processus d'estimation. D'autre part, cette précision prédit le degré de réussite des enfants aux tests standardisés de mathématiques.

De plus, l'étude transversale de Mazocco, Feigenson et Halberda (2011) révèle que les performances des enfants âgés de trois à cinq ans face à une tâche de comparaison de points

sont prédictives des résultats obtenus à un test en mathématiques, deux ans plus tard. Cependant, les auteurs n'ont pas évalué le niveau des représentations numériques symboliques. Or, à l'école maternelle, il existe une grande variabilité au niveau de ces connaissances (Mussolin, Nys, Leybaert & Content, 2012). Selon Mussolin et al. (2014), il est possible que les différences de performances identifiées à l'issue de ce test soient en lien non pas avec l'acuité du SNA mais avec cette variabilité. Pour vérifier les résultats obtenus par Mazzocco et al (2011), Libertus, Feigenson et Halberda (2013) ont donc contrôlé cette variable dans leur étude menée auprès d'enfants de quatre ans. Ils ont constaté l'existence d'un lien entre la précision de la discrimination de numérosité et les capacités mathématiques six mois plus tard. L'étude d'Inglis, Attridge, Batchelor et Gilmore (2011), réalisée auprès d'enfants âgés de sept à neuf ans, vient confirmer ces résultats.

De ce fait, de nombreuses études s'accordent sur le rôle du SNA dans l'acquisition des compétences numériques ultérieures, notamment symboliques. Cependant, d'autres études viennent contester ces résultats.

Holloway et Ansari (2009) ont proposé à des enfants de six à huit ans une épreuve de comparaison de chiffres arabes et une épreuve de comparaison de collection. Les résultats révèlent que les enfants sont plus rapides pour traiter les représentations symboliques que non symboliques. Ainsi, ils remettent en question le rôle joué par le SNA dans la construction des représentations numériques chez l'enfant.

Une étude plus récente de Mussolin et al. (2014) a étudié, de plus, l'influence réciproque du SNA et de la connaissance des nombres chez des enfants de trois ou quatre ans. Les résultats montrent qu'une bonne connaissance des représentations numériques symboliques influe de manière significative sur la précision du SNA. A l'inverse, les résultats obtenus aux tâches d'estimation ne sont pas prédictifs des résultats obtenus aux tâches numériques symboliques. Néanmoins, les auteurs soulignent que ces conclusions ne s'appliquent pas aux sujets les plus jeunes. Ainsi, ils ne rejettent pas totalement l'hypothèse du rôle joué par le SNA dans la construction des représentations numériques symboliques.

Enfin, chez les adultes, les études obtiennent des résultats contradictoires. Effectivement, Libertus, Odic et Halberda (2012) démontrent l'existence d'un lien entre le SNA et les performances en mathématiques, à l'inverse de la précédente étude d'Inglis et al.

(2011). Pour ces derniers auteurs, ce constat conforte l'idée selon laquelle les représentations symboliques des quantités, à l'origine dépendantes du SNA chez le jeune enfant, deviendraient progressivement indépendantes au cours du développement de l'enfant. D'ailleurs, les résultats de l'étude de Mussolin et al. (2012) renforcent cette hypothèse. En effet, ils notent que la corrélation significative entre les performances en discrimination de numérosités et les compétences numériques symboliques de base, observée chez les enfants âgés de trois ou quatre ans, n'est pas retrouvée chez des enfants de cinq et six ans.

III. SURDITE ET HABLETES MATHEMATQUES

III.1. Généralités sur la surdité

La surdité est une diminution unilatérale ou bilatérale de l'ouïe. Pour l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé), l'enfant sourd est «*celui dont l'acuité auditive est insuffisante pour lui permettre d'apprendre sa propre langue, de participer aux activités normales de son âge, de suivre avec profit l'enseignement scolaire général*» (Dumont, 2008, p. 6).

Il existe trois catégories de surdités : les surdités de transmission, les surdités de perception et les surdités mixtes. Les surdités de transmission résultent d'une atteinte de l'oreille externe et/ou de l'oreille moyenne. Les surdités de perception comprennent, elles, les déficiences auditives par atteinte de l'oreille interne. Enfin, les surdités mixtes associent une surdité de transmission à une surdité de perception.

Le BIAP (Bureau International d'Audiophonologie) a effectué une classification des niveaux de déficience auditive en fonction du calcul de la perte auditive moyenne, estimée en audiométrie tonale (Vinter, 1996). On distingue ainsi :

- ~ L'audition normale ou sub-normale : la perte auditive est inférieure à 20 dB.
- ~ La déficience auditive légère : la perte auditive se situe entre 20 et 40 dB.
- ~ La déficience auditive moyenne : elle est liée à une perte auditive entre 40 et 70 dB.
- ~ La déficience auditive sévère : elle correspond à une perte auditive entre 70 et 90 dB.

- ~ La déficience auditive profonde : cette déficience comporte en réalité trois niveaux, une perte inférieure à 90 dB, une perte entre 90 et 100 dB et une perte supérieure à 100 dB où l'on parle alors de cophose.

III.2. Troubles mathématiques chez les enfants sourds

L'impact du langage dans l'élaboration de la conception du nombre est crucial (Leybaert & Van Cutsem, 2002). En effet, il consolide les liens entre les différentes représentations non-verbales et permet l'utilisation du calcul. Selon Pica, Lemer, Izard, et Dehaene (2004), l'arithmétique exacte dépend du langage, contrairement au calcul approximatif.

Selon le DSM-IV, la dyscalculie ne peut être établie chez un enfant porteur d'une déficience. Ainsi, le terme « dyscalculique » ne peut être attribué à un enfant atteint de surdité. Malgré tout, bon nombre d'études témoignent de difficultés mathématiques indéniables chez les enfants sourds.

III.2.1. Un décalage observé entre enfants sourds et enfants entendants du même âge

Selon Roux (2014), un décalage existe effectivement entre les enfants sourds et leurs pairs entendants. Seulement 15% des enfants sourds profonds ont des performances équivalentes aux enfants normo-entendants de leur âge. D'une part, Nunes et Moreno (2002) établissent un décalage d'environ deux écarts-types en-dessous de la moyenne chez les enfants sourds de huit à dix ans. D'autre part, Hyne (1970, cité par Zafarty, Nunes & Bryant, 2004) atteste d'un retard de deux ans chez les enfants sourds de huit ans et un retard de cinq ans chez les enfants sourds de 10 ans. Kingsmill et Hogwarth (1984, cités par Zafarty & al., 2004) notent quant à eux un retard de trois ans et demi chez les adolescents déficients auditifs d'environ 16 ans. Par ailleurs, Zafarty et al. (2004) évoque d'autres études portant sur des domaines précis tels le concept de fraction et les problèmes arithmétiques pour lesquels des retards sont également observés.

En revanche, si de nombreuses études témoignent d'un écart entre les performances d'un enfant sourd et celles d'un enfant entendant d'âge équivalent, aucune relation causale ne peut être établie entre surdité et habilités numériques (Wood & al. 1985).

III.2.2. Différences de performances au niveau des représentations numériques

Le modèle Triple Code de Deheane évoqué par Roux (2014) illustre les différentes modalités des représentations numériques. Les trois codes sont utilisés par les enfants sourds d'âge scolaire. Cet auteur constate que le code analogique engendre des performances semblables chez les individus sourds et entendants, du moins lors de la fin de leur scolarité.

Néanmoins, d'autres aspects de l'élaboration des représentations numériques révèlent, eux, des moindres compétences chez la population sourde. Leybaert et Van Cutsem (2002) soulignent que les enfants sourds de cinq ou six ans présentent les mêmes connaissances de la chaîne numérique que les enfants entendants plus jeunes de deux ans. Les enfants sourds montrent d'ailleurs plus de difficultés dans l'apprentissage du comptage (Secada, 1984, cité par Zafarty & al., 2004). Nunes et Moreno (2002) attestent que les enfants sourds ne sont capables de compter jusqu'à 60 qu'environ deux ans après leurs pairs entendants. Ce retard de deux ans entre les enfants sourds et leurs pairs entendants est également constaté dans le cadre du développement d'une langue signée.

Camos (2002) cite une étude qui expose une similarité des performances entre des individus sourds et des individus entendants pour les tâches de dénombrement et de pointage des objets. Mais, une différence est signalée quant à la production de la chaîne numérique, comportant des erreurs dans la séquence des nombres.

En revanche, l'une des conclusions temporaires de l'étude de Zafarty et al. (2004) suggère l'absence d'implication des représentations numériques dans les difficultés mathématiques rencontrées par les enfants sourds. L'étude évoque plutôt un manque de bain de langage mathématique. Cet auteur appuie d'ailleurs particulièrement les compétences des enfants sourds dans la représentation spatiale des nombres.

III.2.3. Différences de performances en termes de quantification

III.2.3.1. Subitizing et estimation

Peu d'études portent sur le décalage des compétences mathématiques entre individus sourds et entendants. Néanmoins, certains auteurs font part de la différence peu significative chez les populations adolescentes et adultes concernant les deux procédures de quantification de subitizing et d'estimation (Roux, 2014). Cependant, ce constat n'indique pas l'état de ces processus chez les enfants.

III.2.3.2. L'effet SNARC

L'effet SNARC, comme évoqué précédemment, consiste en la représentation spatiale des grandeurs numériques. Bull, Marschark et Blatto-Vallée (2005) démontrent que les individus sourds sont sensibles à cet effet de la même manière que les individus normo-entendants. En revanche, même si leurs réponses sont équivalentes en termes de réussite, elles diffèrent au niveau du temps.

Epstein, Hillegeist et Grafman (1995, cités par Hage, Charlier & Leybaert, 2006) rejoignent d'ailleurs cette idée et révèlent que, lors d'une tâche non-verbale de comparaison de collections, les adolescents sourds sont aussi performants que les adolescents normo-entendants quant à la qualité de leurs réponses. Mais leurs temps de réponse sont malgré tout plus élevés.

III.3. Facteurs explicatifs

III.3.1. Introduction

Si la surdité impacte inéluctablement le développement d'un individu, elle n'est pas la cause directe des difficultés observées dans le domaine des mathématiques. Aucune corrélation n'a été établie entre les compétences mathématiques et la surdité, voire même le type ou le degré de surdité (Nunes et Moreno, 2002).

En outre, la présence d'une atteinte auditive chez un individu est rarement un trouble isolé. Roux (2014) évoque l'existence de troubles associés chez 40 % des enfants sourds. De ce fait, d'autres facteurs peuvent entraîner des difficultés en mathématiques chez les enfants sourds.

III.3.2. Impact des apprentissages précoces

Bon nombre d'études convergent plutôt vers une carence d'informations, amenée certes par la surdité. En effet, ce n'est pas tant l'atteinte auditive que son retentissement sur le bain de langage qui influe sur la compréhension des concepts numériques. Il est aujourd'hui incontestable que le bain linguistique est crucial pour le bon développement de chaque enfant. Ce bain existe, dans toute famille, de façon plus ou moins élaborée, mais il est indispensable en tant que vecteur de connaissances. Dès lors, une circonstance de déprivation sensorielle peut nuire à la transmission des apprentissages informels. Au-delà des enseignements explicites, le bain de langage contribue à l'échange d'informations et à l'élaboration de concepts (Roux, 2014). Par ailleurs, des facteurs externes permettent également à l'enfant d'enrichir ses expériences, par le biais des activités quotidiennes, des routines vécues par lui et son entourage (Camos, 2002). Un déficit de ces modèles et de ces opportunités peuvent se surajouter à la surdité et influencer le développement des mathématiques.

L'éducation précoce s'est intégrée à la prise en charge orthophonique dans la fin des années 1960 (Lepot-Froment et Clerebaut, 1996), notamment pour les enfants atteints de surdité. Elle prône la nécessité des interactions précoces entre l'enfant et son entourage afin d'optimiser son développement. L'évolution de la communication s'instaure dès les premières années de la vie en parallèle avec le développement global de l'enfant. Les auteurs cités précédemment ont montré l'insuffisance des interactions lors d'une situation de déprivation sensorielle. Or, ces échanges, même avant l'apparition du langage, sont essentiels pour stimuler la compréhension de l'enfant.

D'ailleurs, ces interactions favorisent la mise en place implicite des premiers concepts mathématiques. Gregory (1998, cité par Kritzer, 2009) appuie l'influence des expériences vécues par l'enfant sur le développement des concepts mathématiques. En cas de carence de ces échanges informels auxquels contribuent les parents, l'enfant sourd est susceptible d'être

limité dans ses apprentissages mathématiques. Or, les connaissances mathématiques formelles futures se fondent sur les performances informelles pré-scolaires.

Kritzer (2009) note, de plus, que les familles normo-entendantes introduisent des notions mathématiques dans leurs routines quotidiennes telles que les jeux ou la lecture. Dans son étude, cet auteur cite également Anderson (1997) qui informe de l'étayage spontané des parents normo-entendants lors des difficultés de compréhension de leur enfant. Grâce à ces informations complémentaires, les enfants normo-entendants enrichissent leur apprentissage informel qui joue alors un rôle favorable sur leurs apprentissages scolaires futurs. Anderson déclare, en revanche, que les parents d'enfants sourds ne peuvent pas contribuer de la même manière aux expériences informelles de leur enfant dont les performances mathématiques ultérieures seront par conséquent moins développées.

Zafarty et al. (2004) rejoignent les auteurs précédents et s'interrogent sur l'existence de difficultés au niveau de la compréhension des mathématiques informelles chez les enfants sourds. Ils émettent la possibilité d'une différence entre les enfants sourds et les enfants entendants lorsque que les expériences préscolaires nécessitent l'oral. Cependant, ils appuient le fait que celles-ci sont majoritairement non-verbales et ne défavorisent donc pas les enfants atteints de surdité. Malgré tout, Kritzer (2009) note bien que 60 % des enfants sourds présentent un décalage avec leurs pairs entendants même avant le début de la scolarisation et de l'apprentissage formel. Les enfants sourds les plus performants se situent d'ailleurs seulement dans la moyenne.

Kritzer (2009) insiste, de ce fait, sur l'intérêt particulier qui doit être porté sur les apprentissages des enfants sourds. Il lui importe que l'entourage familial et éducatif de l'enfant prenne en compte le retard précoce de l'enfant dans les compétences mathématiques et adapte ainsi son comportement. Pour cet auteur, une implication anticipée auprès de l'enfant sourd est nécessaire tant pour les parents, au niveau des références aux concepts mathématiques dans les activités quotidiennes, que pour le corps enseignant.

III.3.3. Impact de la langue

Selon Pica et al. (2004), le lien entre le langage et la représentation du nombre est prégnant. En effet, l'impact de la langue est primordial sur la construction du concept du nombre exact. Celui-ci se crée grâce au lien, entre les différentes représentations non-verbales, instauré par la langue. Le retard de langage présent chez les enfants atteints de surdité peut donc influencer facilement sur leurs difficultés de représentation du nombre.

A l'aide de leur étude sur la langue Mundurucu, contenant un lexique pauvre, ces auteurs précisent que la langue joue un rôle dans la numérisation exacte tandis que l'approximation numérique en est tout à fait indépendante. Ils rejoignent ainsi les études antérieures démontrant les compétences numériques des nourrissons voire de certaines espèces animales. Donlan, Cowan, Newton et Lloyd (2007) ajoutent d'ailleurs que la représentation numérique exacte, contrairement à l'estimation, relève en grande partie d'une disponibilité lexicale, notamment de la séquence des mots nombres.

Hormis l'impact premier de la langue au sein du développement des compétences arithmétiques, la complexité des termes du langage mathématique, dans leur forme et dans leur sens, joue également un rôle sur les difficultés des enfants sourds. Barouillet et Camos (2006) rejoignent ce consensus en notant la présence de confusions phonologiques pour les mots nombres chez les personnes sourdes. Les similarités au niveau des productions langagières induisent en erreur les individus atteints de surdité. Barham et Bishop (1991, cités par Zevenbergen, Hyde et Power, 2001) témoignent, de plus, de la difficulté de certains mots, tels que « dizaine » ou « dixième », en termes de lecture labiale.

Ces différents auteurs évoquent d'ailleurs la difficulté pour les personnes sourdes de comprendre des notions qui peuvent être exprimées de façon plurielle. Effectivement, Zevenbergen et al. (2001) mentionnent la multiplicité des significations des termes mathématiques qui rend la compréhension difficile. Ils notent l'influence du contexte, c'est-à-dire en situation scolaire ou non-scolaire, sur l'utilisation et la compréhension du lexique mathématique. Del Campo et Clements (1987, cités par Zevenbergen & al., 2001) montrent, quant à eux, l'importance de l'énoncé arithmétique pour lequel l'enfant sourd peut avoir des difficultés, même si la tâche opératoire demandée est simple. Concernant la compréhension

des tâches numériques, l'enfant sourd s'appuie, en outre, sur une stratégie par « mots-clés ». En effet, les personnes sourdes peinent à comprendre le vocabulaire mathématique spécifique (Gregory, 1998, cité par Kritzer, 2009). De ce fait, par manque de vocabulaire, les individus s'appuient sur leur connaissance des mots-clés et construisent du sens autour de ces termes. Cependant, une utilisation excessive de cette stratégie peut conduire à une compréhension erronée de la tâche arithmétique (Zevenbergen & al, 2001). Kelly, Lang, Mousley et Davis (2003) attestent, en ce sens, que les étudiants sourds accordent souvent plus d'importance à certains mots qu'à la compréhension globale du texte et aux relations entre les idées.

Pour finir, au-delà du vocabulaire mathématique, la formulation des énoncés arithmétiques influe également sur la compréhension des enfants sourds. D'ailleurs, pour Griffith et Wowarth (cités par Zevenbergen & al., 2001), un problème de formulation peut gêner les enfants sourds comme les enfants normo-entendants. Wood et al. (1986, cités par Zevenbergen & al., 2001) notent que les formulations d'énoncés induites dans des situations de la vie quotidienne, et donc usuelles, sont sujettes à plus de réussite de la part des élèves sourds, contrairement aux types d'énoncés inédits. Kelly et al. (2003) appuient le fait que les difficultés de compréhension sont issues en partie de la structure même de l'énoncé. Les termes non attendus ou syntaxiquement plus complexes provoquent des difficultés majorées. L'énonciation de la tâche arithmétique doit permettre l'identification du problème et des informations pertinentes. D'après eux, l'utilisation d'analogies pour une même tâche arithmétique pourrait être intéressante dans la construction du sens chez les enfants, afin que de nouvelles formulations n'empêchent pas leurs performances.

Ainsi, le langage joue un rôle considérable dans le retard des performances constaté chez les enfants sourds, par rapport à leurs pairs entendants. Selon Spaepen, Coppola, Spelke, Carey et Goldin-Meadow (2011), l'influence de la langue, et notamment la séquence des mots nombres, sur la capacité à se représenter la valeur exacte de grandes quantités n'est pas négligeable. Wood et al. (1986, cités par Zevenbergen & al., 2001) avancent même que ce retard peut davantage être issu du facteur linguistique que d'un potentiel déficit cognitif chez ces sujets. Zevenbergen et al. (2001) synthétisent ces données en représentant l'origine des difficultés de compréhension des tâches arithmétiques par l'accumulation de plusieurs facteurs : la complexité de la syntaxe, la pauvreté du lexique et le manque d'analogies ou d'informations complémentaires. Ces contraintes sont un frein à la construction du sens autour des tâches arithmétiques.

Partie II :

Problématique

et hypothèses

I. PROBLEMATIQUE

Selon Roux (2014), le questionnement autour des processus de quantification de subitizing et d'estimation, chez la population sourde, a principalement été étudié chez les adultes. En effet, l'intérêt croissant envers ces processus de quantification numérique a conduit certains chercheurs à étudier les performances des individus sourds en regard de celles d'une population normo-entendante. Cette comparaison, effectuée ainsi chez une population adolescente et adulte, n'a révélé qu'un léger décalage entre les individus sourds et les individus normo-entendants. Cette différence non-significative ne peut d'ailleurs pas être interprétée du fait du manque d'études chez les enfants. Fait-elle suite à un décalage significatif entre les enfants sourds et les enfants entendants qui serait majoritairement compensé au fil du temps? Est-elle, au contraire, à l'image de celle que l'on pourrait identifier chez les enfants?

Par ailleurs, de nombreuses études ont démontré l'importance du SNP et du SNA, quant au rôle qu'ils jouent sur le développement des compétences mathématiques futures chez les enfants. Les processus de quantification de subitizing et d'estimation, qui dépendent respectivement de ces deux systèmes, impactent les habiletés numériques ultérieures (Barouillet & Camos, 2006). L'évolution de ces processus, bien qu'ils soient innés, diffère parmi les individus selon les difficultés rencontrées. La qualité des performances précoces chez l'enfant, concernant l'intuition des nombres, influence par la suite la compréhension de concepts plus élaborés.

Puisque certaines difficultés dans les mathématiques formelles ont pu être reliées à des difficultés déjà présentes dans les processus précoces du SNP et du SNA, il semble intéressant d'évaluer ce qu'il en est chez les enfants sourds. Effectivement, l'existence de moindres performances dans le domaine des mathématiques chez les « grands » enfants sourds est avérée. Or, peu de recherches ont étudié la qualité de ces processus chez les petits. Est-il alors possible de faire un parallèle entre les difficultés constatées chez les adolescents sourds et leurs performances précoces en termes de processus de quantification?

Au-delà de la recherche d'un potentiel décalage entre les enfants sourds et les enfants entendants concernant les compétences numériques précoces, l'influence de la langue

sur ces compétences est également à prendre en compte. Bon nombre d'études attestent de l'impact de la modalité verbale sur la compréhension et l'exécution de tâches numériques chez les enfants sourds. Les systèmes innés de représentation numérique, le SNP et le SNA, existent indéniablement chez les enfants sourds. Mais la part langagière de ces processus est notable. De ce fait, la modalité de présentation de tâches de subitizing ou d'estimation influence-t-elle les compétences des enfants sourds dans ces tâches numériques? Une présentation non-verbale d'une tâche évaluant l'un de ces deux processus, c'est-à-dire en comparaison, est-elle sujette à plus de réussite chez l'enfant sourd qu'une tâche en modalité verbale telle que l'identification? Ces caractéristiques entrent-elles en jeu dans l'étude d'un potentiel décalage entre les enfants sourds et les enfants entendants de même âge?

Pour finir, deux critères sont à prendre en compte dans la recherche de différences significatives entre les performances des enfants sourds et celles de leurs pairs entendants : la qualité de la réponse et le temps de réponse. En effet, les capacités de chaque enfant peuvent être évaluées selon ces deux dimensions témoignant de la compétence et de la performance, c'est-à-dire de l'acquisition des processus et de leur stabilité. Dès lors, un décalage globalement constaté entre les deux populations se manifeste-t-il à la fois lors de la qualité de réponse, en termes de bonne ou de mauvaise réponse, et lors du temps de réponse?

Pour aller plus loin, la modalité verbale ou non-verbale de la présentation de la tâche numérique influence-t-elle ces deux critères d'évaluation? Dans quelles conditions une différence de performance entre ces deux populations peut-elle être constatée : lors de tâches de subitizing ou d'estimation, que ce soit en termes d'identification ou de comparaison, ou en termes de temps et de qualité de la réponse?

II. HYPOTHESES

II.1. Hypothèse Générale

Dans les tâches numériques verbales, c'est-à-dire en identification de collections, les enfants sourds devraient être moins performants que les enfants entendants, tandis que dans les tâches numériques non-verbales, c'est-à-dire en comparaison de collections, aucune différence entre ces deux populations ne devrait être constatée.

II.2. Hypothèses opérationnelles

Par cette présente étude, il est supposé, tout d'abord, que le nombre de bonnes réponses en identification de grandes collections, c'est-à-dire en tâche verbale d'estimation, devrait être moins élevé chez les enfants sourds que chez les enfants entendants alors que le nombre de bonnes réponses en comparaison de grandes quantités, c'est-à-dire en tâche non-verbale d'estimation, devrait être identique chez les deux populations. En effet, le facteur surdité impacte directement le développement du langage chez l'enfant, et un retard par rapport à la population normo-entendante est admis. Ce décalage est tel qu'il est censé affecter l'épreuve d'identification nécessitant une mise en mots orale, contrairement à l'épreuve non-verbale de comparaison. Par ailleurs, des auteurs tels que Nunes et Moreno (2002) évoquent un décalage de deux ans chez les enfants sourds, au niveau de l'acquisition de la chaîne numérique, par rapport à leurs pairs entendants. De ce fait, l'identification de grandes quantités devraient d'autant plus être touchée qu'elle traite de grands nombres susceptibles de ne pas être bien acquis par les enfants sourds. A l'inverse, l'épreuve de comparaison ne nécessite pas cette identification mais témoigne de représentations analogiques innées (Dehaene, 2003).

Ensuite, le temps de réponse en identification de grandes quantités, c'est-à-dire en tâche verbale d'estimation, devrait être plus élevé chez les enfants sourds que chez les enfants entendants, tandis qu'en comparaison de grandes quantités, c'est-à-dire en tâche non-verbale d'estimation, les enfants sourds et les enfants entendants devraient mettre autant de temps pour répondre. A l'instar de l'hypothèse précédente, les enfants sourds sont désavantagés par rapport à leurs moindres performances en termes de langage et de comptine numérique. Hormis un nombre moins important de bonnes réponses lors de l'épreuve d'identification, l'instabilité de leurs acquisitions devrait se répercuter d'autant plus au niveau de leur temps de réaction. En revanche, lors de la tâche non-verbale de comparaison, les enfants sourds ne devraient pas être moins performants que les enfants entendants.

De plus, il est supposé que les enfants sourds mettent plus de temps que les enfants entendants en identification de petites quantités, c'est-à-dire en tâche verbale de subitizing, alors qu'en comparaison de petites quantités, c'est-à-dire en tâche non-verbale de subitizing, les enfants sourds et les enfants entendants sont susceptibles de mettre autant de temps.

Effectivement, même s'il est admis que le subitizing est un processus inné, il n'en reste pas moins que les acquisitions des enfants sourds au niveau de la chaîne numérique sont moins stables que celles de leurs pairs entendants, car plus récentes. Selon Leybaert et Van Cutsem (2002), si les enfants entendants de quatre ans connaissent les premiers nombres de la comptine numérique, nécessaires au subitizing sur le plan verbal, les connaissances des enfants sourds du même âge devraient correspondre à celles d'un enfant entendant de deux ans. Or, s'il est possible qu'un enfant de deux ans ait acquis les premiers nombres de la comptine, il n'est pas certain que ces connaissances soient solides. De ce fait, lors de l'identification de petites quantités, ce manque de stabilité devrait affecter les performances des enfants sourds en termes de temps de réaction. Néanmoins, l'innéité du subitizing devrait pouvoir prendre tout son sens dans l'épreuve de comparaison et permettre des performances semblables entre les deux populations.

