

# Sommaire

<b>Résumé</b>	<b>4</b>
<b>Introduction</b>	<b>5</b>
La surdité est un trouble périphérique qui s'accompagne de déficits centraux.	5
L'utilisation de l'implant a des bénéfices perceptifs mais ne corrige pas complètement la perception de l'enfant sourd.	5
Le déficit de perception pénalise le développement du langage	5
La surdité entraîne également des répercussions centrales.	6
La mémoire de travail, déficitaire dans la surdité, est une fonction cognitive multiple, intimement liée au langage.	6
D'après le modèle de Baddeley, la mémoire de travail est composée de 4 sous-systèmes.	6
La mémoire de travail est fortement liée aux capacités de langage.	8
Les tests d'empan mettent en évidence des performances différentes entre les enfants sourds et normo-entendants, mais il est difficile d'en identifier la source	9
Les enfants implantés présentent des scores plus faibles que les enfants normo-entendants dans des tests de mémoire de travail	9
L'utilisation du test d'empan de chiffres pour évaluer la mémoire de travail pourrait pénaliser à tort les enfants implantés.	10
Le test d'empan de chiffres se concentre principalement sur les capacités de stockage, au détriment de l'étude détaillée des différents sous-systèmes.	10
Rationale	11
<b>Matériel et méthodes</b>	<b>12</b>
Population	12
Protocole	12
Stimuli	13
Statistiques	13
<b>Résultats</b>	<b>15</b>
L'effet de la modalité de présentation n'est pas significativement différent chez les enfants implantés et chez les normo-entendants.	15
L'effet de la longueur des séquences proposées n'est pas significativement différent chez les enfants implantés et chez les normo-entendants.	16
L'effet de la complexité des séquences proposées n'est pas significativement différent chez les enfants implantés et chez les normo-entendants.	17
<b>Discussion</b>	<b>19</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>22</b>

## Résumé

Les enfants sourds implantés cochléaires présentent un déficit d'empan mnésique, mesuré par le test d'empan de chiffres de la WISC. Cependant, ce test seul a une fonction diagnostique, et ne permet pas de préciser le déficit de mémoire de travail en terme d'étapes de traitement cognitif. Afin de préciser l'implication de chaque composante de la mémoire de travail chez les enfants sourds implantés cochléaires, nous nous sommes appuyés sur le modèle de mémoire de travail de Baddeley et avons créé un test d'empan à trois facteurs. Ces trois facteurs sont :

- la modalité d'entrée (auditive ou visuelle), pour isoler un déficit de la boucle phonologique et du calepin visuo-spatial.
- la longueur des séquences (de 2 à 6 items), pour mesurer le stock mnésique et isoler un déficit du buffer épisodique.
- la complexité de la séquence, pour isoler un déficit de stratégie de mémorisation et donc de l'administrateur central.

Un groupe d'enfants sourds implantés et oralisants, et un groupe d'enfants contrôles sans troubles associés, appariés en âge, ont passé l'expérience. Cette expérience consistait à regarder/écouter puis reproduire immédiatement une séquence d'items. Les stimuli ont été sélectionnés pour contourner la composante verbale importante des tests d'empan (images abstraites ou voyelles isolées). Les résultats ne montrent pas de différences de l'effet de la modalité, de la longueur et de la complexité des séquences entre les groupes. En conclusion, l'étude n'a pas permis de mettre en évidence un déficit spécifique d'une composante de la mémoire de travail, probablement à cause d'un échantillon trop petit relativement à l'importante variabilité inter-individuelle.

# Introduction

## I. La surdité est un trouble périphérique qui s'accompagne de déficits centraux.

- A. L'utilisation de l'implant a des bénéfices perceptifs mais ne corrige pas complètement la perception de l'enfant sourd.

L'implant cochléaire améliore considérablement l'audition, mais ne permet pas d'atteindre les performances d'une audition normale. En effet, le problème majeur est qu'il ne restitue pas l'intégralité des composantes du son. Le son peut être décomposé en deux dimensions : les modulations temporelles et les modulations fréquentielles. L'implant donne accès à l'information temporelle, mais plus difficilement à l'information fréquentielle (Lorenzi, Gilbert, Carn, Garnier, Moore 2006). Cette transmission imparfaite affecte le développement de la communication chez les enfants implantés cochléaires (Huotilainen, Tervaniemi 2018). Ils ont une intelligibilité moins bonne que les enfants normo-entendants (Niparko, 2010), même si leurs scores ne sont parfois que faiblement chutés (Montag, 2014). Il existe aussi des répercussions sur le plan expressif (Niparko, Tobey, Thal, Eisenberg, Wang, 2010).

- B. Le déficit de perception pénalise le développement du langage.

On constate que les compétences lexicales sont déficitaires chez les enfants implantés. Leurs difficultés se situent principalement en compréhension, lorsque cela nécessite une discrimination phonologique importante. La production lexicale reste quant à elle d'un niveau similaire à celui d'enfants normo-entendants du même âge (Caselli, Rinaldi, Varuzza, Giuliani, Burdo 2012).

Les compétences syntaxiques sont également déficitaires, notamment la compréhension et la production de la grammaire (Caselli et al., 2012). Ils peinent à s'appuyer sur le contexte de la parole et ont ainsi tendance à traiter les phrases indépendamment les unes des autres. Les schémas grammaticaux du langage oral ne sont pas traités correctement, ce qui altère la compréhension globale. Cela est corrélé à leur mauvaise intégration de

l'information séquentielle dans le langage parlé (Conway, Deocampo, Walk, Anaya, Pisoni, 2014).

### C. La surdité entraîne également des répercussions centrales.

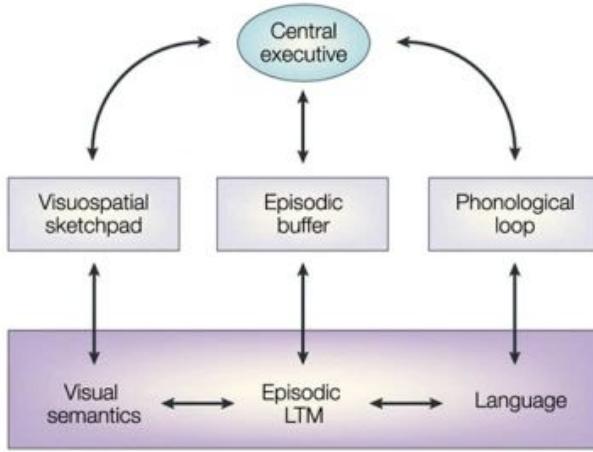
Au-delà des conséquences perceptives, la surdité impacte également des fonctions cognitives. Les différentes fonctions ne se développent pas indépendamment les unes des autres : un déficit sensoriel dans les premières années de vie a des répercussions sur le développement des capacités neurocognitives et de certaines fonctions cérébrales (Kronenberger, Henning, Ditmars, Roman, Pisoni, 2018). On constate que plusieurs domaines sont touchés, comme l'attention auditive ou les fonctions exécutives telles que l'inhibition et l'autorégulation (Conway, Pisoni, Kronenberger, 2009). Une fonction cognitive très importante est également impactée, la mémoire de travail. Cette fonction est d'autant plus intéressante qu'elle présente des liens étroits avec les compétences langagières. Le déficit de mémoire de travail chez les enfants sourds pourrait expliquer en partie leurs déficits au niveau du langage.

## **II. La mémoire de travail, déficiente dans la surdité, est une fonction cognitive multiple, intimement liée au langage.**

### A. D'après le modèle de Baddeley, la mémoire de travail est composée de 4 sous-systèmes.

La mémoire de travail est une fonction cognitive associée à deux capacités. Elle permet de stocker temporairement l'information et de la manipuler. Elle permet, par exemple, de retenir un numéro de téléphone tout en réalisant une autre action avant de pouvoir le noter, ou bien de maintenir les informations lors d'une lecture de texte et de les agencer entre elles pour comprendre le texte dans son ensemble. La mémoire de travail possède donc une place importante au quotidien.

Le modèle de mémoire de travail le plus utilisé est celui de Baddeley, publié pour la première fois en 1974 (Baddeley, 1974), et régulièrement mis à jour (Baddeley, 2003b).



**Figure 1.** Schéma du modèle de mémoire de travail (Baddeley, 2003b).

Dans ce modèle (voir Fig. 1), la mémoire de travail constitue un interface entre l'information perçue et la mémoire à long terme. Elle est composée d'un administrateur central et de trois sous-systèmes : la boucle phonologique, le tampon ou buffer épisodique et le calepin visuo-spatial. Ces trois sous-systèmes interagissent eux-mêmes avec la mémoire à long terme mais sont indépendants les uns des autres. En effet, certains patients avec lésions cérébrales ont un déficit spécifique d'un des sous-systèmes sans que les autres soient atteints (Baddeley, 2012).

1. Le buffer épisodique possède principalement un rôle de stockage avec une capacité limitée.
2. Le calepin visuo-spatial intervient lors de la rétention et la manipulation d'informations visuelles et spatiales. Il permet de retenir par exemple les différents déplacements d'un objet sur un plan et de les reproduire (Baddeley, 2012).
3. La boucle phonologique est la partie de la mémoire de travail sur laquelle on possède le plus d'informations. Elle se caractérise par un processus appelé articulation mentale. L'articulation mentale est une articulation interne et silencieuse des items à restituer qui permet de les maintenir en mémoire. La boucle phonologique est par ailleurs définie par plusieurs effets, différents mécanismes qui caractérisent son fonctionnement. L'effet de similitude phonologique correspond au fait de retenir plus facilement une série d'items avec des ressemblances phonologiques. C'est un témoin important de l'implication de la boucle phonologique lors de tests de mémorisation.

L'effet de longueur traduit une diminution des performances d'un individu lors d'une restitution de mots face à l'augmentation de la longueur de ces mots. Cela est lié au temps nécessaire à l'articulation mentale de ces mots, qui est plus important.

4. L'administrateur central a un rôle de superviseur sur les trois sous-systèmes. Il gère l'attention, c'est à dire la répartition des ressources attentionnelles nécessaires à la tâche. Il hiérarchise également les tâches en fonction de leur difficulté, de leur priorité et de leurs besoins attentionnels.

#### B. La mémoire de travail est fortement liée aux capacités de langage.

Au sein de la mémoire de travail, la boucle phonologique présente un lien tout particulier avec le langage. C'est elle qui gère les items à composante verbale, lorsque la mémoire de travail est impliquée dans un contexte langagier (Baddeley, 2003). Plusieurs études (voir Baddeley, 1998 pour une revue de la littérature) montrent que la boucle phonologique a un rôle facilitateur lors de l'acquisition du langage et notamment lors de l'apprentissage de nouveaux mots. Un bon fonctionnement de la mémoire de travail apparaît comme un prérequis important au développement du langage. Il faut notamment pouvoir utiliser sa mémoire de travail pour comprendre une phrase complexe, avec plusieurs propositions relatives imbriquées par exemple. Il existe une corrélation entre les scores de mémoire de travail et le niveau de vocabulaire qui suggère que de bons scores de mémoire de travail influencent positivement le niveau de vocabulaire (Akçakaya, Aslan, Doğan, Yücel, 2018). Toutefois, il est difficile d'établir un lien causal direct, car d'autres facteurs pourraient entrer en jeu. L'intelligibilité de la parole est également à mettre en lien avec la mémoire de travail, elle en est un bon prédicteur (Castellanos, Kronenberger, Beer, Henning, Colson, 2014). Il existe une corrélation entre les scores d'intelligibilité et ceux d'empan de chiffres (Montag, AuBuchon, Pisoni, Kronenberger 2014, Pisoni & Geers, 2000). Des liens ont également été établis entre la mémoire de travail et les compétences en lecture (Baddeley 2012, Pisoni & Geers, 2000). Enfin, d'après une méta-analyse de Daneman (Daneman & Merikle, 1996) les scores de mémoire de travail prédisent les scores en compréhension du langage et ils sont corrélés aux mesures de perception de la parole (Pisoni & Geers, 2000).