Pour finir, aucune différence ne devrait exister entre les enfants sourds et les enfants entendants concernant le nombre de bonnes réponses en identification de petites quantités, c'est-à-dire en tâche verbale de subitizing, de la même manière qu'il ne devrait pas exister de décalage entre ces deux populations concernant la comparaison de petites quantités, c'est-à-dire en tâche non-verbale de subitizing. Comme l'évoque la précédente hypothèse, le subitizing dépend de représentations analogiques elles-mêmes innées (Dehaene, 2003). Ainsi, même si les contraintes issues du langage et de la chaîne numérique devraient gêner les enfants sourds dans le temps qu'ils mettent pour identifier les petites quantités, elles ne sont pas censées provoquer de moins bonnes performances en termes de nombre de bonnes réponses. Les enfants sourds et les enfants entendants sont supposés témoigner de compétences identiques, que ce soit lors de la tâche verbale ou non-verbale.

Partie III : Méthodologie

I. POPULATION

Dans le cadre de cette présente étude, deux groupes d'enfants ont été constitués : un groupe d'enfants normo-entendants, en tant que groupe contrôle, ainsi qu'un groupe d'enfants atteints de surdité (Annexe 3).

I.1. Population d'enfants normo-entendants

Concernant la population normo-entendante, 25 enfants, âgés de quatre ans à six ans et demi inclus, ont été testés. Le choix des participants s'est effectué selon une procédure d'échantillonnage non-probabiliste, c'est-à-dire par disponibilité des enfants dans une école préalablement déterminée. De ce fait, tous les enfants ont été choisis au sein de l'école maternelle du Fougan de Mer et de l'école primaire du même nom, à Bouguenais.

I.1.1. Critères d'inclusion

Tout d'abord, l'intégration des enfants dans cette étude s'est effectuée selon l'âge de chacun. Cinq classes d'âge ont été constituées :

- cinq enfants de quatre ans à quatre ans et demi : 48 à 53 mois
- quatre enfants de quatre ans et demi à cinq ans : 54 à 59 mois
- cinq enfants de cinq ans à cinq ans et demi : 60 à 65 mois
- cinq enfants de cinq ans et demi à six ans : 66 à 71 mois
- six enfants de six ans à six ans et demi : 72 à 77 mois

Les enfants ont donc été choisis selon leur date de naissance, dans des classes présélectionnées : Moyenne Section de Maternelle (MSM), Grande Section de Maternelle (GSM), et CP. Les enfants inclus dans l'étude devaient d'ailleurs irrévocablement fournir une autorisation parentale.

I.1.2. Critères d'exclusion

Pour cette étude, les enfants ne devaient pas présenter de troubles cognitifs, neurologiques ou intellectuels, afin d'éviter tout biais pouvant nuire à l'interprétation des résultats. Par ailleurs, deux enfants ont été exclus de l'étude du fait d'un comportement inadapté lors de la passation.

I.2. Population d'enfants atteints de surdité

A propos de la population parente, c'est-à-dire la population sourde, 16 enfants, dont l'âge était également compris entre quatre ans et six ans et demi inclus, ont été testés. La même procédure d'échantillonnage a été utilisée. Les enfants inclus dans cette étude proviennent donc de divers établissements : le SSEFIS Les Rochettes de Nantes, l'Institut Public La Persagotière de Nantes, le SSEFIS Adapei-Aria 85 de La Roche-sur-Yon, le Centre Charlotte Blouin d'Angers et l'Ecole Célestin Freinet de Bouguenais.

Un questionnaire d'anamnèse a été fourni à l'entourage de l'enfant, parental, enseignant ou soignant (Annexe 4). Ce document était transmis dans le but d'explorer les conditions de vie de l'enfant, notamment quant à l'âge de dépistage, l'éventuelle prise en charge orthophonique, le type et le degré de la surdité.

I.2.1. Critères d'inclusion

De même que pour les enfants normo-entendants, l'inclusion des enfants sourds dans cette étude s'est réalisée selon le critère de l'âge. Cinq sous-groupes ont donc été composés :

- trois enfants de quatre ans à quatre ans et demi : 48 à 53 mois
- trois enfants de quatre ans et demi à cinq ans : 54 à 59 mois
- trois enfants de cinq ans à cinq ans et demi : 60 à 65 mois
- trois enfants de cinq ans et demi à six ans : 66 à 71 mois
- trois enfants de six ans à six ans et demi : 72 à 77 mois

Une autorisation parentale, au préalable, était également indispensable.

I.2.2. Critères d'exclusion

Pour participer à cette étude, la surdité devait nécessairement être isolée et constituer le seul handicap présent chez l'enfant. A l'instar de la population contrôle, les enfants ne devaient présenter impérativement aucun trouble cognitif, intellectuel ou neurologique. De ce fait, certains enfants, porteurs de syndromes associés tels qu'un syndrome de Usher, ont été exclus de l'étude.

Les critères ci-dessus sont les seuls qui ont influencé le choix des participants. En effet, des éléments comme la nature ou le degré de surdité, ou encore le type d'appareillage, ont seulement été pris en compte de manière qualitative.

II. PROCEDURE

II.1. Généralités

II.1.1. Pré-test

Afin de tester le matériel et la faisabilité du protocole, un pré-test a été réalisé auprès de trois enfants normo-entendants. Ce pré-test a permis d'affiner quelques consignes, de modifier légèrement le matériel et de préciser le temps de passation par enfant.

Les épreuves informatiques ont d'abord été proposées sans cache sur le clavier. Cet essai a montré qu'il était, en réalité, indispensable de ne laisser apparaître que les deux touches nécessaires à l'épreuve.

II.1.2. Conditions de passations

Avant de commencer les passations, les parents ont été informés par courrier de la démarche et ont donné leur consentement par écrit (Annexe 5).

La passation du protocole est individuelle et la durée varie entre 20 et 30 minutes selon les enfants. A chaque fois, deux expérimentateurs sont présents : l'un interagit avec l'enfant et l'autre, observateur, note les résultats obtenus sur la grille de cotation (Annexe 6). Ce dernier inscrit également les réactions, le comportement de l'enfant et les stratégies déployées lors des différentes épreuves.

Pour les enfants normo-entendants, la passation se déroule dans une pièce au sein de l'école maternelle. Pour les enfants sourds, la passation s'effectue sur son lieu de scolarisation, sur un temps de prise en charge orthophonique ou sur un temps en dehors du temps scolaire, au SSEFIS ou à domicile. Pour deux enfants, une enseignante LSF (Langue des Signes Française) était présente pour traduire les consignes.

II.2. Évaluation cognitive

Complémentairement aux épreuves ciblées de subitizing et d'estimation, cœur même de cette présente étude, une évaluation cognitive est proposée. Effectivement, la seule prise en compte des tâches expérimentales est insuffisante pour l'interprétation des résultats. Ceux-ci doivent être corrélés à la performance des individus aux épreuves cognitives. Un décalage dans un certain domaine n'est significatif que lorsqu'aucune déficience n'a été établie au préalable. Ainsi les différentes composantes impliquées dans la réalisation des tâches de subitizing et d'estimation sont évaluées isolément.

II.2.1. Raisonnement non-verbal

II.2.1.1. Matériel

Lors de la passation, une tâche de raisonnement non-verbal, issue de la Batterie Rapide d'Evaluation des fonctions cognitives (BREV), est proposée à l'enfant. La tâche utilisée, la complétion des formes, se présente sous forme de matrices. Des images, avec une partie manquante, sont montrées à l'enfant et celui-ci doit retrouver l'item qui convient parmi différentes propositions. Cette épreuve est essentielle puisque les capacités de raisonnement peuvent être à l'origine de toute difficulté rencontrée dans chacune des épreuves du protocole.

Cette tâche supplée l'absence d'une épreuve de quotient intellectuel. En effet, aucune évaluation du QI à proprement parler n'a pu être utilisée dans la mesure où ce type d'épreuve, en modalité orale, était susceptible de mettre en difficulté certains individus de la population sourde. Or, l'objectif, ici, est d'évaluer les capacités de raisonnement réelles de chacun. D'autre part, les épreuves de QI, utilisées exclusivement par des psychologues, sont des tests souvent très longs à faire passer. Ainsi, des matrices objectivant les compétences de raisonnement non-verbal ont été mises en place.

II.2.1.2. Protocole

Cette épreuve, la première de la passation, est constituée de sept planches dont une d'exemple. La consigne utilisée est celle proposée par la batterie d'origine : « *Tu vois le dessin du haut, il y a un trou (lui montrer du doigt), tu me dis la carte du bas (lui montrer les cartes) qui va le mieux dans le trou* ». En revanche, si l'enfant se trompe, la consigne « *Non, ce n'est pas ça, tu t'es trompé, choisis en une autre* » a été remplacée par « *Tu es sûr? Regarde bien toutes les images* ». La passation prend fin après trois erreurs consécutives au second essai. L'examineur cote deux points si l'enfant réussit au premier essai et un point s'il réussit au second.

II.2.2. Langage

II.2.2.1. Matériel

Lors du protocole, des épreuves issues de la batterie ELO (Evaluation du Langage Oral) sont présentées à l'enfant. Seules les épreuves d'expression lexicale et de compréhension lexicale sont proposées car l'objectif est d'évaluer succinctement le niveau de langage de chaque enfant. Tester ces compétences permet de confirmer ou d'infirmer l'hypothèse selon laquelle les enfants sourds sont moins performants que les enfants entendants dans la tâche d'identification de quantités. En effet, lors de cette tâche, une réponse verbale est demandée, sollicitant précisément des compétences langagières. Il est donc nécessaire de tester le niveau de langage afin de pouvoir le mettre en lien avec la performance des enfants en identification de points.

II.2.2.2. Protocole

L'épreuve de dénomination de l'ELO, évaluant le langage versant expression, est directement proposée après la tâche de raisonnement non-verbal. L'enfant dénomme les images suite à la consigne : « *Qu'est-ce que c'est?* ». Jusqu'en GSM, seules les vingt premières images sont présentées. La notation de cette épreuve s'effectue selon la description de la batterie. En revanche, à la cotation quantitative s'ajoute une précision qualitative concernant la modalité de réponse. Toutes les réponses sont acceptées, qu'elles soient orales ou gestuelles, le but étant d'estimer le niveau de langage global de l'enfant. L'examineur cote un point par bonne réponse, mais seuls les signes appartenant à la Langue des Signes Française sont pris en compte.

L'épreuve de désignation, évaluant le langage versant compréhension, est proposée en revanche à la fin du protocole. Ce choix résulte de l'intention de fractionner les différentes épreuves pour répondre aux exigences d'une très jeune population. Cette épreuve de compréhension lexicale est constituée de 20 planches comportant chacune quatre images. L'examineur demande à l'enfant : « *Montre-moi l'image où il y a...* ». L'enfant doit alors désigner l'image correspondant au mot énoncé par l'examineur.

II.2.3. Comptine numérique

II.2.3.1. Matériel

L'épreuve utilisée, évaluant l'acquisition de la chaîne numérique chez l'enfant, s'inspire du Tedi-Maths. Elle se compose de quatre items permettant de rendre compte des niveaux d'acquisition de la chaîne numérique :

- compter « le plus loin possible »
- compter « à partir de »
- compter « jusqu'à »
- compter « de ... à ... »

Cette tâche succincte se justifie par la mise en évidence des niveaux suivants : le niveau chapelet, le niveau de la chaîne insécable et le niveau de la chaîne sécable. L'évaluation de la

chaîne numérique est cruciale car elle impacte directement sur les tâches d'identification, que ce soit pour le subitizing ou l'estimation. Effectivement, cette tâche permet au préalable d'établir un manque de connaissance de la chaîne numérique, soubassement de l'échec lors de l'épreuve d'identification de points.

II.2.3.2. Protocole

Cette évaluation s'effectue en trois étapes. Elle est notée quantitativement selon le nombre d'items réussis, ainsi que qualitativement par la prise en compte des niveaux d'acquisition de la chaîne numérique.

Tout d'abord, l'examineur demande à l'enfant : « *Est-ce que tu peux compter le plus loin possible ?* ». Une ébauche orale des premiers nombres est donnée si nécessaire. Au-delà de 30, l'examineur stoppe l'énonciation de la comptine numérique. Par ailleurs, il autorise l'enfant à utiliser la modalité gestuelle. Si la chaîne numérique n'est pas complète ou si elle comporte des erreurs, l'examineur propose à l'enfant de recommencer : « *Est-ce que tu peux compter encore une fois ?* ». L'examineur cote un point si l'enfant peut compter au moins jusqu'à 10, et deux points si la chaîne atteint le nombre 30 sans erreur. L'examineur demande ensuite à l'enfant :

- « *Est-ce que tu peux compter à partir de trois ?* »
- « *Est-ce que tu peux compter jusqu'à neuf ?* »

Si l'enfant réussit ces deux items, un point lui est donné. Enfin, une dernière question, cotée par un point, lui est posée : « *Est-ce que tu peux compter de trois à sept ?* ».

II.2.4. Cubes de Corsi

II.2.4.1. Matériel

Enfin, l'évaluation cognitive comprend une tâche de mémoire visuo-spatiale « maison » directement inspirée de l'épreuve des Cubes de Corsi (Annexe 7). Une nouvelle fois, une tâche de mémoire non-verbale a été préférée aux habituelles épreuves d'empans de chiffres, dans le but de proposer une épreuve de difficulté égale pour chaque participant. Par

ailleurs, la dimension visuo-spatiale est intéressante à prendre en compte étant donné que les épreuves de subitizing et d'estimation impliquent cette composante.

II.2.4.2. Protocole

Cette tâche est proposée à la suite des épreuves expérimentales et précède l'ultime tâche de compréhension lexicale. L'examineur dispose devant l'enfant dix cubes posés sur une grande feuille blanche. « *Je vais te montrer des cubes et toi tu devras me montrer les cubes dans le même ordre que moi.* ». Une démonstration suivie de deux exemples précède l'épreuve afin de s'assurer de la bonne compréhension de la consigne. L'épreuve est constituée de six items comprenant chacun deux essais. Chaque item correspond à un empan visuo-spatial et le nombre de cubes augmente progressivement, de deux à sept cubes. L'examineur met un terme à l'épreuve si l'enfant échoue aux deux essais d'un même item.

II.3. Tâches expérimentales

II.3.1. Matériel

Les deux processus de quantification évalués dans ce protocole sont le subitizing et l'estimation. Ils nécessitent donc, par définition, la présentation à l'enfant de petites et de grandes collections de points, c'est-à-dire inférieures ou supérieures à trois ou quatre points. L'objectif de cette étude étant de déterminer les capacités des enfants sourds pour chacune de ces tâches, la prise en compte du critère verbal ou non-verbal est essentielle. De ce fait, les deux processus cités précédemment sont mesurés à la fois en situation d'identification de points et en situation de comparaison de collections.

Le matériel utilisé se base sur le logiciel informatique DMDX² mis au point par le Département de Psychologie de l'Université d'Arizona. Ce logiciel permet d'enregistrer les réponses de l'enfant selon la nature de la réponse, bonne ou mauvaise, et le calcul automatique du temps de réponse de l'enfant.

² Forster, K. I., & Forster, J. C. (2003). DMDX: a windows display program with millisecond accuracy. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers: A Journal of the Psychonomic Society, Inc*, 35(1), 116–24. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12723786>

Les tâches d'identification et de comparaison de points ont été créées dans le cadre du mémoire de fin d'études de Julien E. et Marcon E.³. Pour cette présente étude, les scripts ont été modifiés par la suppression du caractère aléatoire des items, afin que l'ordre de présentation des collections soit le même pour tous les individus. Certains textes ont également été enlevés pour adapter le matériel à la jeune population. D'autre part, des planches comprenant les collections de cinq points ont été ajoutées à celles déjà existantes dans le but de proposer une tâche d'identification complète.

Lors de la tâche d'identification, sont présentées à l'individu des collections variant de un à neuf points. Chaque collection apparaît en trois mêmes items. L'enfant peut donc identifier à trois reprises le même nombre de points. Ainsi, cette tâche se compose de 27 items au total. La réponse verbale ou gestuelle de l'enfant est notée par l'un des examinateurs tandis que l'autre enregistre le temps de réponse en appuyant sur une touche de l'ordinateur.

La tâche de comparaison possède, elle, 24 items répartis en 12 comparaisons de petites collections et 12 comparaisons de grandes collections, témoignant des deux processus de subitizing et d'estimation. Cette tâche se découpe en réalité en six comparaisons différentes car elles apparaissent chacune deux fois. Lors de l'épreuve, l'enfant aperçoit à chaque item deux collections à comparer, l'une à gauche de l'écran et composée de points bleus, l'autre à droite de l'écran et composée de points jaunes. Ces deux collections sont représentées par deux touches « q » et « m » de l'ordinateur. L'enfant doit, pour chaque affichage, appuyer sur la touche correspondant à la collection comportant le plus de points.

Par ailleurs, pour ces deux tâches, les points affichés sur l'écran sont répartis aléatoirement dans l'espace et sont de tailles différentes.

³ Julien, E., Marcon, E. (en préparation, 2015). Déficits cognitifs numériques intentionnels et automatiques dans la dyscalculie. Mémoire d'orthophonie, Université Claude Bernard Lyon 1, Lyon, sous la direction d'Anne Lafay (POUR LES TACHES, adaptation des tâches de)

Lafay, A. (en préparation, 2015). Déficits cognitifs numériques impliqués dans la dyscalculie. Thèse, Université Laval, Québec. (POUR LES TACHES, adaptation des tâches de)

Price, G. R., Palmer, D., Battista, C., & Ansari, D. (2012). Nonsymbolic numerical magnitude comparison: reliability and validity of different task variants and outcome measures, and their relationship to arithmetic achievement in adults. *Acta Psychologica*, 140(1), 50–7. doi:10.1016/j.actpsy.2012.02.008 (POUR LA REALISATION DES IMAGES, contrôlées, avec un programme sous Python)

En outre, par l'intermédiaire de ce logiciel, sont pris en compte la réussite de l'enfant et son temps de réponse. La performance des enfants et le potentiel décalage entre enfants sourds et enfants entendants sont donc évalués en termes de différence du nombre de bonnes réponses et des temps de réponse. Pour finir, le temps enregistré permet également l'analyse de la frontière entre subitizing et estimation.

II.3.2. Protocole

Ces épreuves expérimentales s'intercalent avec les tâches de l'évaluation cognitive. Cet agencement, constitué par la succession d'épreuves courtes et variées, permet de maintenir au maximum l'intérêt de l'enfant et sa concentration.

Avant de réaliser les épreuves informatiques, l'examineur propose à l'enfant deux tâches utilisant un matériel différent (Annexe 8). Ces deux tâches qualitatives, dont le niveau d'abstraction augmente, permettent de vérifier la bonne compréhension des consignes, identiques à celles des tâches sur ordinateur, par l'enfant. L'examineur peut ainsi ajuster ses consignes et donner d'autres exemples à l'enfant si nécessaire.

II.3.2.1. Jetons

L'examineur présente à l'enfant une boîte, contenant deux jetons jaunes, fermée par un couvercle : « *J'ai caché des jetons dans ma boîte. Je vais ouvrir la boîte et toi le plus vite possible tu vas me dire combien il y a de jetons dans la boîte. D'accord?* ». L'examineur montre ensuite deux boîtes à l'enfant ; la première contient trois jetons bleus et la seconde contient six jetons jaunes : « *Oh regarde, j'ai deux boîtes maintenant. Là, il y a des jetons bleus et là il y a des jetons jaunes. Toi, tu vas me montrer le plus vite possible là où il y a le plus de jetons. D'accord?* ». Si l'enfant échoue ou ne comprend pas la consigne, l'examineur reformule : « *Là, dans la boîte il y a beaucoup de jetons. Et là, dans la boîte il n'y a pas beaucoup de jetons. Toi tu dois me dire dans quelle boîte il y a beaucoup de jetons.* ».

II.3.2.2. Cartes

L'examineur présente une première carte à l'enfant : « *Je vais te montrer une carte avec des jetons. Tu dois me dire, le plus vite possible, combien il y a de jetons sur la carte. Tu es prêt?* ». Ensuite, deux cartes sont posées devant l'enfant : « *Maintenant, je vais te montrer une carte avec des jetons bleus et une autre carte avec des jetons jaunes. Toi, tu vas me montrer le plus vite possible là où il y a le plus de jetons. D'accord?* ».

II.3.2.3. Épreuves informatiques

Pour éviter un biais méthodologique, le même ordinateur a été utilisé lors de chaque passation. Le temps de réponse, support d'analyse de cette présente étude, doit être enregistré de façon très précise. Ainsi, l'utilisation d'un unique ordinateur permet d'éviter des écarts liés à la rapidité et à la puissance de cet outil.

➤ Tâche d'identification de points

L'examineur place l'ordinateur face à l'enfant et s'assure qu'aucun paramètre extérieur ne puisse gêner la passation. « *Maintenant, on va faire un jeu sur l'ordinateur. Tu vas voir des jetons apparaître sur l'écran (lui montrer), tu dois me dire le plus vite possible combien tu en vois. D'accord?* ».

Avant de débiter l'épreuve, trois exemples sont proposés à l'enfant. Ils permettent d'étudier le comportement de l'enfant face à la tâche. Ainsi, l'examineur a la possibilité de réexpliquer les consignes à l'enfant si nécessaire : « *Tu as le droit de compter si cela t'aide mais si tu connais la réponse, tu me la donnes tout de suite, tu n'as pas besoin de compter pour vérifier. Tu dois aller vite vite vite. Tu es prêt?* ».

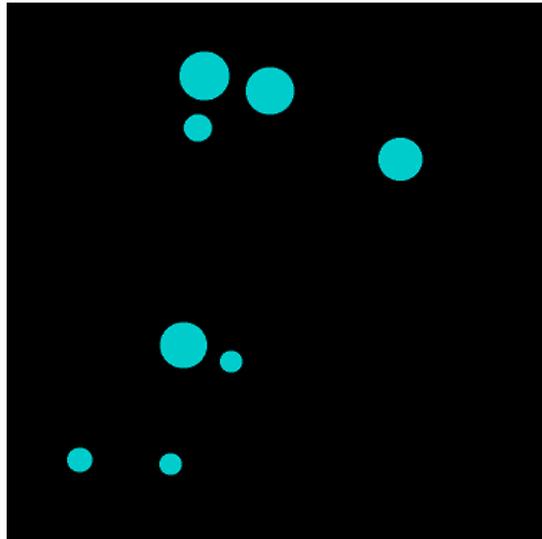


Figure 3: Exemple de planche présentée à l'enfant lors de la tâche d'identification

➤ Tâche de comparaison de points

Une gommette jaune et une gommette bleue ont été collées sur les deux touches nécessaires pour l'épreuve, afin d'aider l'enfant avec un repère visuel. L'examineur explique à l'enfant : « *Là, tu vas voir des jetons jaunes (montrer la partie droite de l'écran) et là des jetons bleus (montrer la partie gauche de l'écran). Toi, tu dois appuyer sur la touche bleue quand il y a plus de jetons bleus et sur la touche jaune quand il y a plus de jetons jaunes. Tu dois aller vite vite vite. Tu es prêt ?* ».

Comme pour la tâche d'identification de points, trois exemples précèdent l'épreuve. Si l'enfant ne parvient pas à appuyer sur une seule touche à la fois ou s'il est perdu face à la tâche, l'examineur recommence l'épreuve. « *Maintenant, je vais appuyer sur les touches et toi tu vas juste me montrer sur l'écran là où il y a le plus de jetons* ».

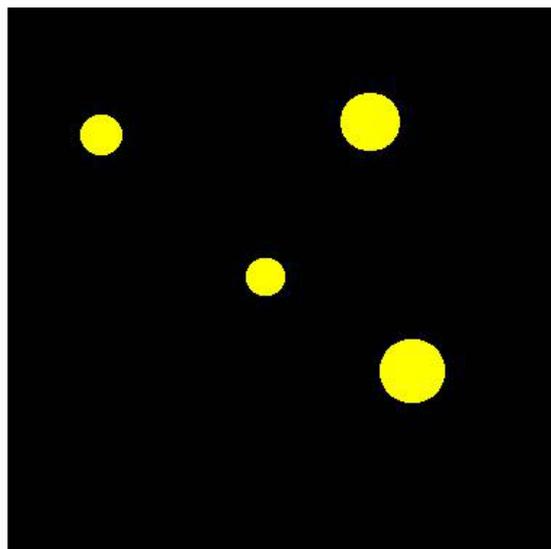
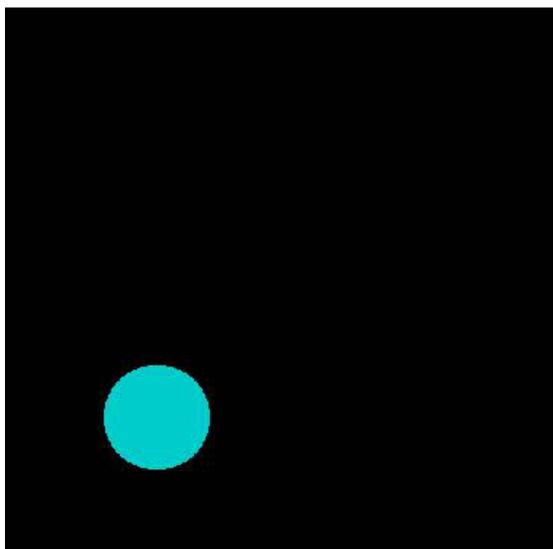


Figure 4 : Exemple de planche présentée à l'enfant lors de la tâche de comparaison, correspondant à l'évaluation du SNP

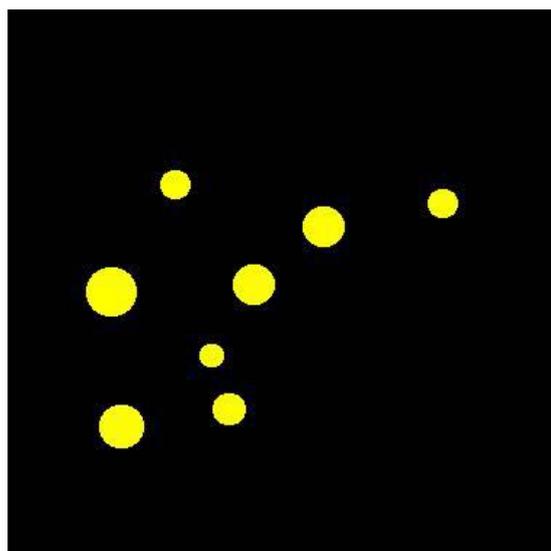
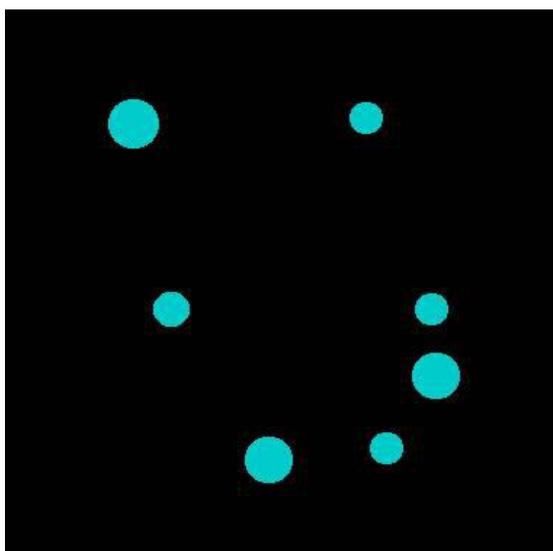


Figure 5 : Exemple de planche présentée à l'enfant lors de la tâche de comparaison d'ensemble de points, correspondant à l'évaluation du SNA

Partie IV : Résultats et analyse

I. INTRODUCTION

Suite aux différentes épreuves effectuées, tous les résultats ont été recensés, par enfant et par tâche. Les groupes d'âges n'étant pas assez conséquents pour servir de base à une analyse statistique, les calculs réalisés se sont basés sur l'ensemble des résultats de chaque population.