### **III. Les tests d'empan mettent en évidence des performances différentes entre les enfants sourds et normo-entendants, mais il est difficile d'en identifier la source.**

- A. Les enfants implantés présentent des scores plus faibles que les enfants normo-entendants dans des tests de mémoire de travail.

La mémoire de travail est testée chez les enfants à l'aide de l'épreuve d'empan de chiffres de la WISC (Echelle d'Intelligence de Wechsler pour Enfants). Dans cette épreuve, l'enfant entend une série de chiffres qu'il doit ensuite restituer, à l'oral, à l'endroit ou à l'envers. Le nombre de chiffres dans la série augmente jusqu'à atteindre la limite des capacités de l'enfant et rendre la restitution impossible. Le nombre d'items de la dernière série réussie correspond à un score, qu'on appelle "empan" mnésique.

La majorité des études montre que les scores d'empan des enfants sourds sont plus faibles que ceux des enfants normo-entendants. En utilisant la WISC, les différentes équipes ayant mené ces recherches trouvent systématiquement et à tout âge, un déficit d'environ 1 à 2 items d'empan (Pisoni, Kronenberger, Roman, Geers, 2011, Aubuchon, Pisoni, Kronenberger 2015, Burkholder & Pisoni, 2003, Fagan, Pisoni, Horn, Dillon, 2007). A titre d'exemple, Pisoni (2011), dans son étude regroupant 112 enfants implantés cochléaires, obtient un score d'empan moyen de 4.05 chez les enfants implantés alors que le score d'empan moyen des enfants normo-entendants dans la WISC est de 5.5. En 2003, Pisoni et Cleary confirment ces résultats et montrent que les mesures d'empan sont stables dans chacun des quatre groupes d'enfants implantés testés (176 enfants en tout, entre 8 et 9 ans), avec un empan endroit toujours supérieur à l'empan envers (Pisoni & Cleary 2003). On constate par ailleurs que les enfants implantés sont plus lents pendant l'épreuve d'empan de chiffres, ils font des pauses plus longues entre chaque chiffre restitué (Burkholder, Rose, Pisoni, 2005).

- B. L'utilisation du test d'empan de chiffres pour évaluer la mémoire de travail pourrait pénaliser à tort les enfants implantés.

Lors du test d'empan de la WISC, l'information à retenir - des chiffres - est verbale (Pisoni et al. 2003, 2011). D'après le modèle de Baddeley, cela suggère que c'est principalement la boucle phonologique qui est impliquée, notamment via le mécanisme de

l'articulation mentale. Or la surdité engendre un déficit des compétences verbales comme mentionné précédemment.

De plus, l'entrée de l'information est auditive. Il est alors assez difficile d'être sûr que les items sont bien perçus par les enfants sourds et que ce n'est pas une mauvaise discrimination auditive qui fait chuter leurs résultats. Des études ont tenté de répondre à ces problèmes en présentant un empan de chiffre sur modalité visuelle, par exemple en faisant apparaître les chiffres sur un écran d'ordinateur. Les résultats des enfants implantés demeurent plus faibles que ceux des normo-entendants (Aubuchon et al., 2015). Cependant, l'utilisation de chiffres, malgré la présentation visuelle, continue d'engendrer l'utilisation de la boucle phonologique car cela reste du matériel verbal, qui pourrait faire chuter les résultats des enfants implantés.

Par ailleurs, lorsque la tâche est purement visuo-spatiale, leurs résultats approchent ceux des enfants normo-entendants (Aubuchon, Pisoni, Kronenberger, 2019).

C. Le test d'empan de chiffres se concentre principalement sur les capacités de stockage, au détriment de l'étude détaillée des différents sous-systèmes.

Le test d'empan évalue une quantité de chiffres retenus. Le résultat donne une information sur le stockage de la mémoire de travail et plus précisément sa capacité maximale. Selon le modèle de Baddeley, ce test renseigne donc sur l'efficacité du buffer épisodique et le bon fonctionnement de la boucle phonologique à travers l'utilisation d'un matériel verbal.

Avec ce test, si les résultats sont chutés, il est difficile d'en établir la cause précise, en terme de sous-systèmes et de processus cognitifs. La différence de performance est observable sans pour autant renseigner sur la source des difficultés rencontrées. Le détail des processus qui entrent en jeu n'est pas observé. On ne peut pas clairement savoir quel niveau de la mémoire de travail est déficitaire, quel sous-système est défaillant.

#### **IV. Rationale**

La WISC a permis d'établir la présence d'un déficit de la mémoire de travail chez les enfants sourds. C'est un bon outil diagnostique, mais il a ses limites. Dans cette expérience, nous allons nous appuyer sur ce système d'évaluation mais également préciser l'implication des différentes composantes de la mémoire de travail. Pour cela, nous avons créé un test d'empan avec des stimuli plus abstraits et différents facteurs permettant d'isoler les différents sous-systèmes du modèle théorique de Baddeley.

Ces trois facteurs sont :

1. La modalité d'entrée. Si elle est auditive, elle renseignera sur le fonctionnement de la boucle phonologique et si elle est visuelle sur le fonctionnement du calepin visuo-spatial. Ainsi, si la différence de performance entre les enfants implantés et les enfants normo-entendants est due à un dysfonctionnement de la boucle phonologique, l'effet de modalité auditive sera plus important chez les enfants sourds, et si elle est due à un dysfonctionnement du calepin c'est l'effet de la modalité visuelle qui sera plus fort.
2. La longueur des séquences. Elle renvoie au stock mnésique du sujet, information qui correspond grossièrement au buffer épisodique. Ainsi, si la différence de performance est due à un déficit de stock, l'effet de longueur sera plus important chez les enfants implantés que chez les enfants normo-entendants.
3. La complexité de la séquence. Elle renvoie à l'utilisation de stratégies de mémorisation et donne ainsi des informations sur l'administrateur central. Ainsi, si la différence de performance est due à une mauvaise mise en place des stratégies de mémorisation, l'effet de complexité sera plus important chez les enfants implantés.