Ainsi, des moyennes sont calculées afin de comparer les deux populations. Par ailleurs, pour savoir si les différences constatées sont réellement significatives et témoignent objectivement d'un décalage inter-population, des ANOVA, analyses de variance, sont réalisées. Cette analyse, à un facteur, permet de ce fait d'étudier et de comparer notamment les résultats de la population normo-entendante, pour une tâche donnée, avec ceux de la population sourde. Son calcul permet l'obtention d'une « p value », dont la valeur représente la probabilité d'obtenir le même nombre dans le même échantillon (Annexe 9).

De plus, des coefficients de corrélation sont également calculés, afin d'émettre l'hypothèse d'un lien entre les différentes épreuves. Ces coefficients sont notamment utilisés dans le but d'établir un rapport entre certains résultats issus des épreuves cognitives et les résultats aux tâches expérimentales. Ils permettent également de nuancer l'interprétation des résultats obtenus et d'éviter tout biais. Ce coefficient est interprété selon sa valeur : s'il est supérieur à $|0,5|$, il est associé à une forte corrélation entre deux résultats, mais s'il est inférieur à $|0,5|$, la corrélation est faible.

II. AGE

Au préalable, cinq groupes d'âges avaient été constitués pour chaque population, de six mois en six mois, afin d'obtenir des populations les plus semblables possible en âge. Même si cette répartition n'a pu servir de base pour l'analyse statistique, à cause d'un faible nombre d'individus, elle a permis de fournir une meilleure homogénéité dans la constitution de chacune des populations. L'âge de chaque individu est ainsi compris entre 50 et 76 mois pour les enfants entendants, et 51 et 76 mois pour les enfants sourds.

	Etendue de l'âge	Médiane
Enfants entendants	50 à 76 mois	64
Enfants sourds	51 à 76 mois	62

Tableau 1 : Description de la population en fonction de l'âge

Cette observation se concrétise d'ailleurs dans les calculs des moyennes effectués. En effet, la moyenne d'âge des enfants normo-entendants s'élève à 62,9 mois, et celle des enfants atteints de surdité à 62 mois.

Au-delà de l'analyse qualitative des moyennes, témoignant d'une différence très faible entre les deux populations, une ANOVA est nécessaire. En effet, il est important d'établir, quantitativement, l'existence ou non d'une différence significative entre les âges des deux populations. S'il existe une différence, la comparaison intergroupe serait biaisée et l'analyse des résultats, issus de toutes les épreuves effectuées lors du protocole, serait compromise.

Ainsi, suite à l'ANOVA effectuée, avec $F(1,39) = 0.10$ et $p = 0.75$, l'effet de groupe n'est pas significatif. Les deux échantillons différents ont les mêmes caractéristiques et peuvent donc être apparentés à un seul et même groupe. En somme, ces deux populations peuvent être considérées comme semblables et sont sujettes à une analyse comparative.

Qui plus est, il est à noter que des corrélations sont établies entre l'âge de l'individu et les résultats aux tâches expérimentales d'identification et de comparaison de collections. Effectivement, avec des coefficients $r_1 = 0.74$ pour les enfants entendants, et $r_2 = 0.66$ pour les enfants sourds, concernant la tâche non-verbale, une dépendance ressort nettement. Quant à la tâche verbale, un lien avec l'âge de l'enfant est distinctement mis en évidence chez les enfants entendants, avec un coefficient $r_3 = 0.54$. En revanche, cette présente étude établit un coefficient $r_4 = 0.42$ chez les enfants sourds, ce qui paraît peu probable. Les résultats sont à analyser avec précaution, au vu de l'effectif moins élevé chez la population sourde que chez la population normo-entendante.

III. EPREUVES COGNITIVES

III.1. Complétion des formes de la BREV

III.1.1. Analyse descriptive des scores issus de la BREV

Lors de la tâche de la complétion des formes de la BREV, les enfants entendants montrent des performances légèrement meilleures par rapport aux enfants atteints de surdité, comme le montrent les pourcentages d'individus pour un score donné.

SCORE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12
EE	20	4	0	4	12	12	8	4	16	8	8	4
ES	12,5	0	12,5	0	18,8	18,7	18,8	12,5	6,2	0	0	0

Tableau 2 : Pourcentage d'individus par score des matrices (%)

Tout d'abord, il est important de noter que 20% des enfants normo-entendants n'ont pu réussir une seule matrice, comparé à 12,5% chez la population sourde. Par ailleurs, une majorité d'individus, dans les deux populations, présentent des scores compris entre 4 et 8. En effet, 52% d'enfants normo-entendants et 75% d'enfants sourds mettent en évidence des scores inclus dans cet intervalle.

D'une part, la médiane est équivalente pour les deux populations avec $Me = 5$. D'autre part, les enfants normo-entendants ont un score moyen de 5,28, pour une moyenne à 4,44 chez les enfants sourds.

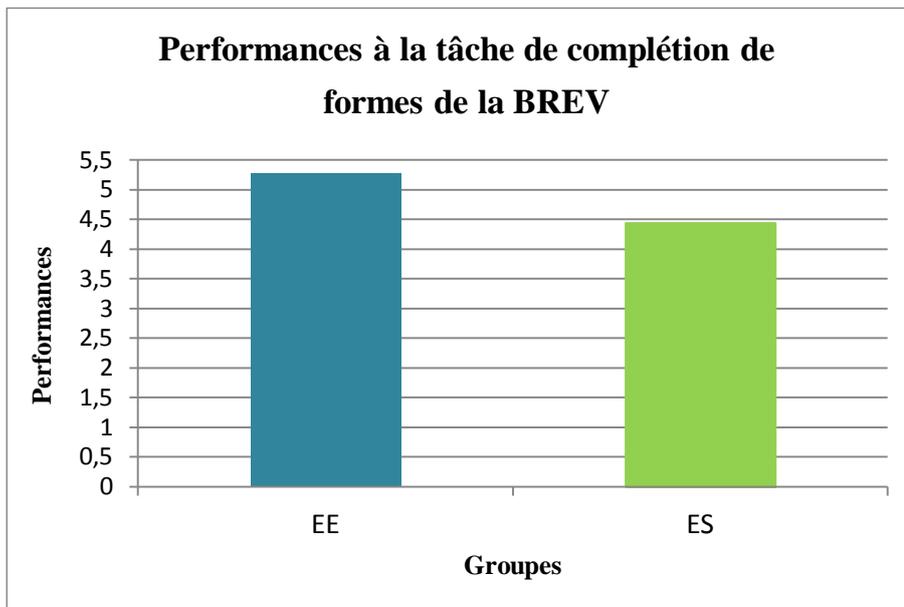


Figure 6 : Performances de chaque groupe à la tâche de complétion de formes de la BREV

III.1.2. Analyse quantitative des scores issus de la BREV

Statistiquement, l'ANOVA effectuée ne témoigne pas d'un effet de groupe significatif, avec $F(1,39) = 0.67$ et $p = 0.42$. Les enfants sourds ne présentent donc pas des performances de raisonnement non-verbal significativement différentes vis-à-vis des enfants entendants. De ce fait, les capacités de raisonnement ne peuvent constituer un biais aux résultats des tâches expérimentales. Cette potentielle variable confondue peut ainsi être écartée.

Par ailleurs, une corrélation a été calculée entre les résultats à la tâche non-verbale et les résultats aux matrices de la BREV. Des coefficients à $r_5 = 0.76$ pour les enfants sourds et à $r_6 = 0.45$ pour les enfants normo-entendants, montrent une corrélation significative entre le raisonnement non-verbal et la tâche de comparaison de quantités seulement chez les enfants sourds. Ainsi, au sein de cette population, l'existence d'un certain degré de dépendance entre chacune de ces deux épreuves est très probable.

III.2. Langage

III.2.1. Analyse descriptive des résultats issus de l'évaluation du langage

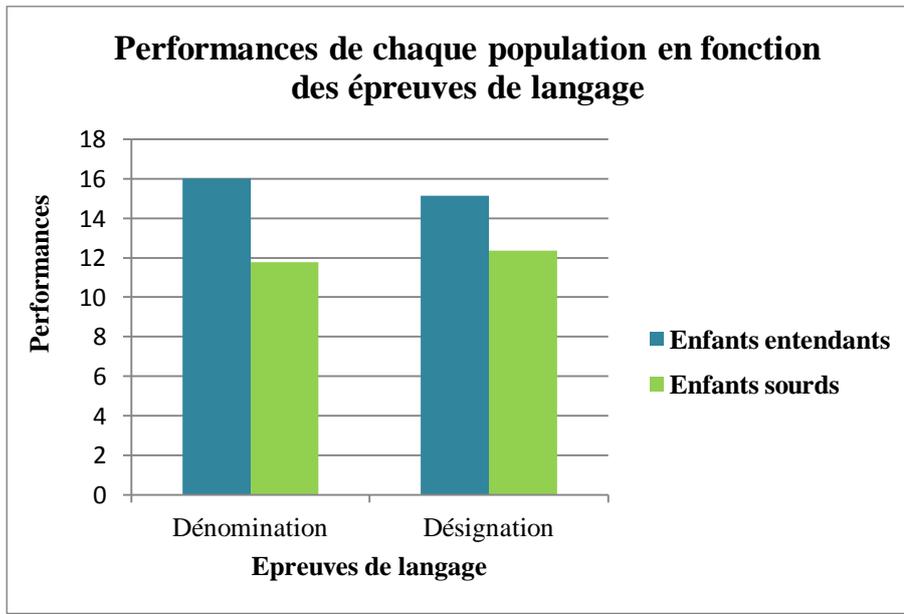


Figure 7 : Performances de chaque population en fonction des épreuves de langage

Concernant la tâche de langage, les résultats des deux épreuves de lexique en production et de lexique en réception ont été regroupés en un seul score global. Il est tout de même intéressant de constater qu'un décalage inter-population est visible dans chacune des épreuves effectuées, que ce soit sur le versant expressif ou le versant réceptif. Effectivement, dans la tâche de dénomination d'images, les enfants entendants ont un score moyen de 16 sur 20 contre un score d'environ 11,8 chez les enfants sourds. De même, la population normo-entendante accède à un score d'environ 15 sur 20 à la tâche de désignation d'images, contre un score d'environ 12,4 chez la population sourde.

Par ailleurs, puisque les deux modalités de réponse, orale ou gestuelle, étaient acceptées au sein du protocole de recherche, il semble important de mentionner que cinq enfants sourds se sont servis de la modalité orale et/ou gestuelle, soit 31% de la population sourde.

Néanmoins, la fréquence d'utilisation de chaque modalité ne témoigne pas de la même répartition pour chaque individu.

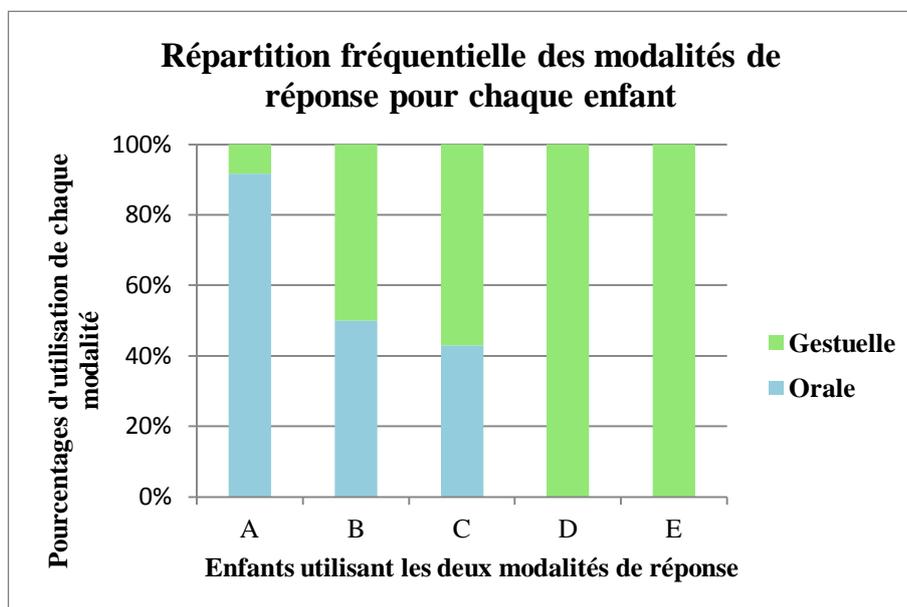


Figure 8 : Répartition fréquentielle des modalités de réponse en fonction de chaque enfant

En définitive, 69% de la population sourde, donc une grande majorité, a préféré l'utilisation spontanée de la modalité orale à l'utilisation de la LSF. Parmi la population restante, plus de la moitié des enfants s'est servi des deux modalités, avec des schémas de répartition différents. Seulement deux enfants ont utilisé exclusivement la modalité gestuelle.

III.2.2. Description quantitative

D'un point de vue général, lors de la mise en commun des deux épreuves de langage, une différence inter-population est marquée de façon plus évidente. Effectivement, l'écart entre le score moyen de 31,13 chez la population normo-entendante et celui de 24,16 chez la population sourde est notable.

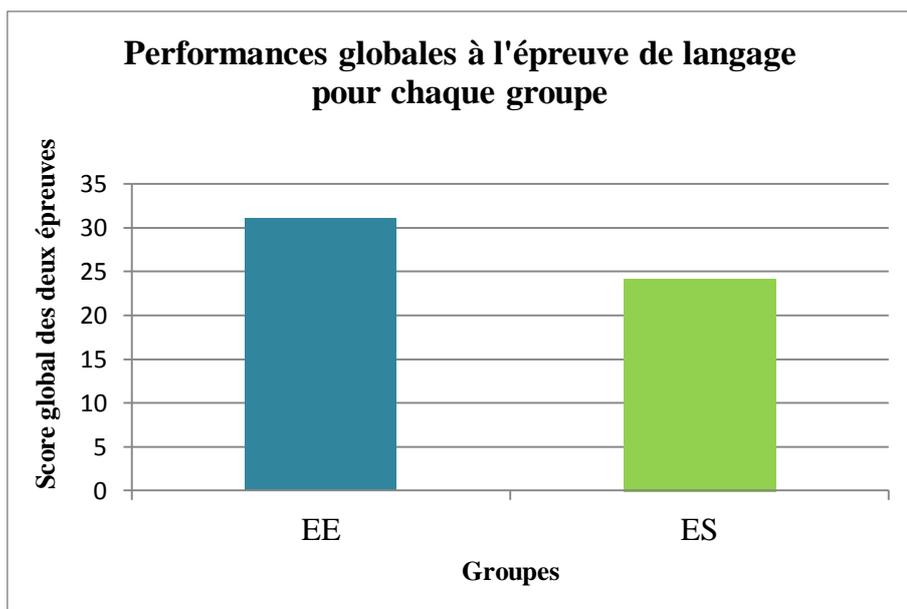


Figure 9 : Performances globales à l'épreuve de langage pour chaque groupe

Comme le révèle la différence de moyennes, l'ANOVA effectuée témoigne cette fois d'un effet de groupe significatif avec $F(1,39) = 29.86$ et $p = 2.87 \text{ E-}06$. Ainsi, l'existence d'un réel décalage relatif aux performances de langage, entre la population normo-entendante et la population sourde, est fortement probable.

Toutefois, il est à noter que les performances dans les tâches de langage n'interfèrent pas avec la tâche verbale expérimentale. Effectivement, avec des coefficients $r_7 = 0.34$ pour les enfants sourds et $r_8 = 0.033$ pour les enfants entendants, aucune corrélation ne peut être établie entre ces deux épreuves.

III.3. Chaîne numérique

III.3.1. Analyse descriptive des résultats issus de l'épreuve de la comptine numérique

Pour rappel, la notation de la chaîne numérique s'est effectuée ainsi :

- Comptine jusqu'à 10 inclus pour « le plus loin possible » : 1 point, et jusqu'à 30 inclus, sans erreur : 2 points
- Compter à partir de trois : 1 point

- Compter jusqu'à neuf : 1 point
- Compter de trois à sept : 1 point

Ainsi, pour chaque score donné, le tableau ci-dessous établit le pourcentage d'individus concernés.

SCORE	0	1	2	3	4	5
EE	8	16	32	36	4	4
ES	37	12,5	25	18,75	6,25	0

Tableau 3 : Pourcentage d'individus par score de la chaîne numérique (%)

De plus, il est intéressant de noter que l'erreur la plus fréquente provient du second item du protocole d'évaluation de la chaîne numérique. En effet, aucun enfant, hormis deux individus dans chaque population, n'a pu comprendre la notion « compter à partir de » ou du moins répondre correctement à cette question. Arrivés à cet item, soit les enfants ne pouvaient fournir une réponse, soit ils interprétaient la question comme « compter jusqu'à ». La plupart des productions des enfants sont formulées comme suit : « un, deux, trois ».

III.3.2. Description quantitative

Des moyennes ont été calculées sur la base de cette cotation. Elles s'élèvent respectivement à 2,24 chez les enfants normo-entendants, et à 1,44 pour les enfants sourds. Les enfants du groupe contrôle ont donc globalement de meilleures compétences dans l'acquisition de la chaîne numérique.

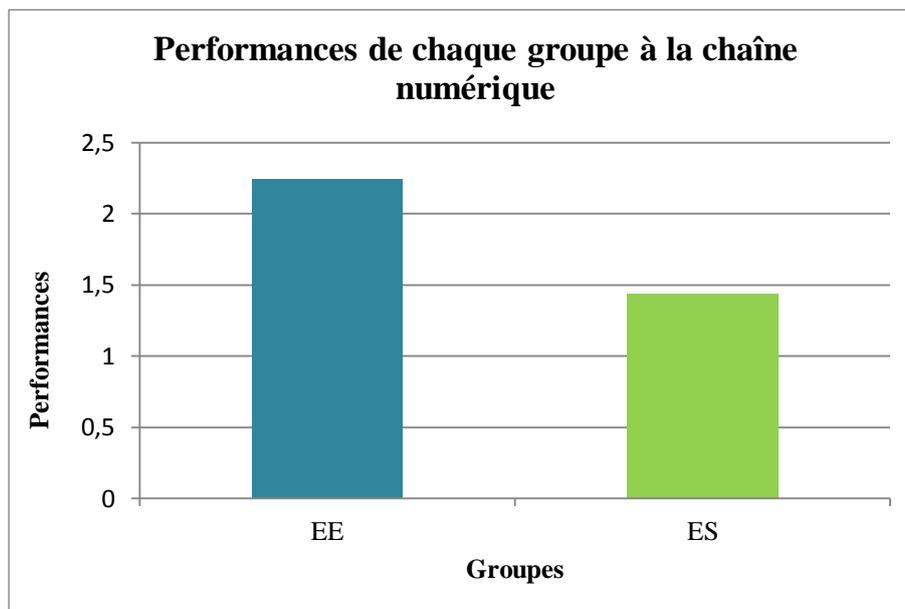


Figure 10 : Performances de chaque groupe à la chaîne numérique

Néanmoins, l'analyse de variance ne met pas en évidence un effet de groupe significatif, avec $F(1,41) = 4.05$ et $p = 0.05$. Ainsi, elle stipule que les deux populations présentent le même profil et sont apparentées. L'existence d'un décalage significatif concernant les compétences en termes de comptine numérique est peu probable. Chez les enfants sourds, selon ces résultats, la chaîne numérique ne s'acquière donc pas différemment des enfants entendants.

Par ailleurs, une nette corrélation est identifiée entre les tâches verbales expérimentales et la chaîne numérique, que ce soit pour la population sourde ou la population entendante. Effectivement, avec des coefficients respectifs à $r_9 = 0.61$ et $r_{10} = 0.56$, il est très vraisemblable que l'acquisition de la chaîne numérique soit en lien avec l'identification de collections. A contrario, avec des coefficients à $r_{11} = 0.39$ et $r_{12} = 0.40$, un lien entre les tâches non-verbales de comparaison de collections et la comptine numérique n'est pas démontrée.

III.4. Cubes de Corsi

III.4.1. Description qualitative des résultats

A propos de la tâche de mémoire visuo-spatiale, inspirée des Cubes de Corsi, un seul individu de la population normo-entendante n'a pu effectuer l'épreuve. L'évaluation concerne donc 25 individus normo-entendants et 16 individus atteints de surdité.

D'un point de vue général, les empan mnésiques visuo-spatiaux des deux populations s'étendent de deux à cinq, et l'empan de six est atteint pour un seul individu de la population contrôle. La répartition des individus en fonction de leur empan est décrite par le graphique ci-dessous.

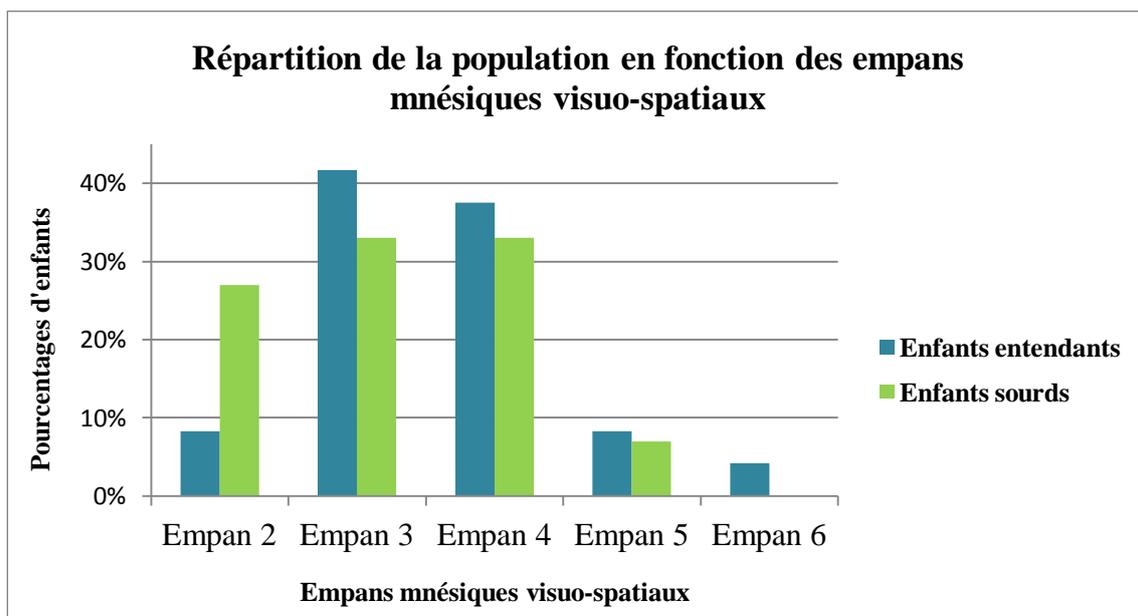


Figure 11 : Répartition de la population en fonction des empan mnésiques visuo-spatiaux (en %)

De ce fait, pour chaque population, les empan de trois et quatre items sont les plus fréquents. En effet, ces deux empan concernent, au total, 66% d'enfants sourds et 79,2% d'enfants entendants.

III.4.2. Description quantitative des résultats

Concernant la tâche de mémoire visuo-spatiale, la moyenne des scores est relativement équivalente pour chaque population. En effet, avec des moyennes de 3,44 et 3,19, les enfants entendants et les enfants sourds présentent approximativement les mêmes performances.

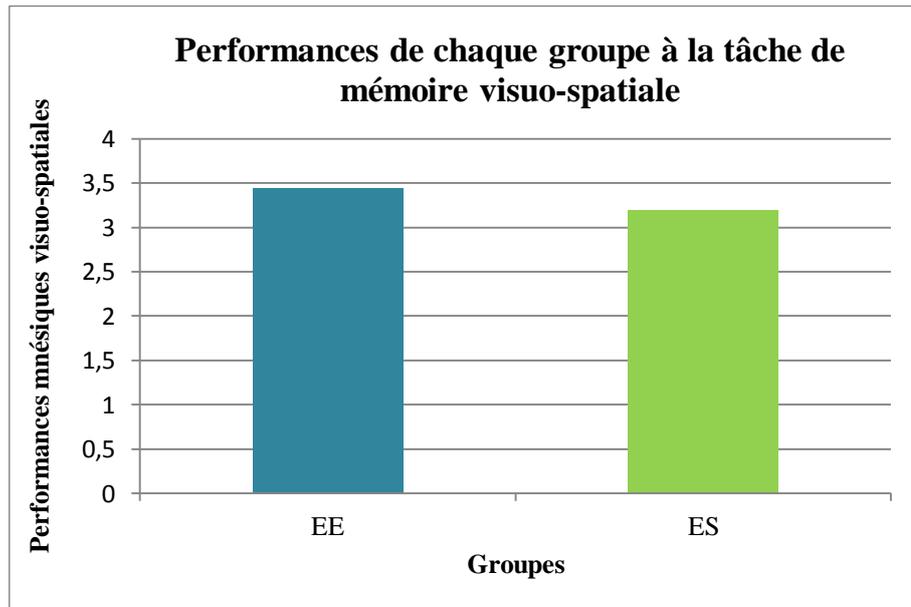


Figure 12 : Performances de chaque groupe à la tâche de mémoire visuo-spatiale

D'ailleurs, l'analyse de variance, $F(1,39) = 0.50$ et $p = 0.48$, valide ce constat. Les deux populations présentent le même profil de résultats et l'effet de groupe n'est ainsi pas significatif. Lors de cette présente étude, les deux populations montrent des compétences mnésiques visuo-spatiales semblables. De plus, avec des coefficients de $r_{13} = 0.55$ et $r_{14} = 0.50$, une corrélation entre la mémoire visuo-spatiale et les tâches d'identification de collections peut être mise en évidence, d'autant plus chez les enfants sourds que chez les enfants entendants.