# **Matériel et méthodes**

## **I. Population**

Deux groupes d'enfants ont passé cette expérience. Le premier groupe comprenait 9 enfants sourds implantés et oralisants, âgés de 5 ans 11 mois à 12 ans 2 mois (moyenne : 9 ans, écart-type : 1 an 9 mois). Le deuxième groupe était un groupe d'enfants contrôles, apparié en âge, composé de 14 enfants normo-entendants âgés de 6 ans 4 mois à 11 ans 4 mois (moyenne d'âge : 8 ans 9 mois, écart-type : 1 an 7 mois) sans troubles associés. Un consentement de participation a été obtenu de la part des parents avant la passation de chacun des enfants.

## **II. Protocole**

L'expérience était présentée aux enfants sur tablette numérique. A chaque essai, l'enfant devait regarder/écouter la séquence, puis la reproduire immédiatement. Pour les séquences visuelles, l'enfant devait toucher sur l'écran les éléments dans l'ordre. Pour les séquences auditives, l'enfant devait reproduire oralement la séquence de voyelles. Au cours de la reproduction de la séquence, l'enfant avait la possibilité de se corriger. Il recevait un feedback après sa réponse.

120 séquences ont été présentées à chaque enfant. Les séquences variaient selon 3 facteurs : modalité (auditive ou visuelle), longueur (2, 3, 4, 5 ou 6 items) et complexité (facile, moyen ou difficile). La complexité est définie comme la possibilité de mettre en place des stratégies pour garder plus facilement en mémoire la séquence. Elle correspond intuitivement à la notion de “compressibilité” : si une séquence est “compressible”, elle sera plus simple à retenir. Par exemple, la séquence AAAAABBBBB peut être compressée en 6A6B, elle est donc “facile”. Cette notion de complexité intuitive peut être quantifiée précisément. Nous nous sommes appuyés sur le travail de Marie Almaric pour le faire (Almaric & al., 2017).

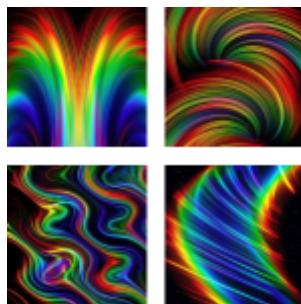
Les 3 facteurs sont entièrement croisés, et chaque combinaison de facteur est répétée 5 fois. Chaque séquence était présentée une seule fois. Les 120 séquences étaient réparties en 8 blocs, eux-mêmes séparés en deux groupes de 4 blocs de chaque modalité. L'ordre des

modalités était contrebalancé à travers les enfants. Avant la passation, nous présentions à l'enfant un bloc de familiarisation, avec des séquences de 1 item, pour le familiariser avec la tâche et les stimuli. La passation totale durait en moyenne entre 30 et 40 minutes.

### III. Stimuli

Les items auditifs étaient des voyelles articulées par une femme, enregistrées isolément (« a », « e », « i », « o »), d'une durée de 300 ms. Chaque item auditif était suivi d'une pause de 700 ms, soit un item tous les 1000 ms.

Les items visuels étaient des images abstraites sélectionnées pour que l'on puisse difficilement leur associer un mot pour les décrire. Ils ne représentent donc pas de formes rencontrées habituellement (carré, triangle, rond, etc.) et ne peuvent pas être définis individuellement par une couleur donnée. Chaque item visuel avait une durée de 500 ms, et était suivi d'une pause de 500 ms, soit un item tous les 1000 ms.



**Figure 2. Ensemble des stimuli visuels du test.** Les items visuels sont des images abstraites sélectionnées de manière à ce qu'on ne puisse pas facilement leur associer un mot pour les décrire.

### IV. Statistiques

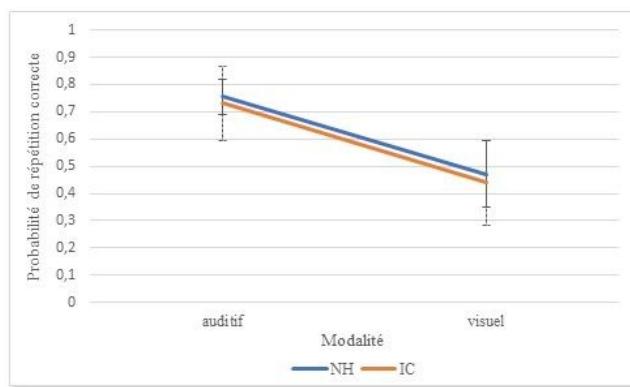
Les statistiques ont été calculées sous R (R Core Team). La mesure d'intérêt était la probabilité de bien répéter une séquence en fonction de quatre facteurs, le Groupe, la Modalité, la Longueur et la Complexité. L'effet de chaque facteur, ainsi que leurs interactions, ont été testés à l'aide d'une analyse de la variance (ANOVA) mixte avec le Groupe en facteur inter-sujets, la Modalité, la Longueur et la Complexité en facteur intra-sujets.

# Résultats

## I. L'effet de la modalité de présentation n'est pas significativement différent chez les enfants implantés et chez les normo-entendants.

On cherche à savoir si l'utilisation de la boucle phonologique et/ou le calepin visuo-spatial sont déficitaires chez les enfants implantés. Pour cela, nous mesurons la différence de performance - probabilité de bien répéter la séquence - entre enfants implantés et enfant normo-entendants en fonction de la modalité de présentation (voir Figure 3).

L'ANOVA révèle que la Modalité a un effet significatif sur les performances des enfants ( $F(1, 25) = 104, p < 0.05$ ). Les résultats sont moins bons en présentation visuelle ( $0.44 \pm 0.13$ ) qu'en présentation auditive ( $0.73 \pm 0.10$ ). En revanche, la différence de performance entre les enfants implantés ( $0.56 \pm 0.14$ ) et les enfants normo-entendants ( $0.61 \pm 0.07$ ) n'est pas statistiquement significative (effet du Groupe,  $F(1, 25) = 0.092, p = 0.764$ ). L'effet d'interaction Groupe X Modalité n'est pas significatif non plus ( $F(1, 25) = 0.108, p = 0.745$ ). Les données ne montrent donc pas un effet différent de la Modalité en fonction du Groupe. Nous ne pouvons pas conclure à un déficit spécifique de la boucle phonologique ou du calepin visuo-spatial chez les enfants sourds, ni à l'absence d'un déficit spécifique.

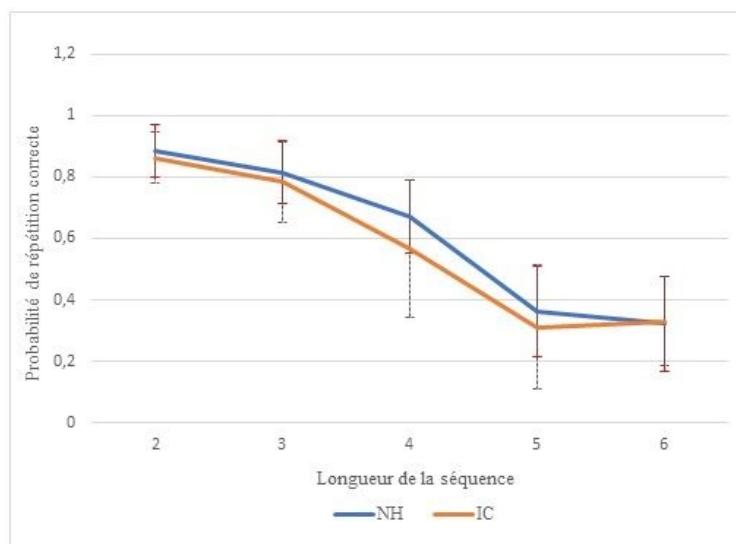


**Figure 3. Probabilité de bien répéter une séquence en fonction de la Modalité et du Groupe.** Les deux droites représentent les performances des enfants implantés cochléaires (IC, en orange) et des enfants normo-entendants (NH, en bleu) en fonction de la modalité de présentation des séquences (auditive ou visuelle). Les barres d'erreurs représentent l'écart-type à travers les enfants.

## **II. L'effet de la longueur des séquences proposées n'est pas significativement différent chez les enfants implantés et chez les normo-entendants.**

On cherche à savoir si l'utilisation du buffer épisodique est déficiente chez les enfants implantés. Pour cela, nous mesurons la différence de performances entre enfants implantés et enfants normo-entendants en fonction de la longueur des séquences présentées (voir Figure 4).

L'ANOVA révèle que la Longueur a un effet significatif sur les performances des enfants ( $F(4, 104) = 151, p < 0.05$ ). Les résultats chutent lorsque la longueur de la séquence augmente. En revanche, la différence de performance entre les enfants implantés ( $0.56 \pm 0.14$ ) et les enfants normo-entendants ( $0.61 \pm 0.07$ ) n'est pas statistiquement significative (effet du Groupe,  $F(1, 26) = 0.447, p = 0.510$ ). L'effet d'interaction Groupe X Longueur n'est pas significatif non plus ( $F(4, 104) = 1.24, p = 0.298$ ). Les données ne montrent donc pas un effet différent de la Longueur en fonction du Groupe. Nous ne pouvons pas conclure à un déficit spécifique du buffer épisodique chez les enfants sourds, ni à l'absence d'un déficit spécifique.

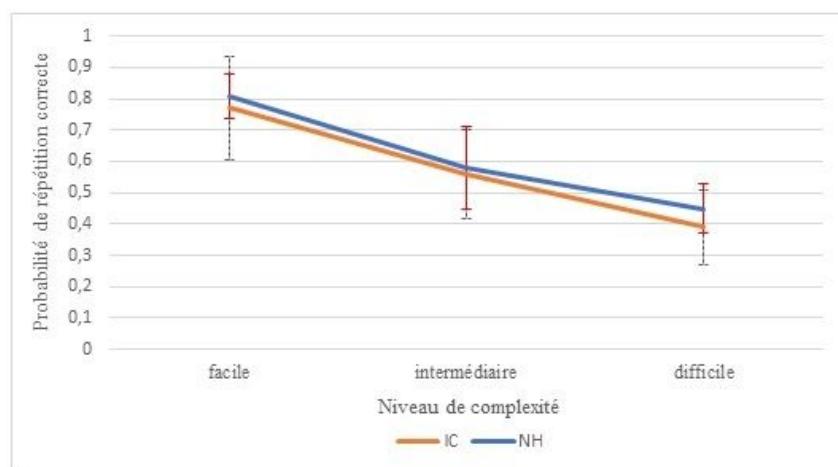


**Figure 4. Probabilité de bien répéter une séquence en fonction de la Longueur et du Groupe.** Les deux droites représentent les performances des enfants implantés cochléaires (IC, en orange) et des enfants normo-entendants (NH, en bleu) en fonction de la longueur des séquences. Les barres d'erreurs représentent l'écart-type à travers les enfants.

### **III. L'effet de la complexité des séquences proposées n'est pas significativement différent chez les enfants implantés et chez les normo-entendants.**

On cherche à savoir si l'utilisation de l'administrateur central est déficitaire chez les enfants implantés. Pour cela, nous mesurons la différence de performance entre enfants implantés et enfants normo-entendants en fonction de la complexité des séquences présentées (voir Figure 5).

L'ANOVA révèle que la Complexité a un effet significatif sur les performances des enfants ( $F(2, 54) = 162, p < 0.05$ ). Les résultats des enfants chutent avec l'augmentation du niveau de complexité. En revanche, la différence de performance entre les enfants implantés ( $0.56 \pm 0.14$ ) et les enfants normo-entendants ( $0.61 \pm 0.07$ ) n'est pas statistiquement significative (effet du Groupe, ( $F(1, 27) = 1.17, p = 0.288$ )). L'effet d'interaction Groupe X Complexité n'est pas significatif non plus ( $F(2, 54) = 0.190, p = 0.827$ ). Les données ne montrent donc pas un effet différent de la Complexité en fonction du Groupe. Nous ne pouvons pas conclure à un déficit spécifique de l'administrateur central chez les enfants sourds, ni à l'absence d'un déficit spécifique.