IV.TACHES EXPERIMENTALES

IV.1. Tâche verbale d'identification

IV.1.1. Analyse statistique

L'analyse statistique des résultats obtenus lors de la tâche verbale d'identification se base sur une population de 24 enfants entendants et de 15 enfants sourds. En effet, la passation de l'épreuve n'a pas été possible pour un enfant de chaque groupe.

IV.1.2. Performances

	Taux de bonnes réponses compris entre:			
	0 et 25%	25 et 50%	50 et 75%	75 et 100%
Enfants entendants	0%	8,33%	45,83%	45,83%
Enfants sourds	0%	20%	47%	33%

Tableau 4 : Pourcentage d'individus répartis selon le taux de bonnes réponses

Selon le tableau ci-dessus, la majorité des enfants sourds, soit 47%, obtiennent entre 50 et 75% de réponses correctes à la tâche d'identification. Chez les enfants entendants, la répartition des individus est identique pour l'intervalle 50 à 75% et pour l'intervalle 75 à 100%. Ainsi, 45,83% de la population du groupe contrôle constituent chacun de ces intervalles.

Il est intéressant de noter la différence importante existante entre les deux populations dans l'intervalle 25 à 50% de bonnes réponses. En effet, alors que 20% des enfants sourds ont obtenu entre 25 et 50% de réponses correctes, seuls 8,33% des enfants entendants se situent dans cet intervalle. Ces résultats révèlent que, face à l'épreuve d'identification, plus d'enfants

sourds que d'enfants entendants se sont retrouvés en difficulté face à la tâche et ont par conséquent obtenu une note faible.

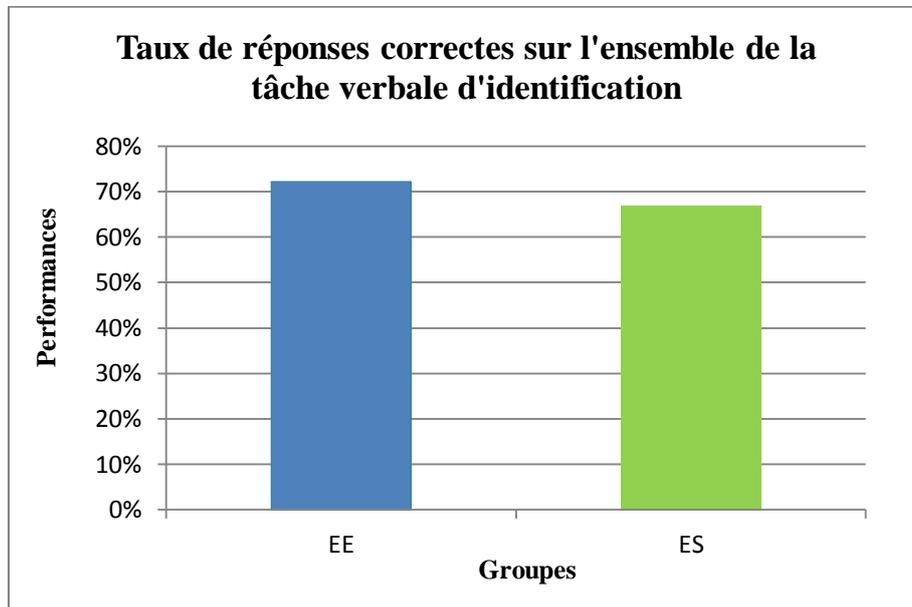


Figure 13 : Taux de réponses correctes sur l'ensemble de la tâche verbale d'identification (en %)

Lors de la tâche verbale, les enfants sourds ont des performances légèrement inférieures à celles des enfants entendants. En effet, sur l'ensemble de la tâche, le taux de bonnes réponses est de 66,91% chez les enfants sourds alors qu'il est de 72,22% chez les enfants entendants. En moyenne, les enfants sourds obtiennent un score de 18 sur 27 et les enfants entendants, un score de 19,5.

Cependant, l'ANOVA témoigne d'un effet de groupe non significatif avec $F(1,37)=0.72$, $p = 0.4$. Les performances globales des enfants sourds, lors de la tâche verbale, ne diffèrent donc pas de manière significative de celles des enfants entendants.

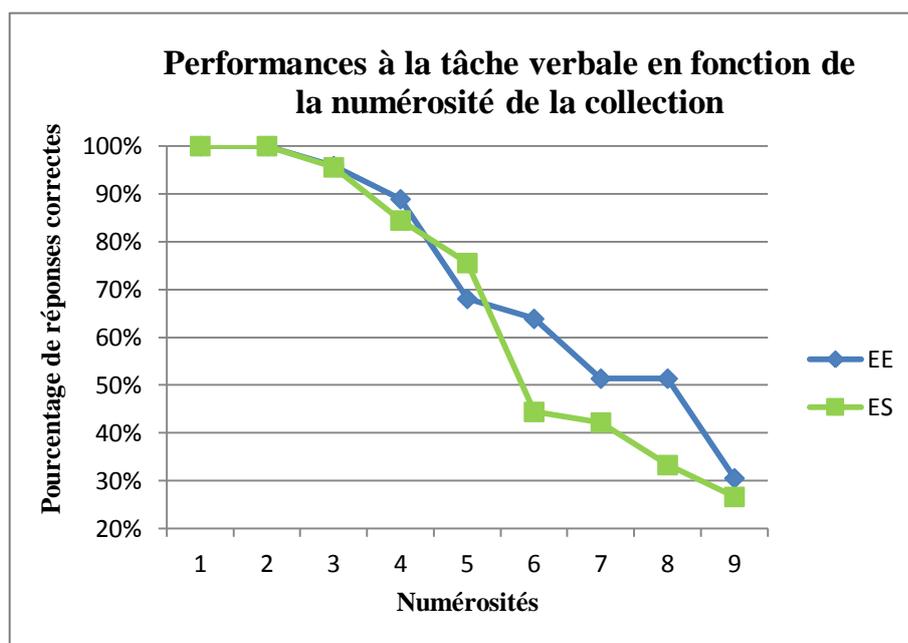


Figure 14 : Performances à la tâche verbale en fonction de la numérosité de la collection

Plus précisément, le graphique ci-dessus, associant pour chaque numérosité le pourcentage de réponses correctes, révèle que les courbes des deux groupes ont la même allure. Celles-ci sont quasiment confondues jusqu'à la quantité cinq. Ensuite, pour les quantités supérieures, l'écart se creuse entre les deux courbes. En effet, les enfants sourds obtiennent des taux de bonnes réponses inférieurs à ceux des enfants du groupe contrôle. Par exemple, pour la quantité six, alors que le pourcentage de bonnes réponses chez les enfants entendants est de 63,89%, il n'est que de 44,44% chez les enfants sourds.

	Petites quantités (12 items)		Grandes quantités (15 items)	
	Moyenne	Pourcentage	Moyenne	Pourcentage
Enfants entendants	11,54	96,18%	7,96	53,06%
Enfants sourds	11,4	95,00%	6,67	44,44%

Tableau 5 : Moyenne et taux de réussite pour chaque groupe en fonction de la taille des collections (en %)

De manière plus globale, pour les collections de petites quantités, de un à quatre, le taux de bonnes réponses est quasiment identique pour les enfants sourds, 95%, et les enfants entendants, 96,18%. En revanche, l'écart entre les deux groupes est plus important pour les grandes collections, de cinq à neuf. En effet, le taux de bonnes réponses est de 44,44%, chez les enfants sourds contre 53,06% chez les enfants entendants.

Néanmoins, l'ANOVA révèle que l'effet de groupe n'est pas significatif, quelle que soit la taille de la collection. On obtient $F(1,37) = 0.2$, $p = 0.65$ pour les petites quantités et $F(1,37) = 0.75$, $p = 0.39$ pour les grandes quantités. Les enfants sourds ont donc des performances quasiment similaires à celles des enfants entendants, pour les petites comme pour les grandes quantités.

IV.1.3. Effet de taille

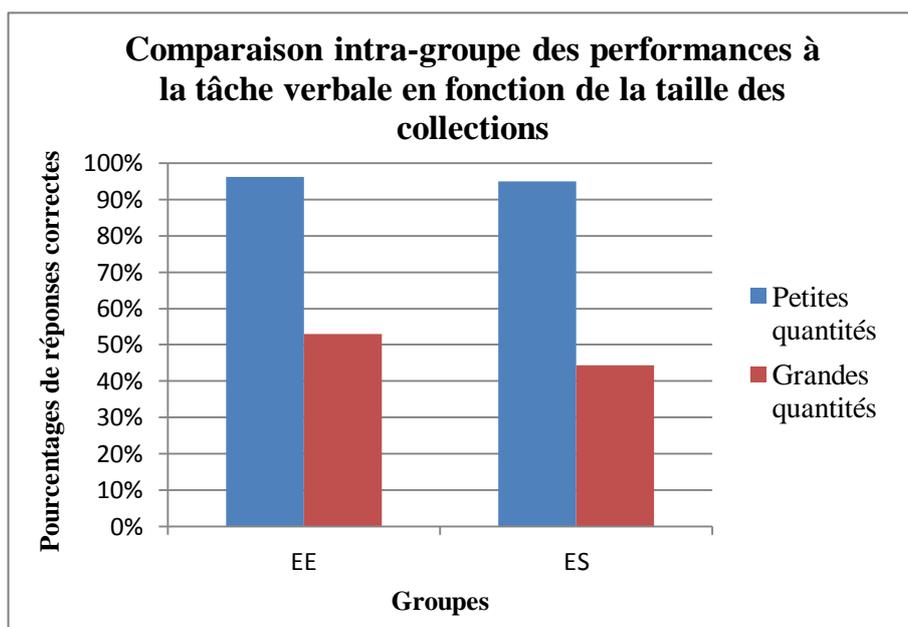


Figure 15 : Comparaison intra-groupe des performances à la tâche verbale en fonction de la taille des collections

Par ailleurs, l'analyse des résultats a pu mettre en évidence un effet de taille. En effet, les petites quantités sont identifiées plus facilement que les grandes quantités. Chez les enfants entendants, le taux de bonnes réponses pour les petites quantités, de 96,18%, chute à 53,06% pour les grandes quantités. Ce phénomène est également observé chez les enfants sourds, de manière encore plus importante. Effectivement, le taux de réussite s'élève à 95%

pour les petites quantités contre 44,44% pour les grandes quantités. L'ANOVA effectuée permet de confirmer ce constat. Elle révèle que cet effet de taille observé est significatif aussi bien chez les enfants entendants ($F(1,46) = 14,3, p < 0.001$) que chez les enfants sourds ($F(1,28) = 16,1, p = <0.001$).

	Petites quantités	Grandes quantités
Enfants entendants	0,28%	9,44%
Enfants sourds	0%	8,00%

Tableau 6 : Taux de non-réponse en fonction de la taille des collections (en %)

L'analyse des taux de non-réponse sur la tâche non-verbale apporte quelques précisions. Elle révèle que les deux populations se trouvent plus en difficulté face à des grandes collections. En effet, face à des petites collections, les taux de non-réponse sont très faibles pour les deux groupes, avec 0% chez les enfants sourds et 0,28% chez les enfants entendants. Pour les plus grandes quantités, les taux de non-réponse augmentent avec 9,44% chez les enfants normo-entendants et 8% chez les enfants sourds.

IV.1.4. Précision des réponses

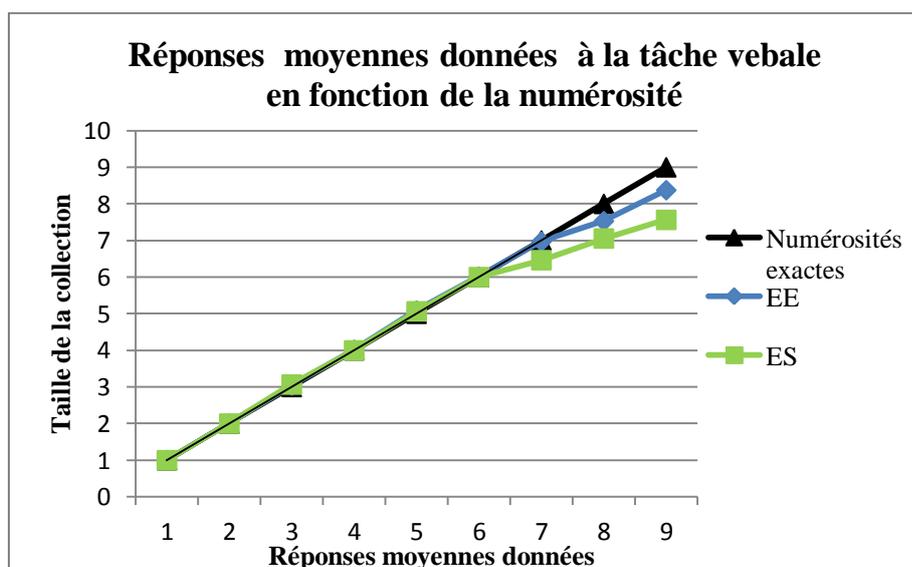


Figure 16 : Réponses moyennes données à la tâche verbale en fonction de la numérosité

Sur l'ensemble de la tâche verbale, les courbes des deux groupes, représentant les réponses moyennes données selon la taille des collections, suivent la même tendance. Effectivement, jusqu'à la numérosité six, elles sont linéaires et quasiment superposées à la courbe correspondant aux numérosités exactes. Au-delà de six, elles dévient toutes les deux légèrement et se détachent de la courbe de référence. Ainsi, les réponses données pour les grandes quantités sont plus éloignées des numérosités exactes, ce qui met en évidence une diminution de la précision des réponses avec l'augmentation des quantités à partir de six.

Le calcul des pourcentages de déviation pour chaque numérosité permet de donner des résultats plus précis. Ils ont été obtenus par l'application de la formule suivante : [(réponse donnée par le participant - numérosité exacte)/numérosité exacte]*100.

		Numérosités								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
EE		0%	0%	1,39%	0,35%	1,74%	0,24%	-0,43%	-5,87%	-6,94%
ES		0%	0%	2,22%	0%	1,33%	0%	-7,67%	-11,81%	-15,95%

Tableau 7 : Pourcentages de déviation en fonction de la numérosité sur la tâche verbale pour chaque groupe d'individus

Le tableau ci-dessus montre que, jusqu'à la numérosité six, les pourcentages de déviation sont très faibles, ne dépassant pas les 2,22%. Ces pourcentages positifs traduisent une faible surestimation des quantités par les deux populations. Pour les numérosités supérieures, la tendance s'inverse car les deux groupes ont tendance à sous-estimer les quantités. Ce phénomène est cependant plus important chez les enfants sourds. Par exemple, pour la numérosité neuf, alors que le pourcentage de déviation est de -15,95% chez les enfants sourds, il n'est que de -6,94% chez les enfants entendants.

Pour résumer, lors de la tâche verbale d'identification, les enfants sourds sont aussi précis dans leurs réponses que les enfants entendants, pour les numérosités allant jusqu'à six.

En effet, les pourcentages de déviation sont très faibles pour les deux populations. Au-delà de six, ces pourcentages deviennent plus importants et témoignent d'un phénomène de sous-estimation. Ce phénomène, observé dans les deux groupes d'enfants est tout de même plus marqué chez les enfants sourds.

IV.1.5. Temps de réaction

Lors de la tâche verbale, les temps de réaction pour chaque item ont été enregistrés par l'ordinateur, de manière très précise. Ensuite, ces temps ont été regroupés par numérosité. Seuls ceux associés à une réponse correcte ont été pris en compte dans l'analyse statistique.

IV.1.5.1. Temps de réaction : comparaison entre enfants sourds et enfants entendants

	Petites quantités		Grandes quantités		Total	
	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane
EE	1716,76	1422,47	4470,39	4412,06	2876,18	2304,69
ES	1847,02	1648,89	4175,75	4175,75	2709,51	2187,79

Tableau 8 : Temps de réaction médians et moyens pour l'ensemble de la tâche, les petites quantités et les grandes quantités (en ms)

La comparaison des temps de réaction moyens permet de mettre en évidence de petites différences entre les deux groupes. Sur l'ensemble de la tâche d'identification, les enfants sourds se montrent légèrement plus rapides que les enfants entendants avec un temps moyen de 2709,51 ms contre 2876,18 ms chez les enfants entendants. Néanmoins, cette légère différence n'est pas statistiquement significative comme en témoigne l'analyse de variance avec $F(1,743) = 1.62, p = 0.2$.

De manière plus précise, les enfants sourds, avec un temps moyen de 1847,02 ms, sont plus lents pour les petites quantités que les enfants du groupe contrôle, dont le temps moyen

est de 1716,76 ms. Cependant, l'ANOVA effectuée révèle que l'effet de groupe n'est pas significatif avec $F(1, 443) = 2.30, p = 0.13$.

La tendance s'inverse pour les grandes quantités. Ainsi, les enfants sourds se montrent plus rapides que les enfants entendants. En effet, alors que le temps moyen est de 4265,95 ms chez les enfants sourds, il passe à 4470,39 ms chez les enfants normo-entendants. Statistiquement, cette différence constatée n'est pas significative, avec $F(1,298) = 2.74, p = 0.1$.

En somme, même si les statistiques descriptives révèlent quelques différences au niveau des temps de réaction entre les deux populations, celles-ci ne sont pas significatives.

IV.5.1.2. Limite du subitizing

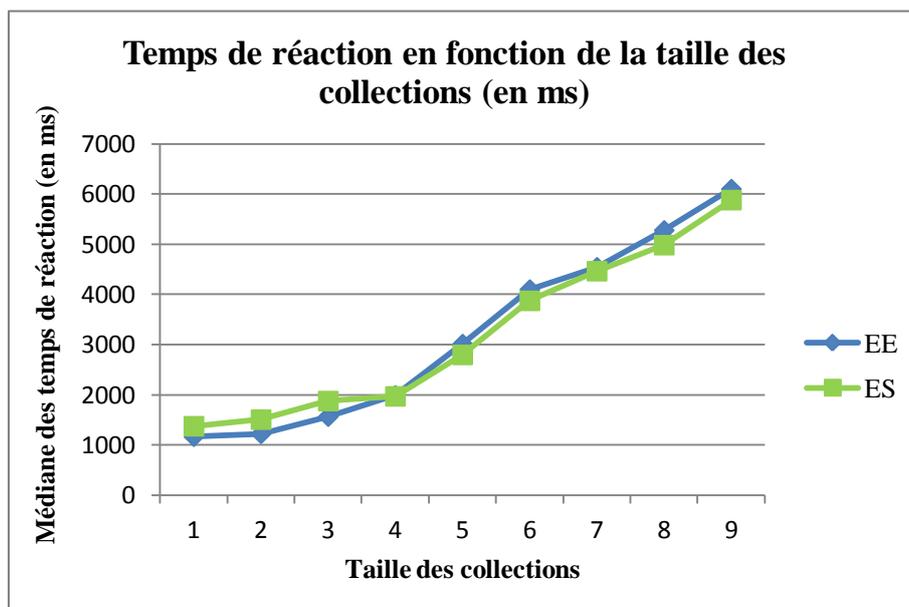


Figure 17 : Temps de réaction en fonction de la taille des collections (en ms)

L'enregistrement des temps de réponses effectué lors de la tâche verbale permet également de déterminer l'étendue du subitizing. En effet, l'augmentation brutale des temps de réaction à partir d'une certaine quantité détermine la limite du subitizing. La courbe des résultats obtenus révèle, dans les deux groupes, une augmentation brutale des temps de réaction entre les quantités quatre et cinq. En effet, jusqu'à la quantité quatre, le temps de réponses médian pour chaque numérosité, est inférieur à 2000 ms et la différence entre les

temps de réponse est faible. Par la suite, dans les deux groupes d'enfants, les temps de réponse augmentent brutalement entre les numérosités quatre et cinq, passant de 1990.11 ms à 3013.95 ms chez les enfants entendants et de 1969.99 ms à 2796.50 ms chez les enfants sourds. Au-delà de la quantité cinq, les temps de réponses médians augmentent conjointement avec l'accroissement des quantités.

Les différentes ANOVA réalisées révèlent que les différences les plus significatives entre les temps de réaction moyens sont retrouvées entre les quantités quatre et cinq pour les deux groupes, avec $F(1,113) = 21.11$, $p < 0.001$ pour les enfants entendants et $F(1,67) = 17.77$, $p < 0.001$ pour les enfants sourds. Cependant, les ANOVA effectuées pour d'autres planches viennent nuancer la limite du subitizing à quatre, mise en évidence sur les courbes des temps de réponse de chaque groupe.

Chez les enfants entendants, l'ANOVA révèle que les temps de réaction ne diffèrent pas de manière significative pour les quantités une et deux, avec $F(1,141) = 3.10$, $p = 0.08$ ainsi que pour les quantités deux et trois, avec $F(1,136) = 0.83$, $p = 0.36$. Une différence significative entre les temps de réaction est observée lors de la comparaison entre les quantités trois et quatre, avec $F(1,130) = 13.77$, $p = < 0.001$. La limite du subitizing, chez les enfants entendants, se situerait donc à trois. Cependant, la différence entre les temps de réaction est encore plus significative pour les quantités quatre et cinq.

Chez les enfants sourds, il est difficile de déterminer l'étendue du subitizing. En effet, aucune différence significative des temps de réaction n'est observée entre les quantités une et deux, avec $F(1,86) = 0.61$, $p = 0.44$. En revanche, une ANOVA effectuée pour les quantités deux et trois met en évidence une différence significative entre les temps de réponse, avec $F(1,85) = 12.51$, $p < 0.001$. La limite du subitizing devrait donc se situer à deux. Cependant, l'analyse de variance réalisée pour les quantités trois et quatre montre qu'il n'existe pas de différence significative des temps de réponse entre ces deux quantités, avec $F(1,78) = 2.67$, $p = 0.1$. Une différence significative est retrouvée entre les quantités quatre et cinq avec $F(1,67) = 17.77$, $p < 0.001$. Il est donc difficile de situer précisément la limite du subitizing.

IV.1.6. Conclusion

En résumé, sur la tâche verbale, les enfants sourds ont des performances non significativement différentes de celles des enfants entendants. De plus, ils sont sensibles, tout comme les enfants entendants à l'effet de taille. En effet, les items correspondant aux petites quantités sont mieux réussis que ceux associés aux grandes quantités. De plus, l'analyse des temps de réaction témoigne de différences non significatives entre les deux groupes. Les enfants sourds sont donc aussi rapides que les enfants entendants lors de la tâche d'identification verbale.

IV.2. Tâche non-verbale de comparaison

IV.2.1. Introduction

Pour rappel, la tâche non-verbale de comparaison comporte 27 items répartis en deux catégories :

- le Système Numérique Précis (SNP) correspondant aux petites quantités
- le Système Numérique Approximatif (SNA) correspondant aux grandes quantités.

De plus, chaque catégorie est composée de deux sous-catégories correspondant à la distance entre les deux quantités comparées, qui est d'une ou de trois. Cette répartition permet de voir si les deux populations sont sensibles à l'effet de taille et de distance, pour les petites et les grandes quantités.

SNP 1	1--2	2--3	3--4
SNP 3	1--4		
SNA 1	6--7	7--8	8--9
SNA 3	5--8	6--9	

Tableau 9 : Tableau récapitulatif de la répartition des items de la tâche non-verbale

IV.2.2. Analyse statistique

L'analyse statistique des résultats à la tâche non-verbale se base sur une population de 25 enfants entendants et 12 enfants sourds. En effet, quatre enfants sourds n'ont pas pu réaliser l'épreuve.

IV.2.3. Performances

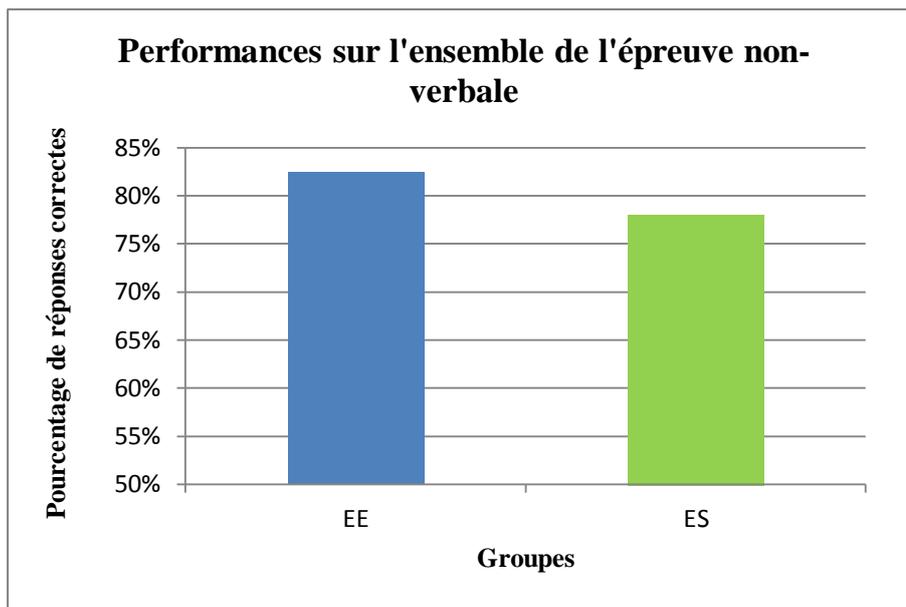


Figure 18 : Performances sur l'ensemble de l'épreuve non-verbale

Lors de la tâche non-verbale de comparaison, les enfants entendants ont des performances légèrement meilleures que celles des enfants sourds. En effet, sur l'ensemble de l'épreuve, le taux de réponses correctes est de 82,5% chez les enfants entendants contre 78,03% chez les enfants sourds. De plus, les enfants entendants ont obtenu en moyenne une note de 19,8 sur 27 contre une note de 19 chez les enfants sourds. Statistiquement, l'ANOVA ne met pas en évidence un effet de groupe significatif, avec $F(1,35) = 0.7$, $p = 0.41$. Les performances des enfants sourds ne sont donc pas significativement différentes de celles des enfants du groupe contrôle.

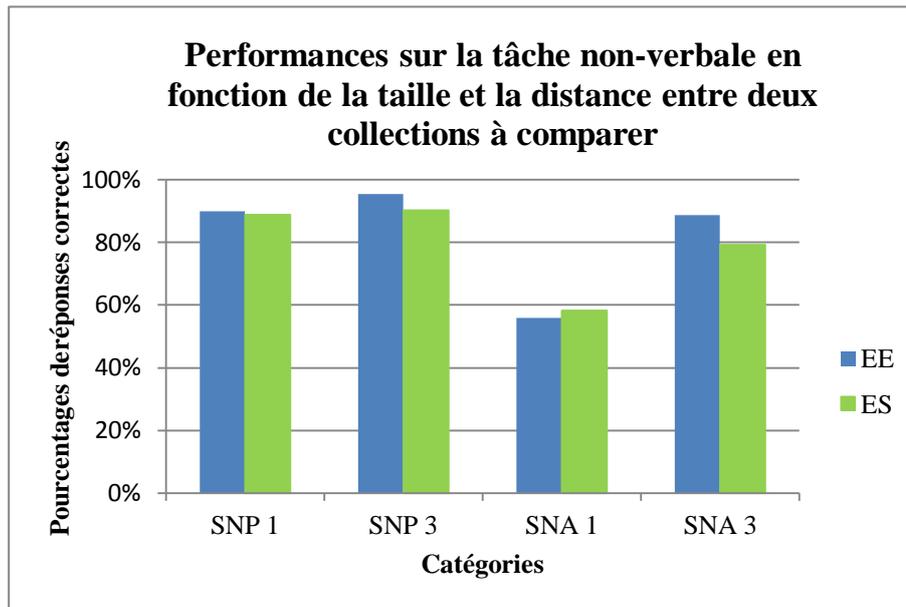


Figure 19 : Performances sur la tâche non-verbale en fonction de la taille et la distance entre deux collections à comparer

L'analyse des résultats regroupés en catégorie permet de mettre en évidence de légères différences dans les performances des individus des deux groupes.

Dans un premier temps, on peut noter que les performances des enfants sourds sont quasiment identiques à celles des enfants entendants, pour les items correspondant au SNP 1 et au SNA 1. En effet, la différence entre les taux de réponses correctes de deux groupes est inférieure à 2% pour ces deux catégories.

Concernant le SNP 3, les enfants sourds, avec 90,28% de bonnes réponses, ont des performances légèrement inférieures à celles des enfants entendants, qui ont 95,33% de bonnes réponses. Cependant, l'ANOVA effectuée révèle qu'il n'existe pas d'effet de groupe, avec $F(1,35) = 1.91$, $p = 0.18$. Cette différence n'est donc pas significative. Enfin, l'écart le plus important entre les taux de bonnes réponses concerne le SNA 3. Effectivement, alors que les enfants entendants obtiennent un taux de 88,67% de réponses correctes, celui des enfants sourds est de 79,17%. Statistiquement, l'ANOVA montre néanmoins que cette différence n'est pas significative, avec $F(1,35) = 2.02$, $p = 0.16$.

En conclusion, à la tâche non-verbale de comparaison de collections, les enfants sourds ont des performances non significativement différentes de celles des enfants entendants.

IV.2.3.1. Effet de taille

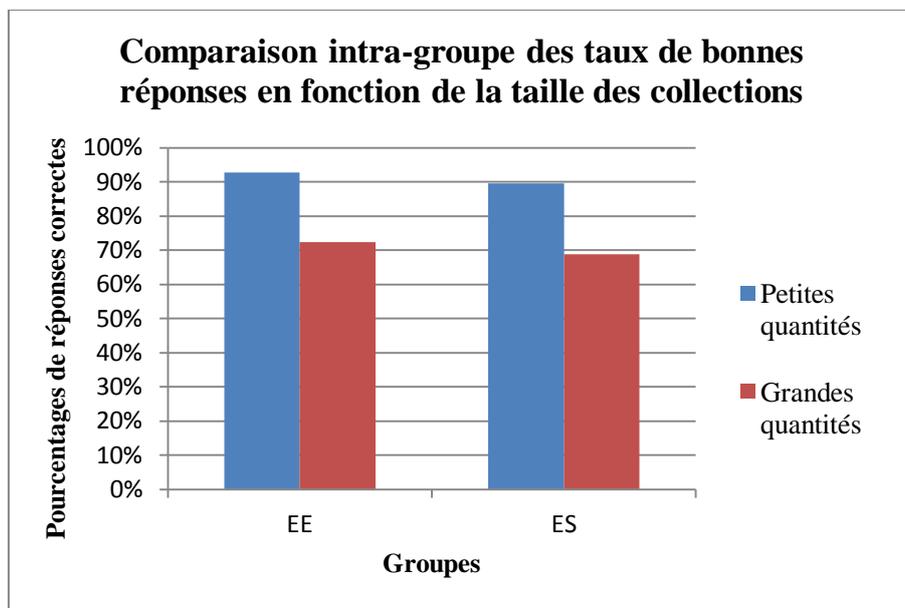


Figure 20 : Comparaison intra-groupe des taux de bonnes réponses en fonction de la taille des collections

Une comparaison intra-groupe des résultats permet de mettre en évidence une sensibilité des enfants à l'effet de taille. La comparaison de deux petites collections est ainsi plus facile que la comparaison de deux grandes collections. En effet, chez les enfants entendants, le taux de bonnes réponses pour les petites collections, de 92,67%, chute à 72,33% pour les grandes collections. Le même phénomène est observé chez les enfants sourds avec un taux de réponses correctes passant de 89,58% pour les petites collections à 68,75% pour les grandes collections. L'analyse de variance révèle que cet effet de taille observé est significatif pour les deux populations, avec $F(1,98) = 24.72$, $p < 0.001$ pour les enfants entendants et $F(1,46) = 14.31$, $p < 0.001$ pour les enfants sourds.

IV.2.3.2. Effet de distance

	SNP 1	SNP 3
Enfants entendants	90%	95,33%
Enfants sourds	88,89%	90,28%

Tableau 10 : Taux de bonnes réponses en fonction de la distance entre deux petites collections à comparer (en %)

Dans les deux groupes, les taux de bonnes réponses correspondant au SNP 3 sont légèrement supérieurs à ceux liés au SNP 1. Les enfants parviennent plus facilement à comparer deux petites collections entre elles quand elles diffèrent de trois éléments plutôt que d'un seul élément. Cependant, comme en témoigne l'ANOVA, cet effet de distance pour les petites quantités n'est pas significatif, avec $F(1,48) = 3.17$, $p = 0.08$ pour les enfants entendants et $F(1,22) = 0.06$, $p = 0.81$ pour les enfants sourds.

	SNA 1	SNA 3
Enfants entendants	56%	88,67%
Enfants sourds	58,33%	79,17%

Tableau 11 : Taux de bonnes réponses en fonction de la distance entre deux grandes collections à comparer (en %)

Concernant le SNA, la différence entre les taux de réponses correctes obtenus pour le SNA 1 et le SNA 3 est beaucoup plus importante que pour les collections appartenant au SNP, et davantage chez les enfants du groupe contrôle. En effet, le taux passe de 88,67% pour le SNA 3 à 56% pour le SNA 1 chez les enfants entendants et de 79,17% à 58,33% chez les enfants sourds. Statistiquement, l'ANOVA montre que cet effet de distance pour les grandes quantités est significatif pour les deux populations, avec $F(1,48) = 34.3$, $p < 0.001$ chez les enfants entendants et $F(1,22) = 5.85$, $p = 0.02$ chez les enfants sourds.

En conclusion, l'analyse des performances à la tâche non-verbale témoigne de la présence d'une sensibilité à l'effet de distance, seulement pour les grandes quantités, de la part des deux groupes.

IV.2.4. Temps de réaction

	SNP		SNA		Total	
	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane
Enfants entendants	1514,52	1406,80	1777,50	1614,07	1630,04	1489,58
Enfants sourds	1629,16	1548,93	1851,23	1813,17	1726,01	1632,62

Tableau 12 : Temps de réaction médians et moyens sur l'ensemble de la tâche, pour les petites et les grandes quantités (en ms)

Sur l'ensemble de la tâche de comparaison de collections, les enfants entendants se montrent légèrement plus rapides que les enfants sourds avec un temps moyen de 1630,04 ms contre 1726,01 ms chez les enfants sourds. Néanmoins, cette légère différence n'est pas statistiquement significative comme en témoigne l'analyse de variance avec $F(1,719) = 3.06$, $p = 0.08$.

Pour les petites quantités, le temps moyen de 1514,52 ms chez les enfants entendants, est légèrement supérieur à celui de 1629,16 ms chez enfants sourds. L'observation est la même pour les grandes quantités, avec 1777,50 ms pour les enfants entendants contre 1851,23 ms chez les enfants sourds. Toutefois, ces différences observées sont très minimes et non significatives comme en témoignent les ANOVA avec $F(1,402) = 2.7$, $p = 0.1$ pour les petites quantités et $F(1,356) = 0.14$, $p = 0.71$ pour les grandes quantités.

IV.2.4.1. Effet de taille

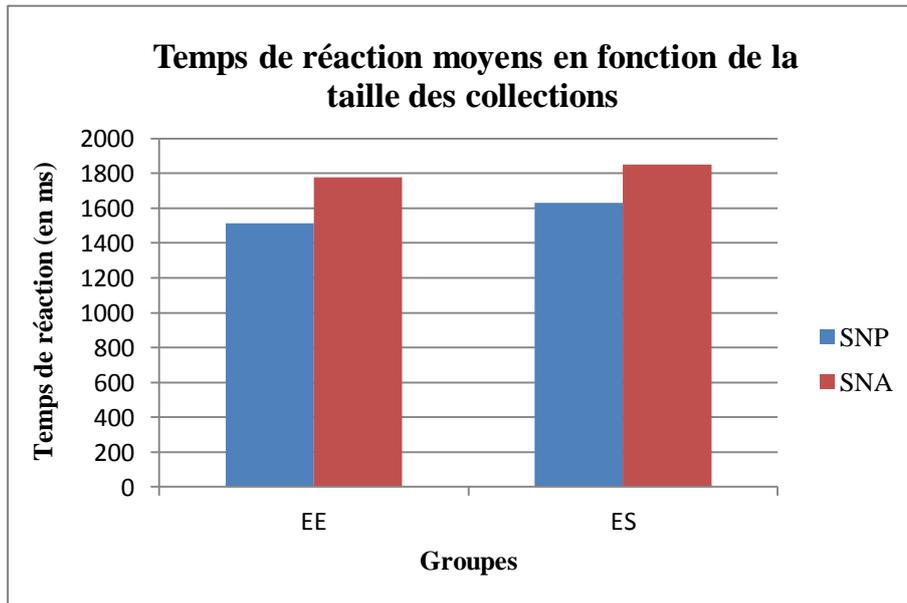


Figure 21 : Temps de réaction moyens en fonction de la taille des collections (en ms)

L'étude des temps de réaction obtenus lors de la comparaison de collections appartenant au SNP et à celles appartenant au SNA permet de mettre en évidence la sensibilité à un effet de taille dans les deux groupes : les enfants sont plus rapides pour comparer des petites collections entre elles que des grandes collections.

Chez les enfants entendants, le temps de réaction moyen est de 1514,51 ms pour les items correspondant au SNP alors qu'il est de 1777,50 ms pour ceux en lien avec le SNA. L'ANOVA réalisée montre que cet effet de taille est significatif, avec $F(1,492) = 18.36$, $p < 0.001$. Chez les enfants sourds, le temps de réaction moyen est de 1629,16 ms pour les items correspondant au SNP contre 1851,23 ms pour le SNA. L'ANOVA révèle également un effet de taille significatif, avec $F(1,225) = 6.21$, $p = 0.01$. Néanmoins, ce résultat montre que les enfants sourds sont moins sensibles à l'effet de taille que les enfants entendants.

IV.2.4.2. Effet de distance

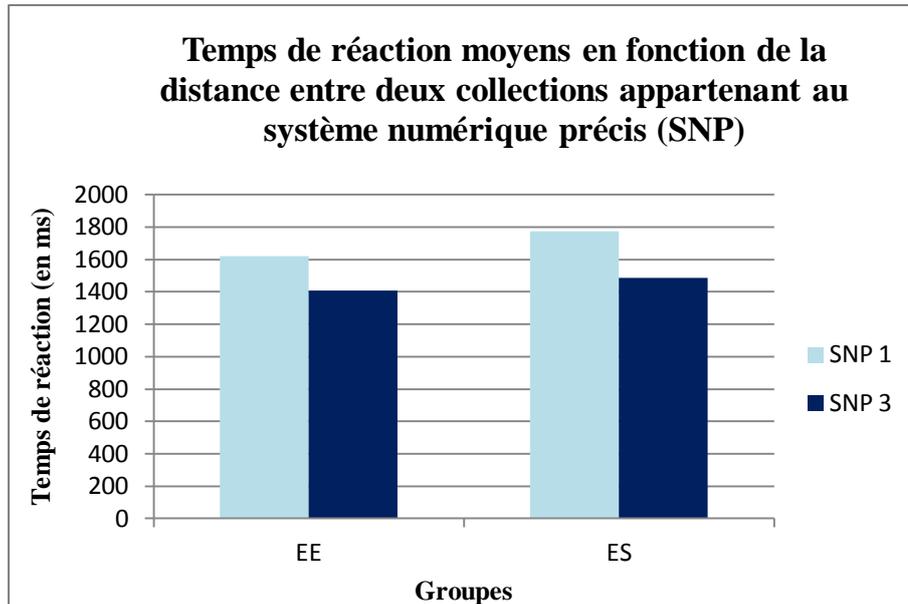


Figure 22 : Temps de réaction moyens en fonction de la distance entre deux collections appartenant au système numérique précis (en ms)

Le graphique ci-dessus révèle que les deux populations sont sensibles à l'effet de distance pour les petites quantités. En effet, les individus sont plus rapides pour comparer deux collections distantes de trois quantités que deux collections distantes d'une seule quantité. Pour le SNP 1, les enfants entendants ont en moyenne, un temps de réaction de 1620,33 ms contre un temps de réaction moyen de 1413,93 ms pour le SNP 3. Chez les enfants sourds, le temps de réaction moyen de 1484,84 ms pour le SNP 3 passe à 1773,48 ms pour le SNP 1. L'ANOVA permet de mettre en évidence que l'effet de distance pour les petites quantités est significatif pour les deux groupes avec $F(1,275) = 8.16, p = 0.004$ chez les enfants entendants et $F(1,126) = 6.33, p = 0.01$, chez les enfants sourds.

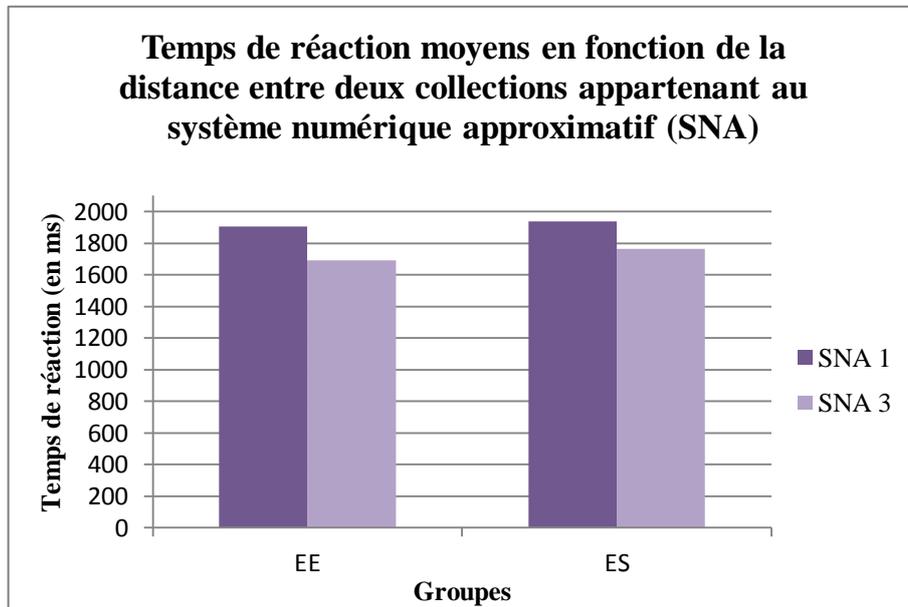


Figure 23 : Temps de réaction moyens en fonction de la distance entre deux collections appartenant au système numérique approximatif (en ms)

Concernant les grandes quantités, les deux groupes sont également sensibles à l'effet de distance. En effet, le temps de réaction moyen passe de 1697,77 ms pour le SNA 1 à 1903,73 ms pour le SNA 3. Cette différence est retrouvée chez les enfants sourds. En effet, ils ont, en moyenne, un temps de réaction de 1968,68 ms pour le SNA 1 et de 1764,68 ms pour le SNA 3. Néanmoins, l'ANOVA révèle que cet effet n'est pas significatif dans les deux groupes, avec $F(1,215) = 3.87$, $p = 0.05$ chez les enfants entendants et $F(1,97) = 2.27$, $p = 0.14$ chez les enfants sourds.

V. ANALYSE DESCRIPTIVE DES EPREUVES EXPERIMENTALES

Au-delà de l'analyse précise et quantitative des résultats issus des tâches expérimentales, l'observation des comportements permet également d'enrichir leur interprétation. Effectivement, au sein d'une même population, chaque individu témoigne de stratégies différentes. Cette diversité présente un intérêt dans la compréhension des résultats.

V.1. Tâche d'identification

V.1.1. Description des différentes stratégies employées

Lors de la tâche d'identification de collections, les deux populations ont appréhendé l'épreuve selon différentes conduites. La tâche verbale d'estimation, donc l'identification de grandes quantités, était la plus propice à l'emploi de différentes stratégies. Effectivement, la présentation de grandes collections mettait davantage les enfants en difficulté dans la mesure où ils devaient donner une réponse le plus rapidement possible. Certains ont bien respecté la consigne en donnant une estimation plus ou moins approximative du nombre de points. D'autres enfants ont mis en place des stratégies de compensation pour pallier la complexité d'identifier un grand nombre de points.

Tout d'abord, une majorité d'enfants ont dénombré rapidement les grandes collections qui leur étaient présentées. Cette stratégie s'est révélée aux expérimentateurs selon plusieurs modalités. En effet, le dénombrement de points s'est effectué par un pointage, seul ou accompagné d'un comptage verbalisé. Une partie des enfants ont ainsi pointé du doigt les points affichés sur l'écran d'ordinateur, mais sans extérioriser le moindre comptage verbal. Certains enfants ont associé le pointage à la verbalisation de la chaîne numérique, en exposant bien leur stratégie de dénombrement. Cette oralisation pouvait être effectuée à voix haute ou à voix basse, voire chuchotée. Pour finir, d'autres enfants n'ont pas utilisé le pointage mais ont seulement eu recours au comptage. Au sein de ce groupe, quelques enfants ne témoignaient d'aucun signe extérieur de comptage, tandis que d'autres accompagnaient celui-ci de mouvements corporels illustrant nettement le dénombrement. Ces manifestations consistaient en des mouvements de tête, de buste, ou encore des mouvements des yeux.

Ensuite, une partie des enfants ont, quant à eux, pris en compte la consigne et ont estimé. Néanmoins, tous ces enfants n'ont pas procédé de la même manière. L'estimation donnée à l'issue de la présentation des grandes collections s'est révélée parfois suivre une certaine logique. Effectivement, malgré l'approximation de la réponse, celle-ci pouvait suivre l'ordre de grandeur des collections présentées. Toutefois, beaucoup d'enfants dans ce cas tendaient à surestimer le nombre de points. Les plus grandes collections, sept, huit ou neuf points, étaient sujettes à une estimation de 10 points voire plus. En revanche, chez certains

enfants, la réponse donnée ne témoignait pas de la logique attendue vis-à-vis du nombre de points sur l'écran. Quelques enfants pouvaient ainsi identifier peu de points pour les grandes collections ou au contraire un grand nombre de points pour les petites quantités affichées. Par ailleurs, à partir d'un certain nombre de points, quelques enfants ont énoncé systématiquement la même estimation. Par exemple, au-delà de quatre points, un enfant a automatiquement estimé cinq points, tandis qu'un autre estimait 10 points. A l'inverse, quelques enfants n'ont pu formuler aucune estimation à partir d'un certain seuil. Un enfant répondait « je ne sais pas » dès que les collections dépassaient six points, alors qu'un autre condensait toutes ses estimations entre un et six points.

De ce fait, si l'estimation de grandes collections de points se révélait trop complexe pour eux, les enfants ont pu compenser grâce à diverses stratégies. Si certains individus se sont cantonnés exclusivement à un type de conduites, d'autres ont changé de stratégie au cours de la passation. En effet, il est à noter qu'au cours de cette épreuve relativement longue, une partie des enfants ont spontanément modifié, ou davantage précisé, leurs comportements. Ainsi, quelques enfants, qui dénombraient toutes les collections jusqu'aux plus petites, se sont résolus à compter seulement les grandes collections qu'ils ne pouvaient pas subitiser. D'autres enfants, qui utilisaient seulement le comptage, ont finalement accompagné celui-ci du pointage. A l'inverse, certains ont compris que le pointage leur était inutile et ils ont décidé de l'abandonner. En somme, les enfants ne se sont pas limités à une unique stratégie. Néanmoins, soit les changements de stratégies s'effectuaient de manière nette, soit ils fluctuaient et n'étaient pas systématisés.

V.1.2. Quantification des stratégies

Par l'intermédiaire de l'observation des individus en cours de passation, la limite entre subitizing et estimation a pu parfois être nettement identifiée. Effectivement, les enfants qui ne témoignaient d'aucun comportement de dénombrement, de pointage ou de comptage ont pu être comptabilisés. Ainsi, environ 44% de la population sourde, de même pour la population normo-entendante, a mis en évidence un subitizing certain, selon si les enfants se mettaient par la suite à compter, ou non. D'ailleurs, le passage entre les petites collections subitizées et les grandes collections estimées voire dénombrées a été observé au niveau des quantités deux, trois, quatre ou cinq, selon les enfants.

De plus, les différents types de conduites décrits précédemment ont pu être comptabilisés distinctement chez 87% de la population sourde et 92% de la population normo-entendante. Chez les autres individus, les stratégies n'étaient pas discernables. Six stratégies ont alors été mises en évidence et la répartition peut être observée par le graphique ci-dessous :

- Utilisation exclusive du comptage (C)
- Utilisation du comptage et du pointage (CP)
- Utilisation exclusive du pointage (P)
- Estimation : logique mais limitée (EL)
- Surestimation (SE)
- Estimation non logique (ENL)

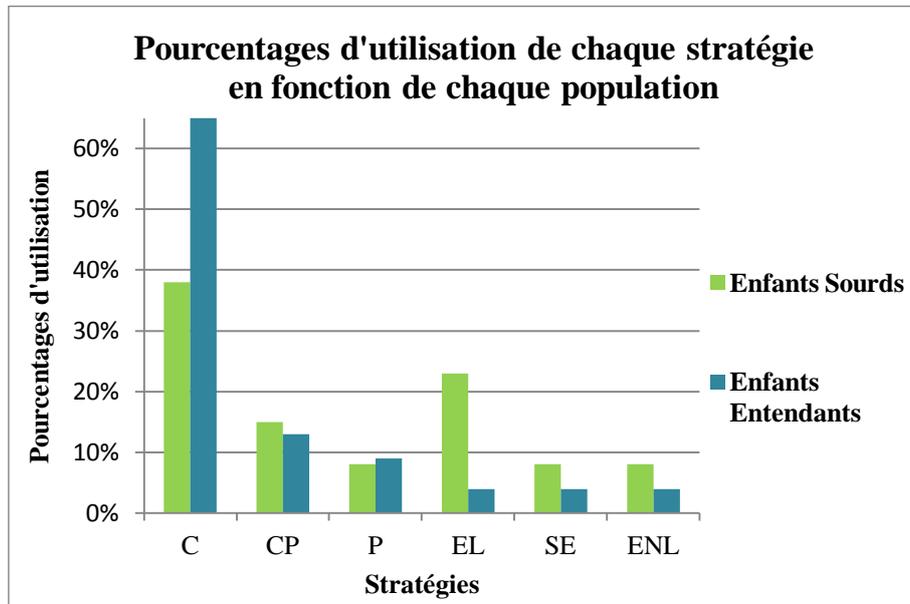


Figure 24 : Pourcentages d'utilisation de chaque stratégie en fonction de chaque population

En définitive, il est à noter que la population sourde et la population normo-entendante emploient toutes les deux chaque type de stratégie. Par ailleurs, pour chaque population dont les conduites ont été comptabilisées, la stratégie la plus utilisée est le comptage seul, avec 38% de la population sourde et 65% de la population entendante. Qui plus est, il est possible de regrouper les stratégies selon si elles dépendent globalement d'une stratégie d'estimation, EL, SE et ENL, ou d'une stratégie de dénombrement, C, CP et P. De ce fait, la stratégie de

dénombrement est clairement la plus utilisée, avec 62% de la population sourde et 87% de la population entendants.

V.1.3. Comportements observés

Au-delà de l'analyse des stratégies, il est intéressant de prendre en compte également les comportements des enfants. Une nouvelle fois, l'observation des passations ne montre aucune différence flagrante entre la population sourde et la population normo-entendants. Les comportements mentionnés sont donc relevés parmi les deux populations.

Tout d'abord, l'explication des consignes a joué un grand rôle sur le comportement des enfants lors du protocole. L'étape préalable des jetons et des cartes a déjà permis d'illustrer et d'anticiper la mauvaise compréhension de la tâche demandée. Pour une partie de la population, de nouvelles formulations de consignes ont été nécessaires. Une mauvaise compréhension des consignes s'est révélée par un abandon de la tâche, ou des changements de stratégies. Certains enfants ont eu tendance à dénombrer chaque collection, avant de comprendre qu'ils pouvaient répondre directement sans compter. A l'inverse, d'autres enfants ont dû s'appuyer sur le comptage, auquel cas la tâche leur était impossible.

Par ailleurs, des comportements d'anxiété ou de timidité sont également à noter. Ces émotions se sont manifestées par des expressions telles que « je ne sais pas », des changements d'attitude suite aux encouragements des expérimentateurs, ou encore des mouvements corporels : mouvements des mains, mains dans la bouche...

Pour finir, des difficultés générales d'attention et de concentration ont été remarquées. L'épreuve d'identification était effectivement longue et complexe notamment pour les enfants les plus jeunes. De ce fait, une partie des enfants ont témoigné d'une fatigabilité notable. Certains enfants ne sont d'ailleurs pas réellement entrés dans l'épreuve et, de façon hypothétique, leurs estimations tenaient moins à la logique qu'au hasard.