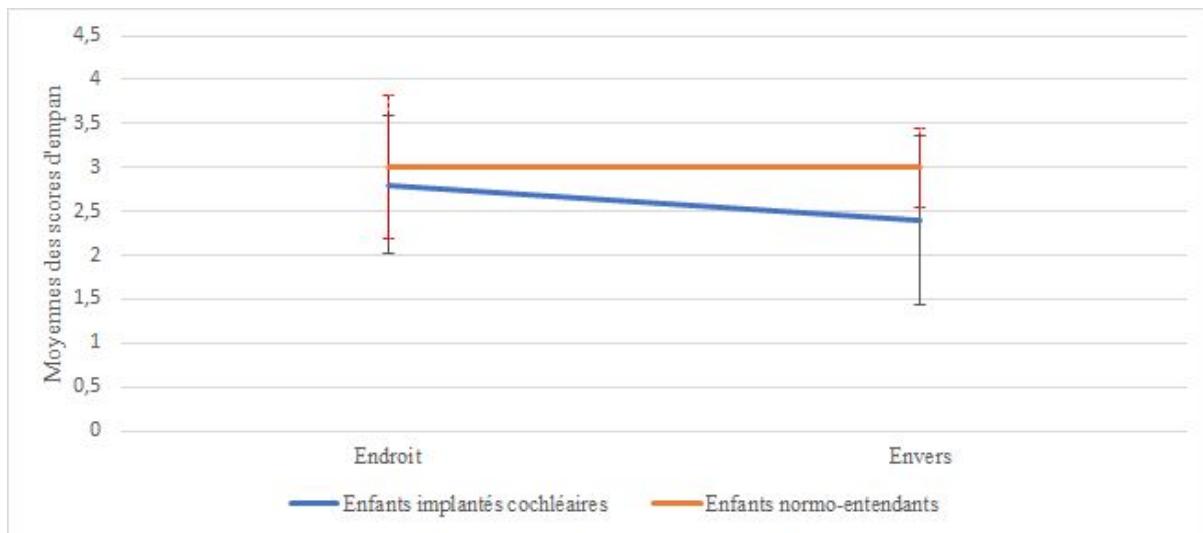


**Figure 5. Probabilité de bien répéter une séquence en fonction de la Complexité et du Groupe.** Les deux droites représentent les performances des enfants implantés cochléaires (IC, en orange) et des enfants normo-entendants (NH, en bleu) en fonction de la Complexité des séquences. Les barres d'erreurs représentent l'écart-type à travers les enfants.

## **Discussion**

Compte tenu de nos résultats, on ne peut conclure ni à l'absence ni à la présence d'un déficit de la mémoire de travail chez les enfants sourds implantés cochléaires. En effet, nous utilisons des statistiques fréquentistes qui sont en mesure de détecter un effet, et non de détecter une absence d'effet, et nous n'obtenons pas ici de résultats significatifs. De plus, notre échantillon est trop petit et la variabilité inter-individuelle masque d'éventuels effets au niveau du groupe. Nous ne sommes donc pas en mesure non plus de préciser l'implication d'un sous-système en particulier du modèle de Baddeley.

En parallèle de la tâche décrite dans la méthode et détaillée dans ce mémoire, les deux groupes d'enfants ont été soumis au test d'empan de chiffres de la WISC. Comme dit précédemment les résultats concernant cette épreuve sont solides et répliqués dans de nombreuses études (Pisoni et al., 2011, Aubuchon et al., 2015, Burkholder & Pisoni, 2003, Fagan et al., 2007, Pisoni & Cleary, 2003, Burkholder et al., 2005) : les enfants implantés ont des scores significativement plus bas que ceux des enfants normo-entendants, de l'ordre de 1 à 2 items d'empan. Or dans notre cas, l'ANOVA ne révèle pas d'effet significatif du Groupe sur nos valeurs d'empan ( $F(1,21) = 0.349$ ,  $p = 0.561$ ), on ne peut donc pas mettre en évidence de différence significative entre les performances des enfants implantés et des enfants normo-entendants lors du test d'empan (voir Figure 6). Cela va donc à l'encontre des données de la littérature et peut nous permettre d'avancer que notre échantillon d'enfants testés (9 enfants implantés et 14 enfants normo-entendants) est trop faible pour obtenir des résultats significatifs. La crise sanitaire du Covid-19 survenue en mars 2020 ne nous a permis de tester qu'une partie des sujets prévus initialement dans notre expérience : la population de nos deux groupes a été diminuée de moitié.



**Figure 6. Scores d'empan en fonction du Groupe.** Les deux droites représentent les performances des enfants implantés cochléaires (IC, en orange) et des enfants normo-entendants (NH, en bleu) en fonction de la Complexité des séquences.

Malgré cela, nous allons maintenant nous permettre de spéculer sur nos résultats. En effet, concernant le facteur de la Longueur, on observe numériquement un léger décalage de la courbe des enfants implantés vers la gauche par rapport à celle des normo-entendants. Cela pourrait correspondre à un effet de la Longueur et donc à un défaut d'utilisation du buffer épisodique. Il y aurait alors un déficit de stock mnésique chez ces enfants. Il existe par ailleurs une étude de Burkholder et Pisoni dans laquelle les erreurs produites par les enfants implantés et normo-entendants suite au test d'empan de la WISC ont été analysées. Ils retrouvent ici encore que les scores d'empan des enfants implantés sont inférieurs à ceux des enfants normo-entendants (Burkholder & Pisoni, 2004). Cependant ils n'ont pas constaté de différence significative concernant le type d'erreurs relevées. Les enfants sourds en font plus mais elles sont de même type que celles des enfants normo-entendants du même âge. La différence de résultats serait donc plutôt due à une différence de stock, les enfants implantés possèdent un empan de plus faible capacité.