V.2. Tâche de comparaison

V.2.1. Description des différentes stratégies employées

Même si la tâche de subitizing et d'estimation en comparaison est moins sujette à la mise en place de stratégies, différents types de conduites ont tout de même été observés. En effet, malgré l'attente d'une réponse non-verbale, sans besoin d'identifier le nombre exact de chaque collection, certains enfants ont dû avoir recours, encore une fois, au comptage. Quand la différence entre deux collections était moins facilement discernable, quelques enfants ont voulu les dénombrer. Ils ont alors utilisé le comptage et/ou le pointage. D'autres enfants ont quant à eux passé du temps à regarder chaque image. A l'instar de l'épreuve d'identification de collections, aucune différence de conduites n'est observée entre les enfants sourds ou les enfants normo-entendants. Néanmoins, il est à noter tout de même que cette épreuve a pu être effectuée par tous les enfants entendants tandis que pour quatre enfants sourds, aucun résultat n'a pu être comptabilisé.

V.2.2. Comportements observés

A nouveau, les comportements des enfants lors de la tâche de comparaison sont intéressants à prendre en considération. Ils peuvent d'ailleurs jouer sur les résultats quantitatifs. Tout d'abord, la compréhension de la consigne a, une nouvelle fois, été cruciale dans l'exécution de la tâche. Certains enfants ont été incapables de comprendre la notion de « *là où il y en a le plus* ». Dans ce cas, soit ils n'ont pas été en mesure de mener à terme l'épreuve informatique, soit l'appui sur les touches était complètement aléatoire, se révélant par la succession systématique touche droite, touche gauche, etc.

Hormis les difficultés de compréhension, des difficultés pratiques ont également provoqué différents comportements chez les enfants. L'appui sur les touches du clavier d'ordinateur s'est notamment révélé compliqué pour certains enfants, toutes populations confondues. Quelques individus devaient regarder les touches avant d'appuyer et perdaient alors du temps. Certains enfants n'arrivaient pas à garder les doigts sur les touches tandis que d'autres appuyaient sur plusieurs touches en même temps. Plusieurs enfants ont donné, de plus, leurs réponses à l'oral plutôt qu'en appuyant sur les touches. Dans les cas les plus extrêmes, les

conditions de passation ont, de ce fait, été modifiées. Il a ainsi été demandé aux enfants de pointer la plus grande collection sur l'ordinateur et l'examineur appuyait sur la touche correspondante. D'ailleurs, il est important de signaler que ce cas de figure s'est présenté exclusivement lors de trois passations, toutes avec des enfants sourds.

Partie V : Discussion

I. INTERPRETATION DES RESULTATS

I.1. Introduction

Au sein du protocole, plusieurs épreuves expérimentales ont été proposées. Les deux processus de quantification de subitizing et d'estimation ont chacun été évalués selon une tâche verbale d'identification ou une tâche non-verbale de comparaison. Deux variables ont ainsi été manipulées : la modalité verbale ou non-verbale, et le type de processus.

D'une manière générale, les résultats montrent que les performances des enfants sourds sont équivalentes à celles des enfants normo-entendants. L'analyse des résultats dévoile également que la population sourde est sujette à l'effet de taille et l'effet de distance, à l'instar de la population entendante, comme l'évoque Dehaene (2003). Effectivement, les deux épreuves d'identification et de comparaison mettent chacune en évidence, d'une part, que les enfants ont plus de facilité à traiter les petites collections que les grandes collections. D'autre part, il est plus aisé pour les individus de comparer deux collections de quantités très éloignées plutôt que deux collections de quantités proches. Selon Holloway et Ansari (2009), l'existence d'un effet de distance est retrouvée chez les enfants à partir de six ans. Cette présente étude montre ainsi que cet effet ne se limite pas aux enfants de six ans, mais qu'il est possible de le mettre en évidence chez les enfants plus jeunes de deux ans. Pour aller plus loin, l'existence d'un tel effet chez les enfants sourds témoigne de son caractère inné. Les mêmes conclusions peuvent ressortir de l'existence d'un effet de taille chez les deux populations.

I.2. Discussion de la première hypothèse

D'après la première hypothèse formulée, il était supposé qu'une différence entre les deux populations serait constatée en termes de nombre de bonnes réponses au niveau de l'estimation, lors de la tâche verbale. Cette différence ne devrait pas être repérée lors de la tâche non-verbale. En effet, la présente hypothèse se fondait sur le fait que la modalité verbale, dans une épreuve s'appuyant sur de grandes quantités, impacterait les performances des enfants sourds. Le retard dans le développement du langage des enfants sourds, admis par un consensus général, et retrouvé significativement lors des épreuves cognitives, devrait

hypothétiquement jouer un rôle sur l'identification de quantités et la mise en mots. Par ailleurs, le retard dans l'acquisition de la chaîne numérique, mentionné par Leybaert et Van Cutsem (2002), suppose des difficultés dans l'identification de grandes collections, majorées chez les enfants sourds. Ces deux limites ne devraient pas, en revanche, figurer lors de la tâche non-verbale de comparaison.

Les résultats de cette présente étude valident partiellement cette première hypothèse. Effectivement, telle qu'elle était présumée, une absence de différence du nombre de bonnes réponses est retrouvée entre les enfants sourds et les enfants entendants, à l'issue de la tâche de comparaison de grandes quantités. Cependant, aucune différence non plus n'est révélée à l'issue de la tâche d'identification de grandes quantités. Certes, les résultats des enfants sourds témoignent de moindres performances, par rapport à la population contrôle. Néanmoins, ce décalage reste trop léger pour être réellement significatif. En somme, que ce soit lors d'une tâche verbale ou d'une tâche non-verbale, le nombre de bonnes réponses des enfants sourds, concernant le traitement de grandes quantités, reste similaire à celui des enfants entendants. D'après ces résultats, notamment dans la précision des réponses, aucun lien ne peut alors être fait entre la modalité verbale et les performances d'estimation des enfants sourds. Par ailleurs, il ne peut être mis en évidence, ici, une quelconque relation entre le retard constaté dans la chaîne numérique des enfants sourds et l'estimation.

Les réponses des enfants sourds, données quant à l'identification de grandes collections de points, ne diffèrent pas véritablement de celles des enfants entendants et leurs performances sont indépendantes d'autres aspects cognitifs.

I.3 Discussion de la deuxième hypothèse

Toujours concernant le traitement des grandes quantités, la seconde hypothèse supposait qu'un décalage entre les performances des enfants sourds et des enfants entendants devrait être constaté cette fois en termes de temps de réaction. Ce décalage devrait être présent lors de la tâche d'identification mais être inexistant lors de la tâche de comparaison. Effectivement, cette hypothèse rejoint la première quant aux difficultés des enfants atteints de surdité sur le plan du développement du langage et au niveau de l'acquisition de la chaîne numérique. Ces limites sont hypothétiquement majorées au sein d'une tâche verbale, de ce fait

les enfants sourds devraient mettre plus de temps pour répondre que les enfants entendants. En revanche, la tâche de comparaison ne devrait pas montrer de différences de temps entre les deux populations dans la mesure où elle s'effectue sur un plan non-verbal et témoigne, de plus, d'un processus analogique inné.

Une nouvelle fois, cette hypothèse est partiellement validée. Comme elle le suggérait, les enfants sourds n'ont pas mis plus de temps pour comparer deux grandes collections que les enfants entendants. Les résultats de cette étude confirment cette idée en ne révélant aucune différence réelle entre les deux populations. Malgré un temps de réaction légèrement supérieur de la part des enfants sourds, l'écart par rapport aux enfants entendants n'est pas significatif. La modalité non-verbale permet donc aux enfants sourds, comme l'hypothèse l'avancéait, de ne pas restreindre leurs performances. Cependant, les résultats issus de la tâche verbale viennent contredire en partie cette seconde hypothèse. En effet, l'étude ne témoigne d'aucune différence de temps de réaction entre les deux populations concernant l'identification de grandes collections. Les résultats montrent au contraire que les enfants sourds tendent même à être plus rapides dans l'identification de grandes quantités que les enfants normo-entendants. Néanmoins, cette différence n'est pas significative. D'un point de vue statistique, la population sourde et la population contrôle mettent autant de temps l'une que l'autre à identifier de grandes quantités. De ce fait, au vu de cette analyse, un lien entre le langage et l'identification verbale de grandes quantités est potentiellement démenti. Puisque les deux populations témoignent de performances semblables, le retard de langage des enfants sourds ou encore leur décalage dans l'acquisition de la chaîne numérique ne semblent pas constituer un frein dans leur identification de grandes quantités. Les compétences d'estimation, que ce soit sur un mode verbal ou non-verbal, apparaissent comme indépendantes de toute autre fonction cognitive.

I.4. Discussion de la troisième hypothèse

Selon la troisième hypothèse, un écart entre les deux populations en termes de temps de réaction était présumé, concernant cette fois les petites quantités au sein de la tâche verbale. Cette hypothèse supposait que les enfants sourds mettraient plus de temps que les enfants du groupe contrôle à identifier de petites collections, mais qu'ils témoigneraient d'une vitesse de traitement semblable lors de la tâche de comparaison. Son explication provient à

nouveau des difficultés repérées chez les enfants sourds sur les plans du langage et de la chaîne numérique. Si, par les représentations analogiques, le processus de subitizing est inné (Dehaene, 2003), il n'en est pas de même pour la verbalisation de la chaîne numérique, pour la mise en mots lors de l'identification de quantités. Or, les retards observés dans le développement de la comptine et du langage, notamment dans son versant expressif, sont manifestes et sont supposés impacter l'épreuve d'identification, même pour les petites quantités subitizées. Néanmoins, ces limites ne sont pas censées gêner l'épreuve de comparaison de petites collections, dont la modalité non-verbale ne désavantage pas les enfants sourds.

De nouveau, les résultats de cette présente étude valident seulement en partie cette troisième hypothèse. D'une part, les résultats confirment l'absence de différence significative entre la population sourde et la population normo-entendante, au niveau de la comparaison de petites quantités. Les enfants sourds ne mettent pas plus de temps que les enfants entendants, dans une modalité non-verbale. Au contraire, à l'instar de la comparaison de grandes quantités, les résultats révèlent que les enfants sourds présentent des temps de réaction moins élevés que ceux des enfants entendants. Cela étant, les temps moyens de chacune des populations ne sont pas significativement différents. Leurs performances peuvent donc être considérées comme semblables. Lors de cette épreuve, aucune population n'est désavantagée, et la surdité ne semble pas influencer les capacités à comparer de petites quantités. D'autre part, les résultats révèlent que le décalage supposé entre les deux populations, dans l'identification de petites quantités, est en réalité inexistant. Bien que les résultats montrent un temps de réaction légèrement plus élevé chez la population sourde que chez le groupe contrôle, cette différence de temps n'est pas significative. Les enfants sourds ne semblent donc pas du tout gênés dans leur identification de petites quantités. Ils mettent généralement autant de temps à formuler leur réponse que leurs pairs entendants. L'innéité du subitizing paraît ainsi primer sur les difficultés occasionnées par la modalité verbale de la tâche.

I.5. Discussion de la quatrième hypothèse

Pour finir, d'après la quatrième hypothèse, il était supposé qu'aucune différence entre les deux populations ne serait constatée concernant les performances de subitizing, en termes de nombre de bonnes réponses, que ce soit dans la modalité verbale ou non verbale. En effet,

même si des retards dans le développement du langage et de la chaîne numérique existent, des enfants sourds de quatre ans sont censés connaître le début de la chaîne numérique. Comme l'évoque Leybaert et Cutsem (2002), les enfants sourds témoignent d'un retard de deux ans dans l'acquisition de la chaîne numérique. En suivant son raisonnement, le développement de la comptine des enfants sourds de quatre-cinq ans devrait correspondre à celui d'un enfant entendant de deux-trois ans. Or, il est admis que celui-ci a acquis les petites quantités correspondant au subitizing. De ce fait, les enfants sourds constituant la population de cette présente étude sont en mesure de connaître les premiers nombres de la chaîne. Bien qu'ils puissent être gênés par une acquisition mal stabilisée et ainsi être plus longs à répondre, comme le supposait l'hypothèse précédente, leurs réponses sont toutefois censées être justes.

Cette fois, les résultats de cette étude valident entièrement cette hypothèse. En effet, que ce soit lors de la tâche verbale ou de la tâche non-verbale, le nombre de bonnes réponses des enfants atteints de surdité est semblable à celui des enfants entendants. Aucune différence significative n'est constatée et les enfants sourds peuvent être apparentés aux enfants du groupe contrôle. Par ailleurs, les enfants sourds témoignent du même type d'erreurs que leurs pairs entendants, car pour les petites quantités, les pourcentages de déviation à la réponse attendue sont analogues. A première vue, le facteur surdité ne semble pas, de ce fait, jouer un rôle sur le processus de quantification qu'est le subitizing. L'innéité de ce processus, qui fait appel à la représentation analogique, s'illustre bien par l'analyse des résultats de cette présente étude. Tout individu, quel qu'il soit, est capable de subitizer des petites quantités. Cette étude confirme cette réalité en prouvant l'existence du subitizing chez la population sourde et la prédominance de son innéité sur les modalités langagières.

II. LIMITES DE L'EXPERIMENTATION

II.1. Limites de la population

Tout d'abord, les résultats de cette présente étude doivent être nuancés par le biais même des deux échantillons d'enfants. En effet, la population sourde est constituée de 16 enfants et le groupe contrôle est composé de 25 enfants normo-entendants. Les deux échantillons sont donc limités dans leur nombre et la population sourde d'autant plus. Ce nombre restreint n'a pas permis, d'une part, d'effectuer une analyse statistique à partir de

sous-groupes d'enfants, afin de préciser les résultats et leur interprétation. Du point de vue de la validité interne de l'étude, il aurait été intéressant d'établir des catégories d'enfants plus homogènes selon des critères tels que le niveau de langage, le niveau d'acquisition numérique ou encore en lien avec le degré et le type de surdité, dans le but de spécifier davantage l'analyse des résultats. D'autre part, une étude gagne en fiabilité avec l'importance de sa population. Cette étude est donc relativement limitée du point de vue, cette fois, de la validité externe. Les résultats issus de l'étude ne peuvent donc pas être généralisés car l'échantillon d'enfants n'est pas vraiment représentatif de la population.

Plus précisément, le groupe même des enfants normo-entendants n'est pas représentatif de la population qu'il illustre. Effectivement, les enfants entendants ont tous été sélectionnés au sein d'une même école. Le choix d'un échantillonnage non-probabiliste s'est effectué dans l'intention d'un gain de temps, d'argent, mais également dans l'objectif d'homogénéiser les conditions de passation. Cependant, compte tenu de ce groupe restreint d'enfants, celui-ci n'est pas à même de symboliser l'hétérogénéité de la population normo-entendante en général.

Concernant l'échantillon des enfants atteints de surdité, certains critères viennent, de nouveau, modérer l'analyse des résultats. En premier lieu, la population sourde disponible, correspondant aux conditions de l'âge, s'est révélée limitée. Seulement 16 enfants ont participé à l'étude, étant donné l'âge requis et la nécessité de l'autorisation parentale. Par ailleurs, les enfants étant issus de différents centres ou écoles, à diverses localisations géographiques, le nombre de passations s'est retrouvé restreint pas les modalités pratiques. Ensuite, peu de critères d'exclusion ont été mis en place. En effet, les enfants sourds n'ont pas été choisis en fonction de leur type ou degré de surdité, des modalités de leur appareillage etc. Les modes de surdité ne se révélaient pas pertinents au vu du protocole et des objectifs de l'étude, à l'inverse du niveau de langage. Cette présente étude se fonde sur l'hypothèse que c'est moins le type de surdité que le développement du langage qui joue sur les performances de quantification. Un degré de surdité n'atteste pas directement du niveau de langage de l'enfant. Toutefois, des critères de sélection tels que les modes de communication de l'enfant et du milieu familial auraient pu être judicieux. Le mode de communication interfère directement avec le niveau de langage de l'enfant, notamment au regard du bain de langage parental. Des études comparatives entre enfants sourds signants et enfants sourds oralistes, ou encore entre enfants sourds de parents entendants et enfants sourds de parents signants,

auraient pu tout à fait être intéressantes. Dans le cadre de cette étude, ces modalités ne sont pas intervenues.

Pour finir, une épreuve de quotient intellectuel aurait été pertinente, notamment en constituant un autre critère d'exclusion. La tâche de raisonnement non-verbal semblait la plus appropriée vis-à-vis de la population à tester, toutefois elle n'évalue pas de façon aussi approfondie les compétences intellectuelles de chaque enfant. Toutefois, un test de QI aurait occupé trop de temps au cours de la passation, et, quoi qu'il en soit, ce type d'épreuves ne peut être utilisé en orthophonie.

II.2.Limites du protocole expérimental

II.2.1. Conditions d'expérimentation

Les conditions d'expérimentation, non identiques pour tous les individus, constituent un biais à la présente étude. En effet, même si la majorité des enfants ont pu être testés sur leur lieu d'accueil ou de scolarisation, quelques enfants ont été rencontrés à domicile. De plus, alors que les enfants entendants ont tous été vus sans la présence d'un adulte, l'orthophoniste accompagnait souvent l'enfant sourd lors de la passation du protocole. Enfin, tous les enfants n'ont pas pu être testés au même moment de la journée. Or, il est admis que les ressources attentionnelles et la fatigue fluctuent au cours de la journée, ce qui a pu avoir un impact sur les performances des enfants.

II.2.2. Protocole d'expérimentation

II.2.2.1. Utilisation du clavier d'ordinateur

L'ordinateur a été utilisé afin de pouvoir enregistrer, de manière très précise, les temps de réaction des participants. L'utilisation de cet outil, facile, plaisante et ludique, pour certains enfants, s'est révélée beaucoup plus difficile pour d'autres. En effet, il était compliqué voire impossible pour certains de devoir appuyer sur une seule touche du clavier d'ordinateur et de se concentrer en même temps sur la tâche proposée. Pour pallier cette difficulté, l'examineur pouvait appuyer sur les touches à la place de l'enfant. Ainsi, face à la tâche de comparaison,

tous les enfants n'étaient pas égaux dans leur utilisation de l'ordinateur. Ces contraintes ont pu jouer sur leurs performances, notamment au niveau des temps de réponse, et constituer un biais éventuel à la présente étude.

II.2.2.2. Longueur du protocole

Le protocole a été établi de sorte que les épreuves sélectionnées soient courtes et diversifiées, afin d'intéresser les enfants et de maintenir leur attention. Cependant, la durée totale du protocole, de 20 à 30 minutes selon les individus, reste importante, surtout pour les enfants les plus jeunes, notamment les enfants sourds. De plus, l'épreuve d'identification de collections, comportant 27 items, s'est révélée également un peu longue. Effectivement, bien qu'une petite pause ait été proposée au milieu de l'épreuve, certains enfants ont montré quelques signes de fatigue ou de lassitude à la fin de la tâche.

II.2.2.3. Choix des épreuves

Pour éviter un protocole trop long, un choix dans les épreuves cognitives a du être effectué. Il aurait été cependant intéressant de tester d'autres domaines afin de contrôler le plus de variables possible, susceptibles d'influencer les performances des enfants aux tâches expérimentales.

Tout d'abord, il est probable que les capacités attentionnelles et les capacités en mémoire de travail ne soient pas équivalentes pour tous les enfants. Or, ces capacités, non testées, interviennent inévitablement dans le protocole expérimental. En effet, elles sont nécessaires pour retenir une consigne, comparer visuellement deux collections puis appuyer sur les touches du clavier d'ordinateur ou encore rester disponible sur toute la durée de l'épreuve. De plus, une évaluation plus fine du langage et de la compréhension des concepts mathématiques aurait été intéressante pour appréhender de manière plus précise le niveau de langage réel des enfants. Enfin, le dénombrement a été utilisé par un certain nombre d'enfants mais n'a pas été évalué au préalable. Son évaluation aurait permis d'affiner l'analyse qualitative et d'expliquer la mise en place de certaines stratégies par les enfants. Une tâche de dénombrement aurait permis d'évaluer plus précisément la représentation du nombre chez l'enfant, notamment par le concept de cardinalité.

II.2.2.4.Ordre et temps de présentation des planches

L'ordre de présentation des planches de la tâche d'identification s'est effectué de manière aléatoire. Le script ainsi obtenu a ensuite été maintenu afin de proposer le même ordre de présentation des planches à tous les enfants. Cependant, dans cette présentation, une planche comportant neuf points arrive en seconde position. Cette planche, la plus difficile de l'épreuve, a déstabilisé certains enfants. Il aurait alors été préférable de proposer des planches comportant moins d'éléments au début de l'épreuve afin de mettre l'enfant plus en confiance face à la tâche.

Par ailleurs, lors de l'épreuve d'identification, beaucoup d'enfants ont dénombré les grandes quantités au lieu de les estimer. Ainsi, ces stratégies utilisées ont eu un impact sur les résultats et il est difficile d'évaluer de manière précise le processus d'estimation. Une réduction du temps de présentation des planches, fixé ici à 7000 ms, aurait peut-être permis d'éviter la mise en place du dénombrement. Néanmoins, un temps plus court aurait pu être compliqué à gérer pour les jeunes enfants, qui d'ailleurs, auraient été limités dans leurs stratégies. Une durée de présentation assez longue a permis justement de montrer la richesse et la diversité des stratégies mises en place par les enfants.

II.2.2.5.Compréhension des consignes

La compréhension des consignes des tâches expérimentales n'a pas été aisée pour tous les enfants. D'une part, lors de la tâche verbale d'identification, la diversité des stratégies mises en place témoigne d'une interprétation différente de la consigne de la part de chaque enfant. La consigne n'était peut-être pas suffisamment explicite. En effet, alors que « *le plus vite possible* » renvoyait à l'idée de ne pas compter, certains enfants ont tout de même utilisé le dénombrement. De plus, la notion « combien », induisant souvent le comptage a pu créer de la confusion chez certains enfants. Mais, il est important de noter que tous les enfants, sauf un enfant sourd, ont pu tout de même effectuer la tâche proposée. D'autre part, pour l'épreuve non-verbale de comparaison, la compréhension de la consigne, et notamment du concept mathématique « *le plus* » a été impossible pour certains enfants sourds, empêchant ainsi la réalisation de l'épreuve. La préparation de l'épreuve avec les jetons et les cartes a été bénéfique et a permis de s'assurer que les enfants aient bien compris la consigne avant de

proposer la tâche sur l'ordinateur. Néanmoins, cette étape a été problématique pour certains enfants malgré les nouvelles explications données par l'examineur. Ces enfants ont d'ailleurs tous échoué à la tâche expérimentale. Cela révèle que le langage, par la compréhension de la consigne et notamment du concept mathématique « *le plus* » joue un rôle dans la réussite de cette épreuve. Pour éviter ce biais, il aurait peut-être été préférable de proposer des images de bonbons et de donner la consigne suivante : « *Quel sachet de bonbons veux-tu manger ?* ». Plus d'enfants auraient certainement réussi l'épreuve et le protocole aurait permis une évaluation plus exacte de l'estimation et de son caractère inné.

II.2.2.6. Limites de l'analyse statistique des résultats

L'analyse statistique des résultats est scindée en deux parties. D'une part, les statistiques descriptives manipulent des données telles que les pourcentages, les moyennes ou encore les médianes. D'autre part, les statistiques inférentielles utilisent des ANOVA qui s'effectuent notamment à partir des moyennes calculées.

L'échantillon réduit de la présente étude impacte inévitablement l'analyse des résultats. Lors de la tâche d'identification, les résultats révèlent des écarts importants entre la moyenne et la médiane calculées pour chaque numérosité. Cette différence témoigne de la présence de valeurs dites « *extrêmes* » jouant un rôle certain sur les moyennes et donc sur les résultats obtenus lors de l'analyse de variance. Ce constat permet d'expliquer la raison pour laquelle une différence est retrouvée concernant l'étendue du subitizing en fonction de la valeur statistique choisie. Un échantillon plus important aurait sans doute permis de limiter ces divergences. En effet, plus l'échantillon est grand, moins les valeurs extrêmes impactent la moyenne.

Néanmoins, il est important de noter que cet écart entre la moyenne et la médiane n'est pas retrouvé lors de la tâche de comparaison. Etant donné qu'aucune valeur extrême ne compromettrait les résultats de cette épreuve non-verbale, l'analyse statistique s'est essentiellement basée sur le calcul des moyennes.

III. APPORTS DE L'ETUDE POUR LA RECHERCHE ET LA PRATIQUE ORTHOPHONIQUE

Depuis quelques années, les recherches s'intéressent à la cognition numérique chez les enfants sourds. Ainsi, beaucoup d'études ont été réalisées sur les habiletés numériques de cette population à partir de l'école primaire. Néanmoins, très peu d'études se sont intéressées jusqu'à présent aux habiletés numériques de base chez les jeunes enfants sourds, notamment concernant les processus de subitizing et d'estimation. La présente étude, ayant pour objectif de pallier en partie le manque de connaissances sur ces processus, vient donc enrichir les données actuelles de la recherche en orthophonie dans le domaine de la surdité et de la cognition numérique. En effet, elle affirme l'efficacité des processus de subitizing et d'estimation chez les enfants atteints de surdité, dès leur plus jeune âge.

De plus, en révélant que les performances des enfants sourds sont relativement identiques à celles des enfants entendants, la présente étude témoigne des capacités des enfants sourds sur lesquelles il va être possible de s'appuyer. Il est essentiel de mettre ces capacités en valeur, surtout auprès de l'entourage familial et du milieu scolaire qui peuvent avoir tendance à se focaliser exclusivement sur les difficultés de l'enfant sourd. Lors de l'accompagnement parental, il est donc important de toujours valoriser l'enfant en montrant aux parents que ce dernier est doué de capacités comme n'importe quel autre enfant. Cela leur permettra de porter un regard différent sur leur enfant, plus seulement centré sur le handicap engendré par la surdité. Ainsi, accompagner un enfant sourd dans son développement, ce n'est pas uniquement l'aider à surmonter ses difficultés mais aussi renforcer et valoriser ce qu'il est capable de faire.

Par ailleurs, dans le domaine de la cognition numérique, les recherches actuelles s'intéressent notamment aux liens pouvant exister entre le langage et les habiletés mathématiques. Ces deux domaines sont-ils dépendants ou indépendants? Cette question anime la recherche actuelle qui n'a pas permis, jusqu'à présent, de trouver un réel consensus. La présente étude permet d'apporter de nouveaux arguments en faveur de l'indépendance entre le langage et les habiletés numériques de base. En effet, malgré des compétences langagières moindres, les résultats montrent que les enfants sourds présentent des

performances identiques à celles des enfants entendants. Les processus de subitizing et d'estimation semblent donc innés et indépendants du langage.