Il serait intéressant de pouvoir poursuivre notre étude et tenter d'affirmer ou infirmer ces spéculations. En effet, compte tenu de l'importance de la mémoire de travail au quotidien et des difficultés que rencontrent les enfants sourds dans ce domaine, il serait bénéfique de pouvoir préciser les mécanismes expliquant ces difficultés et de pouvoir proposer ainsi un

suivi orthophonique plus adapté. Si les difficultés sont effectivement dues principalement à un déficit de stock, on pourrait tenter de mettre en place des compensations. Il s'agirait par exemple d'adapter les consignes et de limiter ainsi la surcharge d'informations proposées. Lors de la lecture de texte l'enfant pourrait par ailleurs apprendre à adopter des stratégies particulières pour contourner ce maintien difficile de l'information tout au long de la lecture, comme par exemple remarquer et relever les informations importantes en lisant et les noter au fur et à mesure. Si le déficit se trouve être un déficit de perception, principalement verbal, c'est dans ce domaine, déjà largement investi, qu'il faudra axer la rééducation de l'enfant implanté. L'amélioration de ses compétences verbales et notamment la perception amélioreront alors indirectement ses capacités de mémoire de travail. Pour ce faire, plusieurs études ont montré que l'utilisation de la musique avait des effets bénéfiques sur la perception du langage des enfants sourds, notamment pour la prosodie et la syntaxe (Good, Gordon, Papsin, Nespoli, Hopyan, 2017, Bedoin, Brisseau, Molinier, Roch, Tillmann, 2016).

Notre étude a permis de mettre en place un test visant à approfondir les connaissances sur la mémoire de travail chez les enfants sourds. Il serait donc intéressant que notre travail serve de pilote pour une prochaine étude, qui pourrait ainsi compléter nos échantillons, réaliser de nouvelles passations, obtenir de nouveaux résultats, et pouvoir ainsi améliorer la prise en charge orthophonique de ces enfants.

## Bibliographie

- Akçakaya, H., Aslan, F., Doğan, M., & Yücel, E. (2018). Relationships Between Reasoning, Verbal Working Memory, and Language in Children with Early Cochlear Implantation : A Mediation Effect. Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Özel Eğitim Dergisi, 0-25. <https://doi.org/10.21565/ozelegitimdergisi.365076>
- Amalric, M., Wang, L., Pica, P., Figueira, S., Sigman, M., & Dehaene, S. (2017). The language of geometry : Fast comprehension of geometrical primitives and rules in human adults and preschoolers. *PLOS Computational Biology*, 13(1), e1005273. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1005273>
- AuBuchon, A. M., Pisoni, D. B., & Kronenberger, W. G. (2015). Short-Term and Working Memory Impairments in Early-Implanted, Long-Term Cochlear Implant Users Are Independent of Audibility and Speech Production: Ear and Hearing, 36(6), 733-737. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000189>
- AuBuchon, A. M., Pisoni, D. B., & Kronenberger, W. G. (2019). Evaluating Pediatric Cochlear Implant Users' Encoding, Storage, and Retrieval Strategies in Verbal Working Memory. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 62(4), 1016-1032. [https://doi.org/10.1044/2018\\_JSLHR-H-18-0201](https://doi.org/10.1044/2018_JSLHR-H-18-0201)
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working Memory. In G. H. Bower (Éd.), *Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 8, p. 47-89). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60452-1](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1)
- Baddeley, A., Gathercole, S., & Papagno, C. (1998). The phonological loop as a language learning device. *Psychological Review*, 105(1), 158-173. <https://doi.org/10.1037/0033-295x.105.1.158>
- Baddeley, Alan. (2003a). Working memory and language : An overview. *Journal of Communication Disorders*, 36(3), 189-208. [https://doi.org/10.1016/S0021-9924\(03\)00019-4](https://doi.org/10.1016/S0021-9924(03)00019-4)
- Baddeley, Alan. (2003b). Working memory : Looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(10), 829-839. <https://doi.org/10.1038/nrn1201>

- Baddeley, Alan. (2012). Working Memory : Theories, Models, and Controversies. Annual Review of Psychology, 63(1), 1-29. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100422>
- Bedoin, N., Brisseau, L., Molinier, P., Roch, D., & Tillmann, B. (2016). Temporally Regular Musical Primes Facilitate Subsequent Syntax Processing in Children with Specific Language Impairment. Frontiers in neuroscience, 10, 245. <https://doi.org/10.3389/fnins.2016.00245>
- Burkholder, R. A., & Pisoni, D. B. (2003). Speech timing and working memory in profoundly deaf children after cochlear implantation. Journal of Experimental Child Psychology, 85(1), 63-88. [https://doi.org/10.1016/S0022-0965\(03\)00033-X](https://doi.org/10.1016/S0022-0965(03)00033-X)
- Burkholder, R., & Pisoni, D. (2004). Digit span recall error analysis in pediatric cochlear implant users. International Congress Series, 1273, 312-315. <https://doi.org/10.1016/j.ics.2004.08.030>
- Burkholder, Rose, & Pisoni, D. (2005). Working Memory Capacity, Verbal Rehearsal Speed, and Scanning in Deaf Children With Cochlear Implants. Advances in the Spoken Language Development of Deaf and Hard-of-Hearing Children. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195179873.003.0014>
- Caselli Maria Cristina, Rinaldi Pasquale, Varuzza Cristiana, Giuliani Anna, & Burdo Sandro. (2012). Cochlear Implant in the Second Year of Life : Lexical and Grammatical Outcomes. Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 55(2), 382-394. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2011/10-0248\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2011/10-0248))
- Castellanos, I., Kronenberger, W. G., Beer, J., Henning, S. C., Colson, B. G., & Pisoni, D. B. (2014). Preschool speech intelligibility and vocabulary skills predict long-term speech and language outcomes following cochlear implantation in early childhood. Cochlear implants international, 15(4), 200–210. <https://doi.org/10.1179/1754762813Y.0000000043>
- Conway, C. M., Deocampo, J. A., Walk, A. M., Anaya, E. M., & Pisoni, D. B. (2014). Deaf Children With Cochlear Implants Do Not Appear to Use Sentence Context to Help Recognize Spoken Words. Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 57(6), 2174-2190. [https://doi.org/10.1044/2014\\_JSLHR-L-13-0236](https://doi.org/10.1044/2014_JSLHR-L-13-0236)
- Conway, C. M., Pisoni, D. B., & Kronenberger, W. G. (2009). The Importance of Sound for Cognitive Sequencing Abilities : The Auditory Scaffolding Hypothesis. Current

Directions in Psychological Science, 18(5), 275-279.

<https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2009.01651.x>

Daneman, M., & Merikle, P. M. (1996). Working memory and language comprehension : A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 3(4), 422-433.  
<https://doi.org/10.3758/BF03214546>

Fagan, M. K., Pisoni, D. B., Horn, D. L., & Dillon, C. M. (2007). Neuropsychological Correlates of Vocabulary, Reading, and Working Memory in Deaf Children With Cochlear Implants. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 12(4), 461-471.  
<https://doi.org/10.1093/deafed/enm023>

Good, A., Gordon, K. A., Papsin, B. C., Nespoli, G., Hopyan, T., Peretz, I., & Russo, F. A. (2017). Benefits of Music Training for Perception of Emotional Speech Prosody in Deaf Children With Cochlear Implants. *Ear and hearing*, 38(4), 455-464.  
<https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000402>

Huotilainen, M., & Tervaniemi, M. (2018). Planning music-based amelioration and training in infancy and childhood based on neural evidence : How music ameliorates the auditory system. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1423(1), 146-154.  
<https://doi.org/10.1111/nyas.13655>

Kronenberger, W. G., Henning, S. C., Ditmars, A. M., Roman, A. S., & Pisoni, D. B. (2018). Verbal learning and memory in prelingually deaf children with cochlear implants. *International Journal of Audiology*, 57(10), 746-754.  
<https://doi.org/10.1080/14992027.2018.1481538>

Lorenzi, C., Gilbert, G., Carn, H., Garnier, S., & Moore, B. C. J. (2006). Speech perception problems of the hearing impaired reflect inability to use temporal fine structure. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(49), 18866-18869.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.0607364103>

Montag, J. L., AuBuchon, A. M., Pisoni, D. B., & Kronenberger, W. G. (2014). Speech intelligibility in deaf children after long-term cochlear implant use. *Journal of speech, language, and hearing research : JSLHR*, 57(6), 2332-2343.  
[https://doi.org/10.1044/2014\\_JSLHR-H-14-0190](https://doi.org/10.1044/2014_JSLHR-H-14-0190)

Niparko, J. K., Tobey, E. A., Thal, D. J., Eisenberg, L. S., Wang, N.-Y., Quittner, A. L., Fink, N. E., & CDaCI Investigative Team. (2010). Spoken language development in children

following cochlear implantation. JAMA, 303(15), 1498-1506.  
<https://doi.org/10.1001/jama.2010.451>

Nittrouer, S., Caldwell-Tarr, A., & Lowenstein, J. H. (2013). Working memory in children with cochlear implants : Problems are in storage, not processing. International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology, 77(11), 1886-1898.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2013.09.001>

Pisoni, D. B., & Cleary, M. (2003). Measures of Working Memory Span and Verbal Rehearsal Speed in Deaf Children after Cochlear Implantation: Ear and Hearing, 24(Supplement), 106S-120S. <https://doi.org/10.1097/01.AUD.0000051692.05140.8E>

Pisoni, D. B., & Geers, A. E. (2000). Working Memory in Deaf Children with Cochlear Implants : Correlations between Digit Span and Measures of Spoken Language Processing. Annals of Otology, Rhinology & Laryngology, 109(12\_suppl), 92-93.  
<https://doi.org/10.1177/0003489400109S1240>

Pisoni, D. B., Kronenberger, W. G., Roman, A. S., & Geers, A. E. (2011). Measures of Digit Span and Verbal Rehearsal Speed in Deaf Children After More Than 10 Years of Cochlear Implantation: Ear and Hearing, 32, 60S-74S.  
<https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e3181ffd58e>

Surowiecki, V. N., Maruff, P., Busby, P. A., Sarant, J., Blamey, P. J., & Clark, G. M. (2002). Cognitive Processing in Children Using Cochlear Implants : The Relationship between Visual Memory, Attention, and Executive Functions and Developing Language Skills. Annals of Otology, Rhinology & Laryngology, 111(5\_suppl), 119-126.  
<https://doi.org/10.1177/00034894021110S524>

## Résumé

Les enfants sourds implantés cochléaires présentent un déficit d'empan mnésique, mesuré par le test d'empan de chiffres de la WISC. Cependant, ce test seul a une fonction diagnostique, et ne permet pas de préciser le déficit de mémoire de travail en terme d'étape de traitement cognitif. Afin de préciser l'implication de chaque composante de la mémoire de travail chez les enfants sourds implantés cochléaires, nous nous sommes appuyés sur le modèle de mémoire de travail de Baddeley et avons créé un test d'empan à trois facteurs. Ces trois facteurs sont :

- la modalité d'entrée (auditive ou visuelle), pour isoler un déficit de la boucle phonologique et du calepin visuo-spatial.
- la longueur des séquences (de 2 à 6 items), pour mesurer le stock mnésique et isoler un déficit du buffer épisodique.
- la complexité de la séquence, pour isoler un déficit de stratégie de mémorisation et donc de l'administrateur central.

Un groupe d'enfants sourds implantés et oralisants, et un groupe d'enfants contrôles sans troubles associés, appariés en âge, ont passé l'expérience. Cette expérience consistait à regarder/écouter puis reproduire immédiatement une séquence d'items. Les stimuli ont été sélectionnés pour contourner la composante verbale importante des tests d'empan (images abstraites ou voyelles isolées). Les résultats ne montrent pas de différences de l'effet de la modalité, de la longueur et de la complexité des séquences entre les groupes. En conclusion, l'étude n'a pas permis de mettre en évidence un déficit spécifique d'une composante de la mémoire de travail, probablement à cause d'un échantillon trop petit relativement à l'importante variabilité inter-individuelle.

Mots-clés: Orthophonie ; Surdité ; Implant cochléaire ; Mémoire de travail