Dans un contexte de surdité, l'intérêt porté au développement des habilités mathématiques est très faible, surtout chez les jeunes enfants. Les inquiétudes des parents et leurs attentes vis-à-vis de la r ducation orthophonique concernent surtout le développement du langage. Celui-ci devient une priorité pour eux et ils pourraient avoir tendance à délaisser les autres domaines, pourtant nécessaires à un développement harmonieux de l'enfant. De plus, bien que les orthophonistes soient sensibilisés davantage à l'importance de ne pas travailler uniquement les aspects langagiers, peu consacrent du temps au développement des habilités numériques. Pourtant, ces dernières prennent une place importante dans la vie quotidienne et dans la scolarité de l'enfant. D'ailleurs, de nombreuses études s'accordent sur le rôle fondamental des processus de quantification sur l'acquisition des habilités mathématiques ultérieures. La présente étude témoigne de la présence de ces processus chez les enfants sourds dès leur plus jeune âge. Les renforcer précocement serait intéressant afin de les aider à solidifier leurs bases et les aider à développer plus facilement leurs compétences numériques futures.

Les difficultés susceptibles d'être rencontrées par les enfants sourds en mathématiques sont, comme le suggèrent Zafarty et al. (2004), sans doute davantage liées à un manque de bain de langage mathématique qu'à un déficit des habilités numériques de base. Cette idée a d'ailleurs pu être mise en évidence lors de l'expérimentation. En effet, la compréhension du concept mathématique « *le plus* » a été difficile pour certains enfants sourds qui n'ont pas pu, par conséquent, réaliser la tâche proposée. En tant qu'orthophoniste, il est important d'informer et sensibiliser les parents sur l'importance d'introduire des notions mathématiques dans les routines de la vie quotidienne et d'offrir la possibilité à leur enfant de réaliser ses propres expériences afin qu'il puisse développer ses habilités mathématiques.

IV. PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Au vu du faible échantillon d'enfants, les résultats de cette présente étude ne peuvent être étendus à la population entière. Pour qu'ils puissent être généralisés, il serait intéressant de réitérer la même étude en incluant un nombre plus important d'enfants, notamment au sein de la population sourde. L'analyse statistique des résultats serait ainsi plus fine, plus fiable, et permettrait de ne pas limiter la validité externe de l'étude. Par ailleurs, l'âge étant corrélé aux performances aux tâches expérimentales, des populations plus importantes autoriseraient le regroupement d'enfants selon des classes d'âge et préciseraient les résultats.

De plus, la présente étude inclut 16 enfants sourds. Bien que certains enfants aient utilisé la langue des signes lors du protocole, celle-ci ne constituait jamais leur langue maternelle. Or, le langage prend une part particulièrement importante dans cette étude. Il est admis que les enfants sourds dans un milieu oraliste ne développent pas forcément leur langage de la même manière que les enfants sourds de parents signants. Ces derniers n'ont pas, en effet, été privés d'un bain de langage linguistique et la déprivation sensorielle n'a pas autant affecté leur développement. De ce point de vue, il serait intéressant d'élargir cette étude en intégrant également des enfants sourds de parents signants et de s'interroger sur l'existence d'une potentielle différence entre les deux populations sourdes.

Ensuite, l'observation des enfants en cours de passation et l'analyse des résultats ont révélé que le protocole manquait de précision concernant l'évaluation de l'estimation en modalité verbale. Effectivement, lors de l'épreuve d'identification, les enfants, qu'ils soient sourds ou entendants, ont mis en place différentes stratégies et tous n'ont ainsi pas estimé. Pour autant, les résultats quantitatifs concernant l'estimation, c'est-à-dire l'identification de grandes quantités, n'ont pas pu faire de distinction entre une réelle estimation et un dénombrement. De ce fait, il serait très intéressant et pertinent de renouveler cette étude grâce à un protocole plus précis nécessitant un changement de consignes, une présentation différente des collections ou encore un temps de présentation écourté.

Par ailleurs, cette étude se concentre sur deux des trois processus de quantification. L'intérêt particulier porté à ces deux processus provient d'un questionnement autour de l'innéité des représentations analogiques dont ceux-ci sont issus, et de leur potentiel lien avec

le langage. Toutefois, il serait tout à fait intéressant de reproduire cette étude en évaluant les performances de dénombrement chez les enfants sourds et l'éventuel décalage face à la population normo-entendante. Le manque d'études sur les habiletés numériques de base chez les petits, notamment chez les enfants sourds, est tel que tout approfondissement supplémentaire serait appréciable.

Pour finir, d'un point de vue longitudinal, il serait aussi intéressant de tester cette même population quelques années plus tard, afin de voir si les enfants sourds présentant au préalable des difficultés au niveau des processus de quantification sont également ceux qui témoignent de moins bonnes performances dans les habiletés mathématiques ultérieures.

CONCLUSION

La présente recherche avait pour objectif d'étudier les habiletés numériques de base, le subitizing et l'estimation, chez de jeunes enfants sourds, âgés de 4 ans à 6 ans et demi. Le protocole expérimental proposait ainsi d'évaluer ces deux processus de quantification selon deux modalités : la modalité verbale par le biais d'une tâche d'identification de points et la modalité non-verbale avec une tâche de comparaison de collections.

D'une manière générale, les résultats de l'étude révèlent que les performances des enfants sourds aux tâches expérimentales ne sont pas significativement différentes de celles des enfants entendants. Ainsi, ils sont aussi rapides et précis dans leurs réponses que les enfants du groupe contrôle, quelle que soit la modalité de réponse. A l'instar de la population entendante, ils sont d'ailleurs sensibles à l'effet de taille et de distance. Cette étude témoigne de ce fait de l'efficacité précoce du subitizing et de l'estimation chez les enfants sourds. Ces résultats, à modérer du fait d'un échantillon réduit, constituent alors un argument en faveur de l'innéité de ces processus et de leur indépendance avec le langage.

Dans un contexte de surdité, l'intérêt porté au développement du langage occupe une place très importante chez le jeune enfant sourd, au détriment d'autres domaines comme la cognition numérique. Ce n'est, bien souvent, qu'à l'entrée en  cole primaire, au moment où les difficultés apparaissent le plus fréquemment, que les parents et les professionnels s'y intéressent. Pourtant, la plupart des recherches reconnaissent le rôle joué par le subitizing et l'estimation sur le développement des habiletés numériques ultérieures. Il est donc important de les prendre en compte précocement. La présente étude rejette l'hypothèse d'un déficit des habiletés numériques de base chez les enfants sourds. Ils sont ainsi doués de capacités numériques précoces qui ne sont pas affectées par la d ficiance sensorielle. Celles-ci ne doivent donc pas être oubliées mais au contraire valorisées et renforcées afin d'aider l'enfant à développer ses habiletés mathématiques futures. Par ailleurs, pour que ce travail orthophonique soit bénéfique pour l'enfant, il est essentiel d'y inclure les parents. Très tôt, il est important qu'à travers les routines de la vie quotidienne, ils exposent l'enfant à un bain de langage mathématique. Tous ces échanges quotidiens, retrouvés par exemple lors de manipulations d'objets ou des jeux de faire-semblant, lui permettront ainsi d'exploiter

pleinement ses capacités et d'aborder plus facilement les apprentissages mathématiques au cours de sa scolarité.

BIBLIOGRAPHIE

- Antell, S. E. & Keating, D. P. (1983). Perception of numerical invariance in neonates. *Child Development, 54*, 695-701.
- Barrouillet, P., & Camos, V. (2006). *La cognition mathématique chez l'enfant*. Paris: Solal.
- Booth, J. L., & Siegler, S. (2006). Developmental and Individual Differences in Pure Numerical Estimation. *Developmental Psychology, 41*(6), 189-201.
- Brannon, E. M., & Jordan, K. E. (2006). The multisensory representation of number in infancy. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 103*(9), 3486-3489.
- Bull, R., Marschark, M., & Blatto-Vallee, G. (2005). SNARC hunting: Examining number representation in deaf students. *Learning and Individual Differences, 15*(2005), 223-236.
- Camos, V. (2002). La quantification dans les populations déficientes. *Glossa, 82*(4), 1-13.
- Camos, V., Lépine, R., & Barrouillet, P. (2003). De quelle nature sont les différences individuelles en mémoire de travail? In A. Vom Hofe, H. Charvin, J. L. Bernaud, & D. Guedon (Eds.), *Psychologie différentielle : Recherches et réflexions* (pp. 211-215). Rennes : Presses Universitaires de Rennes.
- Camos, V. (2011). La cognition numérique chez l'animal et le bébé. In M. Habib, M.-P. Noël, F. George-Poracchia & V. Brun (Eds.), *Calcul et dyscalculies: des modèles à la rééducation* (pp. 17-28). Issy-Les-Moulineaux : Elsevier Masson.
- Carey, S. (2004). Bootstrapping & the origin of concepts. *Dædalus, 133*(1), 59-68.
- Chi, M. T. H., & Klahr, D. (1975). Span and rate of apprehension in children and adults. *Journal of Experimental Child Psychology, 19*, 434-439.

Clements, D. H. (1999). Subitizing : What is it ? Why teach it ?. *Teaching Children Mathematics*, 400-405.

Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory : A reconsideration of mental storage capacity. *Brain and Behavioral Science*, 24, 87-185.

Cueno, D.O. (1982). Children's judgments of numerical quantity: A new view of early quantification. *Cognitive Psychology*, 14, 13-44.

Dehaene, S. (2003). *La bosse des maths*. Paris : Odile Jacob.

Dehaene, S., & Cohen, L. (1994). Dissociable mechanisms of subitizing and counting. Neuropsychological evidence from simultanagnosic patients. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 958-975.

Dehaene, S., & Cohen, L. (2000). Un modèle anatomique et fonctionnel de l'arithmétique mentale. In M. Pesenti & X. Seron (Eds.), *Neuropsychologie des troubles du calcul et du traitement des nombres* (pp.191-232). Marseille : Ed. Solal.

Desoete, A., & Grégoire, J. (2006). Numerical competence in young children and in children with mathematics learning disabilities. *Learning and Individual Differences*, 16(4), 351-367.

Donlan, C., Cowan, R., Newton, E. J., & Lloyd, D. (2007). The role of language in mathematical development: evidence from children with specific language impairments. *Cognition*, 103(1), 23-33.

Dumont, A. (2008). *Orthophonie et surdité : communiquer, comprendre, parler*. Paris : Elsevier Masson.

Fayol, M., Camos, V., & Roussel, J.-L. (2000). Acquisition et mise en œuvre de la numération par les enfants de 2 à 9 ans. In M. Pesenti & X. Seron (Eds.), *Neuropsychologie des troubles du calcul et de traitement des nombres* (pp. 33-58). Marseille : Solal.

- Feigenson, L., Dehaene, S., & Spelke, E. S. (2004). Core systems of number. *Trends in cognitive sciences*, 8(7), 307-314.
- Fischer, J.-P. (2005). Le bébé numérique. In A. Van Hout, C. Meljac & J.-P. Fischer (Eds.), *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant* (pp. 76-91). Paris: Masson.
- Fischer, B., Gebhardt, C., & Hartnegg, K. (2008). Subitizing and visual counting in children with problems acquiring basic arithmetic skills. *Optometry and Vision Development*, 39(1), 24-29.
- Fischer, B., Köngeter, A., & Hartnegg, K. (2008). Effects of daily practice on subitizing, visual counting, and basic arithmetic skills. *Optometry and Vision Development*, 39(1), 30-33.
- Gaillard, F., & Willadino-Braga, L. (2005). Calcul et langage dans le développement et les troubles de l'apprentissage. In A. Van Hout, C. Meljac & J.-P. Fischer (Eds.), *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant* (pp. 195-216). Paris: Masson.
- Gallistel, C. R., & Gelman, R. (1992). Preverbal and verbal counting and computation. *Cognition*, 44, 43-74.
- Gelman, R., & Gallistel, C. R. (1978). *The child's understanding of number*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Gilmore, C. K., McCarthy, S. E., & Spelke, E. S. (2007). Symbolic arithmetic knowledge without instruction. *Nature*, 447, 589-591.
- Gilmore, C.K., McCarthy, S.E., & Spelke, E. (2010). Non-symbolic arithmetic abilities and mathematic achievement in the first year of formal schooling. *Cognition*, 115, 394-406.
- Habib, M. (2011). Neurologie des activités numériques et du calcul: un survol historique et anatomique. In M. Habib, M.-P. Noël, F. George-Poracchia & V. Brun (Eds.), *Calcul et dyscalculies: des modèles à la rééducation* (pp. 1-16). Issy-Les-Moulineaux: Elsevier Masson.

Hage, C., Charlier, B., & Leybaert, J. (2006). *Compétences cognitives, linguistiques et sociales de l'enfant sourd : Pistes d'évaluation*. Paris : Editions Mardaga.

Halberda, J., & Feigenson, L. (2008). Developmental change in the acuity of the « Number Sense »: the approximate number system in 3-,4-,5-, and 6-years-old and adults. *Developmental psychology*, 44(5), 1457-1465.

Halberda, J., Mazocco, M. M. M., & Feigenson, L. (2008). Individual differences in non-verbal number acuity correlate with maths achievement. *Nature*, 45, 665-669.

Halberda, J., Ly, R., Wilmer, J. B., Naiman, D. Q., & Germine, L. (2012). Number sense across the lifespan as revealed by a massive Internet-based sample. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(28), 11116-11120.

Holloway, I. D., Ansari, D. (2009). Mapping numerical magnitudes on to symbols: the numerical distance effect and individual differences in children's mathematics achievement. *Journal of experimental child psychology*, 103(1), 17-29.

Huntley-Fenner, G. (2001). Children's understanding of number is similar to adults' and rats': numerical estimation by 5-7-years-olds. *Cognition*, 78, 27-40.

Inglis, M., Attridge, N., Batchelor, S., & Gilmore, C. (2011). Non-verbal number acuity correlates with symbolic mathematics achievement: But only in children. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18,1222-1229.

Kahneman, D., Treisman, A., & Gibbs, B. J. (1992). The reviewing of object files: Object-specific integration of information. *Cognitive Psychology*, 24(2), 175-219.

Kaufman, E. L., Lord, M. N., Reese, T. W., & Volkman, J. (1949). The discrimination of visual number. *American Journal of Psychology*, 62, 498-525.

Kelly, R. R., Lang, H. G., Mousley, K., & Davis, S. M. (2003). Deaf college students' comprehension of relational language in arithmetic compare problems. *Journal of deaf studies and deaf education*, 8(2), 120-132.

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.

Lafay, A., Saint-Pierre, M. C., & Macoir, J. (2013). Développement des systèmes numériques non symboliques et prédicteurs de réussite mathématique. *Glossa, 112*, 1-17.

Lecointre, A.-S., Lépine, R., & Camos, V. (2005). Développement et troubles des processus de quantification. In M-P. Noël (Eds.), *La dyscalculie: Trouble du développement numérique de l'enfant* (pp. 41-75). Marseille: Solal.

Lemer, C. (2003). Acalculies : un examen rapide (mais réfléchi) du calcul. *Neurologies, 6*, 234-239.

Lépine, R. & Camos, V. (2004). Le développement de la quantification et ses contraintes. In E. Gentaz & P. Dessus (Eds.), *Comprendre les apprentissages : sciences cognitives et éducation* (pp. 85-98). Paris : Dunod.

Lépine, R., Camos, V., & Barrouillet, P. (2003). Différences individuelles en empan de mémoire de travail chez l'enfant et attention contrôlée. In A. Vom Hofe, H. Charvin, J. L. Bernaud, & D. Guedon (Eds.), *Psychologie différentielle : Recherches et réflexions* (pp. 227-231). Rennes : Presses Universitaires de Rennes.

Lepot-Froment, C., & Clerebaut, N. (1996). Les interactions prélinguistiques entre l'enfant et ses parents. In C. Lepot-Froment & N. Clerebaut (Eds.), *L'enfant sourd: communication et langage* (pp. 59-82). Bruxelles : De Boeck Université.

Leybaert, J., & Van Cutsem, M.-N. (2002). Counting in sign language. *Journal of Experimental Child Psychology, 81*(4), 482-501.

Libertus, M. E., Feigenson, L., & Halberda, J. (2013). Is approximate number precision a stable predictor of math ability? *Learning and Individual Difference, (25)*, 126-133.

Libertus, M. E., Odic, D., & Halberda, J. (2012). Intuitive sense of number correlates with math scores on college-entrance examination. *Acta Psychologica*, *141*(3), 372-379.

Mandler, G., & Shebo, B. J. (1982). Subitizing : An analysis of its components processes. *Journal of Experimental Psychology : General*, *111*(1), 1-22.

Mazzocco, M. M. M, Feigenson, L., & Halberda, J. (2011). Preschoolers precision of the approximate number system predicts later school mathematics performance. *Plos One*, *6*(9), 1-8.

McMullen, J., Hannula-Sormunen, M. M., & Lehtinen, E. (2015). Preschool spontaneous focusing on numerosity predicts rational number conceptual knowledge six years later. *ZDM The International Journal on Mathematics Education*, 1-28.

Meck, W. H., & Church, R. M. (1983). A mode control model of counting and timing processes. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *9*(3), 320-334.

Mussolin C., Nys, J., Leybaert, J., & Content, A. (2012). Relationships between approximate number system acuity and early symbolic number abilities. *Trends in Neuroscience and Education*, (1), 21-31.

Mussolin, C., Nys, J., Content, A., & Leybaert, J. (2014). Symbolic Number Abilities Predict Later Approximate Number System Acuity in Preschool Children. *Plos One*, *9*(3),1-12.

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.

Pasini, M., & Tessari, A. (2001). Hemispheric specialization in quantification processes. *Psychological Research*, *65*(1), 57-63.

Pesenti, M. (2001). Les procédures de quantification chez l'enfant. In A. Van Hout, C. Meljac & J.-P., Fischer (Eds.), *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant* (pp. 91-108). Paris : Masson.

Pesenti, M., & Seron, X. (2000). Neuropsychologie des troubles du calcul : une introduction. In M. Pesenti & X. Seron (Eds.), *Neuropsychologie des troubles du calcul et de traitement des nombres* (pp. 85-126). Marseille : Solal.

Pesenti, M., & Rousselle, L. (2005). Les procédures de quantification chez l'enfant. In A. Van Hout, C. Meljac & J.-P. Fischer (Eds.), *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant* (pp.92-110). Masson.

Peterson, S. A., & Simon, T. J. (2000). Computational evidence for the subitizing phenomenon as an emergent property of the human cognitive architecture. *Cognitive Science*, 24(1), 93-122.

Piazza, M., Giacomini, E., Le Bihan D., & Dehaene, S. (2003). Single-trial classification of parallel pre-attentive and serial attentive processes using functional magnetic resonance imaging. *Proceedings of the Royal Society of London: Biological Sciences*, 270, 1237-1245.

Piazza, M., Facoetti, A., Noemi, A., Berteletti, I., Conte, S., Lucangeli, D., & Dehaene, S. (2010). Developmental trajectory of number acuity reveals a severe impairment in developmental dyscalculia. *Cognition*, 116(1), 33-41.

Pica, P., Lemer, C., Izard, V., & Dehaene, S. (2004). Exact and approximate arithmetic in an Amazonian indigene group. *Science*, 306(5695), 499-503.

Roux, M.-O. (2014). Surdité et difficultés d'apprentissage en mathématiques, état des lieux et probl matiques actuelles. *Bulletin de psychologie*, 4(532), 295-307.

Samhita, L. & Gross, H. J. (2013). The "Clever Hans Phenomenon" revisited. *Communicative & Integrative Biology*, 6(6), 271221-271223.

Schleifer, P., & Landler, K. (2011). Subitizing and counting in typical and atypical development. *Developmental Science*, 2(14), 280-291.

Siegler, R. S., & Booth, J. L. (2004). Development of numerical estimation in young children. *Child Development*, 75, 428-444.

Siegler, R. S., & Opfer, J. E. (2003). The development of numerical estimation : Evidence for multiple representations of numerical quantity. *Psychological Science, 14*, 237-243.

Simon, T. J., & Cabrera, A. (1995). Evidence for subitizing as a stimulus-limited processing phenomenon. In *Proceedings of the 17th Annual Conference of the Cognitive Science Society, Pittsburg, PA*, 43-48.

Spaepen, E., Coppola, M., Spelke, E. S., Carey, S. E., & Goldin-Meadow, S. (2011). Number without a language model. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 108*(8), 3163-3168.

Starkey, P., & Cooper, R. G. (1980). Perception of numbers by human infants. *Science, 210*(473), 1033-1035.

Starkey, P., & Cooper, R. G. (1995). The development of subitizing in young children. *British Journal of Developmental Psychology, 13*, 399-420.

Temple, E., & Posner, M. (1998). Brain mechanisms of quantity are similar in 5-year-old children and adults. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 95*(13), 7836-7841.

Vauclair, J. (2000). Connaissances protonumériques chez le primate et le jeune enfant. In M. Pesenti & X. Seron (Eds.), *Neuropsychologie des troubles du calcul et de traitement des nombres* (pp. 11-32). Marseille : Solal.

Vinter, S. (1996). Construction de la communication vocale. In C. Lepot-Froment & N. Clerebaut (Eds.), *L'enfant sourd: communication et langage* (pp. 25-58). Bruxelles : De Boeck Université.

Wolters, G., Van Kempen, H., & Wijlhuizen, G. (1987). Quantification of small numbers of dots: Subitizing or pattern recognition?. *American Journal of Psychology, 100*(2), 225-237.

Xu, F. (2003). Numerosity discrimination in infants: evidence for two systems of representations. *Cognition 89*(1), B15-B25.

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.

Zevenbergen, R., Hyde, M., & Power, D. (2001). Language, arithmetic word problems, and deaf students: linguistic strategies used to solve tasks. *Mathematics Education Research Journal*, 13(3), 204-218.

Annexes

ANNEXE I: Modèle de Dehaene et Cohen

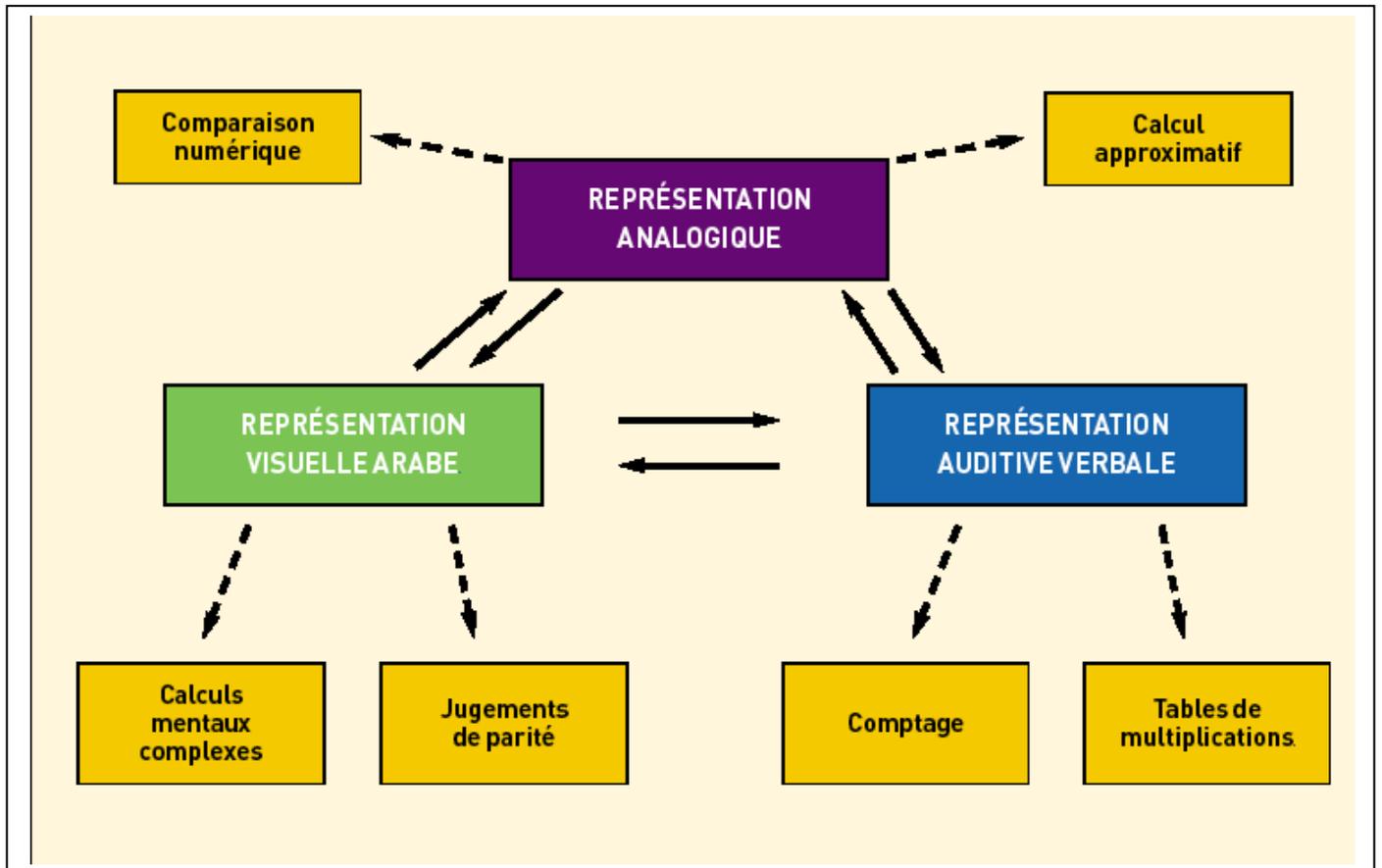


Figure 25 : Schéma du Modèle Triple Code de Dehaene et Cohen (d'après Lemer, 2003)

ANNEXE II: Courbe classique obtenue lors d'une tâche de quantification

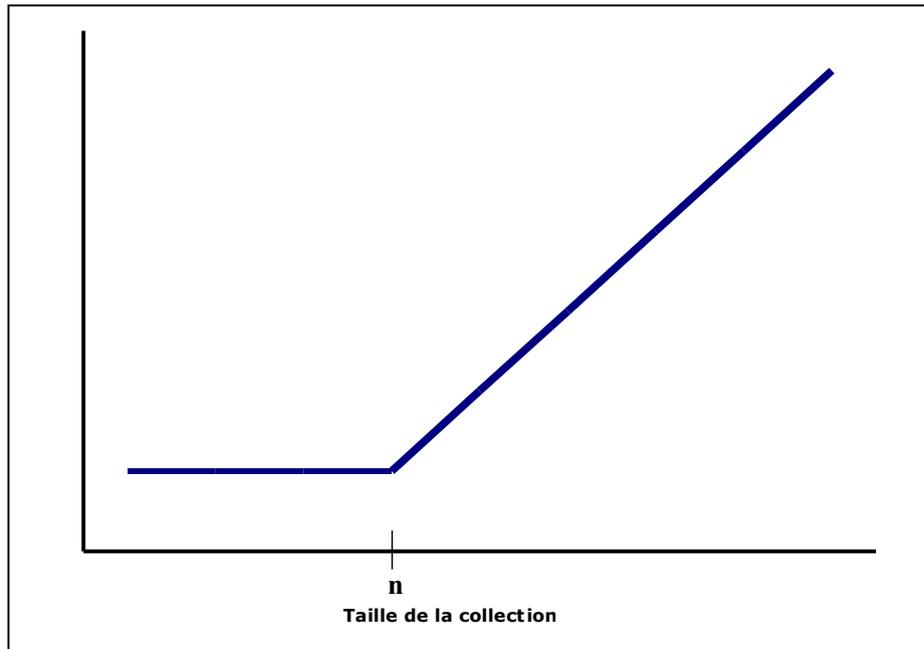


Figure 26: Schéma représentant la courbe classique des taux d'erreurs ou des temps de réponses en fonction de la taille de la collection lors d'une tâche de quantification (d'après Lecointre et al., 2005)

ANNEXE III: Tableau de la population

		Age (en mois)	Sexe
1	Entendant	51	M
2	Entendant	51	F
3	Entendant	50	M
4	Entendant	52	M
5	Entendant	50	M
6	Entendant	57	F
7	Entendant	56	F
8	Entendant	54	M
9	Entendant	56	F
10	Entendant	61	F
11	Entendant	61	M
12	Entendant	62	M
13	Entendant	64	F
14	Entendant	64	M
15	Entendant	69	M
16	Entendant	67	M
17	Entendant	67	F
18	Entendant	68	M
19	Entendant	68	M
20	Entendant	73	M
21	Entendant	72	F
22	Entendant	75	M
23	Entendant	76	M
24	Entendant	76	M
25	Entendant	73	M
26	Sourd	51	M
27	Sourd	52	M
28	Sourd	51	F
29	Sourd	53	F
30	Sourd	57	F
31	Sourd	54	M
32	Sourd	54	M
33	Sourd	62	M
34	Sourd	62	M
35	Sourd	65	F
36	Sourd	68	F
37	Sourd	71	M
38	Sourd	69	F
39	Sourd	75	F
40	Sourd	72	F
41	Sourd	76	M

Tableau 13: Population

ANNEXE IV : Questionnaire

Nom :

Prénom :

Date de naissance :

Classe :

1. Age du dépistage de la surdité:

2. Age du début de prise en charge :

3. Prise en charge orthophonique :

- date du début de prise en charge :

- fréquence :

4. Type de surdité et degré de surdité :

5. Type d'appareillage :

6. Si implantation cochléaire, à quel âge ?:

7. Environnement familial (parents sourds ? entendants ?) :

8. Aides complémentaires (LPC, LSF...) :

9. Scolarité (inclusion scolaire, classe spécialisée...) :

10. Antécédents médicaux :

11. Autres informations importantes à connaître :

ANNEXE V : Courrier type aux familles

A..., le

Lettre d'information et demande d'autorisation parentale

Actuellement étudiantes en quatrième et dernière année à l'Ecole d'Orthophonie de Nantes, nous travaillons, dans le cadre de notre mémoire, sur les processus de quantification : le subitizing qui correspond à l'identification immédiate de petites quantités et l'estimation qui concerne les grandes quantités. Notre recherche consiste à évaluer ces deux processus chez des enfants atteints de surdité de 4 ans à 6 ans 6 mois. Ces deux processus étant à la base de certaines habiletés mathématiques, il nous semble intéressant de savoir s'ils se mettent bien en place chez les enfants sourds. Il n'est pas rare que les enfants sourds présentent des difficultés mathématiques au cours de leur scolarité. Notre étude permettra d'enrichir les connaissances sur la cognition mathématique des enfants sourds et ainsi donner des outils supplémentaires pour la prise en charge orthophonique. Nous savons que le développement des capacités mathématiques n'est pas la première problématique à travailler dans la prise en charge d'un enfant atteint de surdité. Cependant, nous souhaitons mettre en avant le fait que d'autres aspects sont également à prendre en compte, notamment les fondements numériques. Par ce biais, nous voulons également insister sur les capacités existantes de l'enfant sourd.

Notre évaluation, individuelle, est constituée d'épreuves spécifiques de subitizing et d'estimation sur ordinateur qui ne prendront que quelques minutes et d'épreuves en lien avec ces compétences (compréhension, mémoire de travail...). La passation n'excèdera pas 30 minutes par enfant.

En accord avec la direction et les orthophonistes du centre, nous allons intervenir courant Janvier au Nous nous permettons de solliciter votre autorisation pour la participation de votre enfant à notre étude. Vous trouverez le formulaire de consentement à remplir ci-dessous. Conformément à la déontologie en vigueur, notre évaluation sera couverte par l'anonymat. Pour toute question, n'hésitez pas à nous contacter : grellier.morineau@gmail.com.

Nous vous remercions pour votre coopération et nous vous prions de recevoir l'expression de nos salutations les meilleures.

Louise Morineau et Sandrine Grellier

Formulaire de consentement destiné aux parents:

Je soussigné(e) autorise / n'autorise pas mon fils / ma fille
..... à participer à la passation des épreuves dans le cadre du Mémoire
d'Orthophonie de Louise Morineau et Sandrine Grellier.

ANNEXE VI : Grille de cotation

Date :

Nom :

Prénom :

Age de l'enfant :

Classe :

1. Raisonnement non-verbal (BREV: épreuve des matrices)

2 points si réussite au 1^{er} coup. 1 point si réussite au 2^{ème} essai.

Planche 1 : 4

Planche 5 : 1

Planche 2 : 4

Planche 6 : 5

Planche 3 : 1

Planche 7 : 3

Planche 4 : 4

/12

2. Langage : versant expression (ELO : épreuve de dénomination)

Noter + quand la réponse est correcte.

1. lapin		17. toile d'araignée	
2. chat		18. tabouret	
3. table		19. aquarium	
4. ciseau, ciseaux		20. tournevis Fin GS	
5. chapeau		21. horloge, pendule	
6. glace		22. piano	
7. parapluie		23. cactus	
8. ampoule		24. poireau	
9. papillon		25. sac à dos	
10. bougie		26. sèche-cheveux	
11. cerf-volant		27. louche	
12. arrosoir		28. pince (épingle) à linge	

13. (tube) de dentifrice, colle, pommade, peinture, crème		29. perceuse, visseuse, dévisseuse
14. pingouin		30. table (planche) à repasser
15. jumelles		31. cadenas
16. canne à pêcher, lancer, ligne		32. bibliothèque

3. Comptine numérique

1. *Est-ce que tu peux compter le plus loin possible ?* jusqu'à 9 : /1 jusqu'à 30 : /1

Modalité de réponse : orale – gestuelle

Ebauche orale : oui-non

Erreurs dans la chaîne :

(Niveau chapelet – Niveau de la chaîne insécable)

Si réussite :

2. *Est-ce que tu peux compter à partir de 3 ?* /1

3. *Est-ce que tu peux compter jusqu'à 9 ?* /1

Modalité de réponse : orale – gestuelle

Erreurs dans la chaîne :

Si réussite :

4. *Est-ce que tu peux compter de 3 à 7 ?* /1

Modalité de réponse : orale – gestuelle

Erreurs dans la chaîne :

(Niveau de la chaîne sécable si réussite 2,3,4) /4

4. Subitizing & Estimation

1. Manipulation

Observations :

2. Cartes

Observations :

3. Epreuves ordi

A. Identification

Ex A. 2	Ex B. 5	Ex C. 2	A. 1	B. 9	C. 1
D. 8	E. 2	F. 6	G. 8	H. 3	I. 5
J. 3	K. 7	L. 4	M. 6	N. 2	O. 4
P. 5	Q. 4	R. 6	S. 7	T. 1	U. 7
V. 2	W. 8	X. 3	Y. 9	Z. 5	AA. 9

Observations :

B. Comparaison

Observations :

5. Mémoire visuo-spatiale (cubes de Corsi)

Démonstration : 10 – 1		
Exemples : 1 – 6 5 – 8		
1. 3 – 10 7 – 4	0 1 0 1	0 1 2
2. 1 – 9 – 3 8 – 2 – 7	0 1 0 1	0 1 2
3. 4 – 9 – 1 – 6 10 – 6 – 2 – 7	0 1 0 1	0 1 2
4. 6 – 5 – 1 – 4 – 8 5 – 7 – 9 – 8 – 2	0 1 0 1	0 1 2
5. 4 – 1 – 9 – 3 – 8 – 10 9 – 2 – 6 – 7 – 3 – 5	0 1 0 1	0 1 2
6. 10 – 1 – 6 – 4 – 8 – 5 – 7 2 – 6 – 3 – 8 – 2 – 10 – 1	0 1 0 1	0 1 2

6. Langage : versant compréhension (ELO : épreuve de désignation)

Montre-moi l'image où il y a...

1. casquette – chapeau – dé – couronne	
2. avion – voiture – camion – autocar	
3. chat – kangourou – lapin – écureuil	
4. banane – pomme – poire – cerises	
5. vache – ours – cochon – mouton	
6. perceuse – pinceau – tournevis – entonnoir	
7. tasse – bol –flacon – verre	
8. chaise – banc – tabouret – fauteuil	
9. sabot – gant – chaussure – botte	
10. flûte – cor – trompette – guitare	
11. poussette – lit – landau – berceau	
12. pull – chemisette – jupe – polo	
13. marteau – rabot – tournevis – râteau	
14. évier – baignoire – douche – lavabo	
15. artichaut – chou – courgette – poireau	
16. baleine – anguille – sardine – dauphin	
17. escabeau – escalier – échelle – tabouret	
18. appareil photo – lunettes – microscope – jumelles	
19. trottinette – bicyclette – patins à roulettes – raquette	
20. avion – hélicoptère – montgolfière – téléphérique	
Total : /20	

Noter + si l'image choisie est l'image correcte. Entourer la réponse quand elle est différente.

ANNEXE VII : Illustrations de la tâche maison des cubes de Corsi

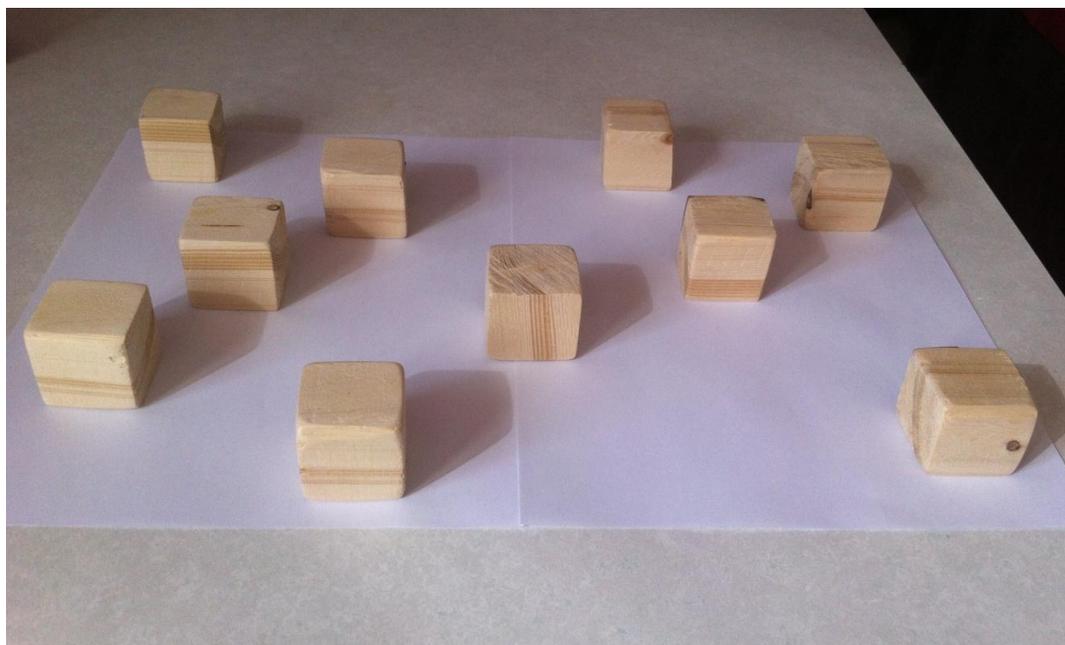


Figure 27 : Illustration de l'épreuve maison des Cubes de Corsi, vue par l'enfant

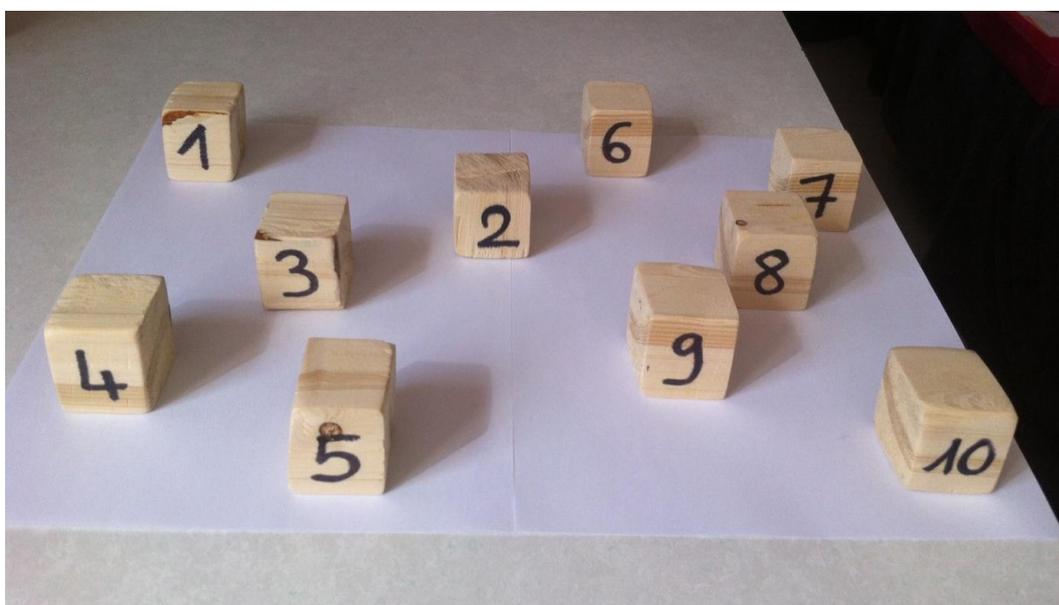


Figure 28 : Illustration de l'épreuve maison des Cubes de Corsi, vue par l'examineur

ANNEXE VIII : Illustrations de la préparation aux tâches expérimentales

I. BOITES DE JETONS



Figure 29 : Illustration de la première étape de préparation à la tâche d'identification



Figure 30 : Illustration de la première étape de préparation à la tâche de comparaison

II. CARTES

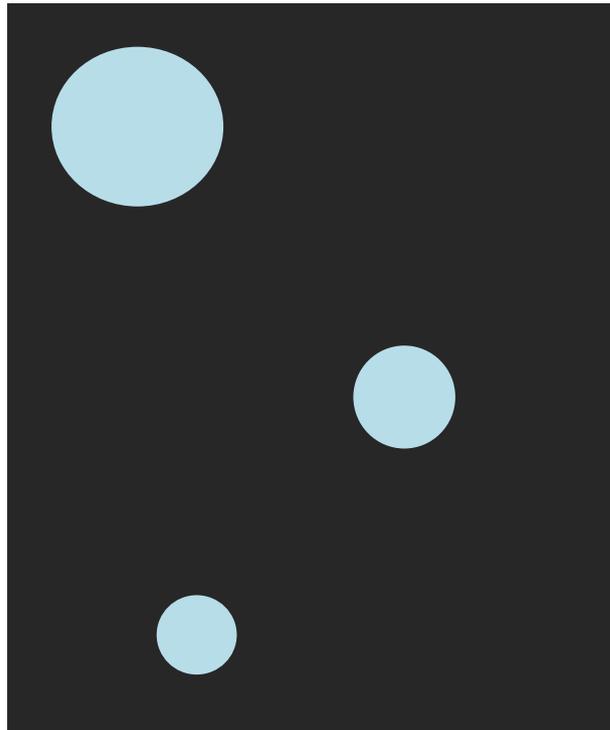


Figure 31 : Illustration de la seconde étape de préparation à la tâche d'identification

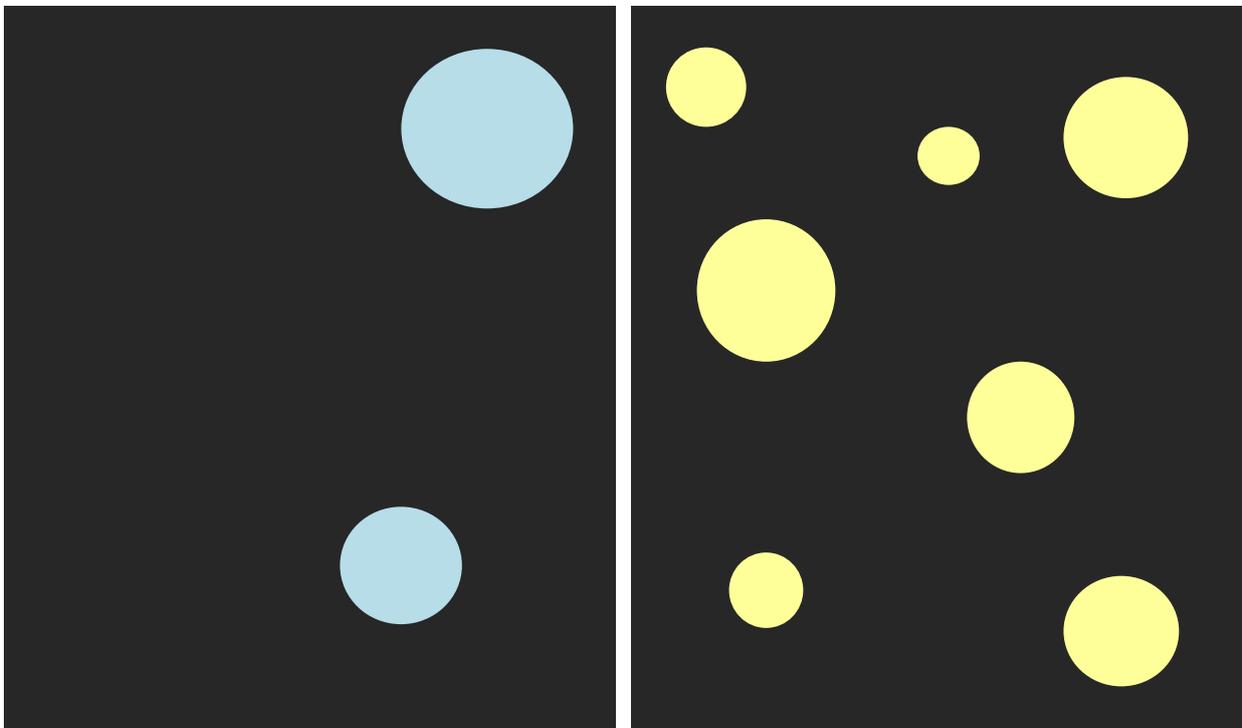


Figure 32 : Illustration de la seconde étape de préparation à la tâche de comparaison

ANNEXE IX : Analyse de la « p-value »

$p < 0,01$	Très forte probabilité qu'il existe un effet de groupe significatif
$0,01 < p < 0,05$	Forte probabilité qu'il existe un effet de groupe significatif
$0,05 < p < 0,1$	Faible probabilité qu'il existe un effet de groupe significatif
$0,1 < p$	Très faible probabilité qu'il existe un effet de groupe significatif

Tableau 14 : Tableau d'analyse de la p-value

TABLE DES ANNEXES

ANNEXE I: Modèle de Dehaene et Cohen	122
ANNEXE II: Courbe classique obtenue lors d'une tâche de quantification .	123
ANNEXE III: Tableau de la population	124
ANNEXE IV : Questionnaire.....	125
ANNEXE V : Courrier type aux familles	126
ANNEXE VI : Grille de cotation.....	128
ANNEXE VII : Illustrations de la tâche maison des cubes de Corsi	132
ANNEXE VIII : Illustrations de la préparation aux tâches expérimentales ..	133
ANNEXE IX : Analyse de la « p-value »	135

TABLE DES ILLUSTRATIONS

I. Liste des tableaux

Tableau 1 : Description de la population en fonction de l'âge	61
Tableau 2 : Pourcentage d'individus par score des matrices (%)	62
Tableau 3 : Pourcentage d'individus par score de la chaîne numérique (%)	67
Tableau 4 : Pourcentage d'individus répartis selon le taux de bonnes réponses	71
Tableau 5 : Moyenne et taux de réussite pour chaque groupe en fonction de la taille des collections (en %)	73
Tableau 6 : Taux de non-réponse en fonction de la taille des collections (en %)	75
Tableau 7 : Pourcentages de déviation en fonction de la numérosité sur la tâche verbale pour chaque groupe d'individus	76
Tableau 8 : Temps de réaction médians et moyens pour l'ensemble de la tâche, les petites quantités et les grandes quantités (en ms)	77
Tableau 9 : Tableau récapitulatif de la répartition des items de la tâche non-verbale	80
Tableau 10 : Taux de bonnes réponses en fonction de la distance entre deux petites collections à comparer (en %)	84
Tableau 11 : Taux de bonnes réponses en fonction de la distance entre deux grandes collections à comparer (en %)	84
Tableau 12 : Temps de réaction médians et moyens sur l'ensemble de la tâche, pour les petites et les grandes quantités (en ms)	85
Tableau 13 : Population	124
Tableau 14 : Tableau d'analyse de la p-value	135

II. Liste des figures

Figure 1: Exemple de figures concentriques.....	23
Figure 2 : Collections de quatre points de disposition irrégulière (a) et régulière (b)	24
Figure 3: Exemple de planche présentée à l'enfant lors de la tâche d'identification	57
Figure 4 : Exemple de planche présentée à l'enfant lors de la tâche de comparaison, correspondant à l'évaluation du SNP	58
Figure 5 : Exemple de planche présentée à l'enfant lors de la tâche de comparaison d'ensemble de points, correspondant à l'évaluation du SNA	58
Figure 6 : Performances de chaque groupe à la tâche de complétion de formes de la BREV.	63
Figure 7 : Performances de chaque population en fonction des épreuves de langage	64
Figure 8 : Répartition fréquentielle des modalités de réponse en fonction de chaque enfant .	65
Figure 9 : Performances globales à l'épreuve de langage pour chaque groupe.....	66
Figure 10 : Performances de chaque groupe à la chaîne numérique	68
Figure 11 : Répartition de la population en fonction des empanns mnésiques visuo-spatiaux (en pourcentage).....	69
Figure 12 : Performances de chaque groupe à la tâche de mémoire visuo-spatiale.....	70
Figure 13 : Taux de réponses correctes sur l'ensemble de la tâche verbale d'identification (en %)	72
Figure 14 : Performances à la tâche verbale en fonction de la numérosité de la collection....	73
Figure 15 : Comparaison intra-groupe des performances à la tâche verbale en fonction de la taille des collections	74
Figure 16 : Réponses moyennes données à la tâche verbale en fonction de la numérosité.....	75

Figure 17 : Temps de réaction en fonction de la taille des collections (en ms)	78
Figure 18 : Performances sur l'ensemble de l'épreuve non-verbale.....	81
Figure 19 : Performances sur la tâche non-verbale en fonction de la taille et la distance entre deux collections à comparer.....	82
Figure 20 : Comparaison intra-groupe des taux de bonnes réponses en fonction de la taille des collections	83
Figure 21 : Temps de réaction moyens en fonction de la taille des collections (en ms)	86
Figure 22 : Temps de réaction moyens en fonction de la distance entre deux collections appartenant au système numérique précis (en ms).....	87
Figure 23 : Temps de réaction moyens en fonction de la distance entre deux collections appartenant au système numérique approximatif (en ms)	88
Figure 24 : Pourcentages d'utilisation de chaque stratégie en fonction de chaque population	91
Figure 25 : Schéma du Modèle Triple Code de Dehaene et Cohen (d'après Lemer, 2003).	122
Figure 26 : Schéma représentant la courbe classique des taux d'erreurs ou des temps de réponses en fonction de la taille de la collection lors d'une tâche de quantification (d'après Lecointre et al., 2005).....	123
Figure 27 : Illustration de l'épreuve maison des Cubes de Corsi, vue par l'enfant	132
Figure 28 : Illustration de l'épreuve maison des Cubes de Corsi, vue par l'examineur.....	132
Figure 29 : Illustration de la première étape de préparation à la tâche d'identification	133
Figure 30 : Illustration de la première étape de préparation à la tâche de comparaison	133
Figure 31 : Illustration de la seconde étape de préparation à la tâche d'identification	134
Figure 32 : Illustration de la seconde étape de préparation à la tâche de comparaison.....	134

RESUME

Dans le domaine de la cognition numérique, le lien entre les compétences mathématiques formelles et les habiletés numériques de base est établi. Certaines études ont témoigné des difficultés des enfants atteints de surdité en mathématiques. Qu'en est-il alors des compétences précoces, telles que le subitizing et l'estimation, des jeunes enfants sourds ? Ces processus de quantification innés sont-ils fondamentalement indépendants du langage ? Cette étude s'est proposée d'évaluer ces deux processus de quantification selon une modalité verbale ou non-verbale chez des enfants sourds et entendants âgés de quatre à six ans et demi. Elle s'est construite sur l'hypothèse que le retard de langage présent chez les enfants sourds affecterait les habiletés numériques de base sur le plan verbal, mais que les performances inter-population seraient semblables dans la modalité non-verbale. Les résultats ont démontré l'absence de décalage de performances entre les deux populations, suggérant la prédominance de l'innéité du subitizing et de l'estimation sur l'impact du langage. Les compétences numériques réelles des enfants sourds sont alors à prendre en compte, à renforcer et à valoriser.

MOTS-CLES : Surdité – cognition numérique – habiletés numériques de base – subitizing – estimation - langage

ABSTRACT

In the world of numerical cognition, the link between formal mathematical competences and basic numerical skills is established. Some studies have shown deaf children to have difficulty with mathematics. What about young deaf children early skills, such as subitizing and estimation? Are innate quantization processes fundamentally independent from language? This study aims to measure those two processes of quantification according to verbal or nonverbal modality in deaf and hearing children aged four to six and a half. It has been built on the hypothesis that the delay in language in deaf children might verbally affect their basic numerical skills, but that the interpopulation skills would be the same in non-verbal modality. The results have shown there is no gap of performances between these two populations, suggesting a predominance of subitizing and estimation innateness on language impact. Deaf children real numerical skills have to be taken into account, to be strengthened and valorized.

KEY WORDS: Deaf – numerical cognition –basic numerical skills - subitizing – estimation- language