



FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE

Centre de Formation Universitaire d'Orthophonie

Année 2018-2019

**Développement des compétences phonologiques chez
l'enfant implanté cochléaire**

MEMOIRE

en vue de l'obtention du certificat de capacité d'orthophonie

présenté par

Lisa GUILBAUD

Directrice du mémoire : Madame Marie-Thérèse LE NORMAND, Directrice de
recherche INSERM, Emérite de l'Institut de Psychologie à Paris
Descartes.

Autres membres du jury : Madame Michèle BAUDEQUIN, Orthophoniste
Madame Typhaine VEAU, Orthophoniste



FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE

Centre de Formation Universitaire d'Orthophonie

Année 2018-2019

**Développement des compétences phonologiques chez
l'enfant implanté cochléaire**

MEMOIRE

en vue de l'obtention du certificat de capacité d'orthophonie

présenté par

Lisa GUILBAUD

Directrice du mémoire : Madame Marie-Thérèse LE NORMAND, Directrice de
recherche INSERM, Emérite de l'Institut de Psychologie à Paris
Descartes.

Autres membres du jury : Madame Michèle BAUDEQUIN, Orthophoniste
Madame Typhaine VEAU, Orthophoniste

REMERCIEMENTS

Ce travail de recherche, au-delà des résultats qu'il représente, est avant tout le fruit d'un travail long que je n'aurais pas pu réaliser seule. Alors, c'est finalement à ces occasions qu'on s'autorise à dire merci...

A ma directrice de mémoire, Marie-Thérèse Le Normand, pour votre grande disponibilité, votre expertise et votre soutien qui m'ont guidée et supportée dans la réalisation de ce mémoire. Vous m'avez permis de relever ce défi d'aborder de front le monde de la recherche afin de faire des ponts avec la clinique. Ce mémoire m'a donné l'ambition de ne jamais cesser de m'enrichir de la réflexion passionnante apportée par la littérature scientifique dans ma pratique de future orthophoniste.

A mon jury, Michèle Baudequin et Typhaine Veau, pour m'avoir permis de présenter mon travail, pour l'avoir relu et évalué avec intérêt.

A Gwen, pour avoir donné de ton temps et de ton énergie pour la relecture de ce mémoire. Merci aussi pour avoir écouté avec gentillesse et empathie mes péripéties de vie... Merci pour ta compréhension, ton sens de la pédagogie et ton accompagnement bienveillant.

A Emeline, pour m'avoir éclairée quand j'étais perdue au fin fond des statistiques. Merci infiniment pour ton aide, ta clairvoyance, ta disponibilité et ton enthousiasme. Merci chaudement enfin, d'avoir donné de ton temps pour ces jolis graphes pleins de couleurs.

A Léa, Juliette et Maylis, pour ces 5 belles années passées à se serrer les coudes parfois, à se raconter nos histoires rocambolesques souvent, à se fondre en rires et en n'importe quoi pour toujours je l'espère.

A Quentin, pour m'avoir soutenue de tout ton amour à distance. Merci pour ton aide précieuse, pour ta patience infinie et ton optimisme infaillible qui m'inspirent.

A mes parents et à mon frère enfin, pour m'avoir supportée et chouchoutée dans cette période difficile. Merci pour votre soutien sans limite et votre bienveillance. Merci de m'avoir permis de réaliser ces études, de me réaliser.

ENGAGEMENT AU NON-PLAGIAT

Je soussignée Lisa Guilbaud déclare être pleinement consciente que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publié sur toutes formes de support, y compris l'Internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce mémoire.

SIGNATURE :

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized, cursive 'L' followed by a horizontal line extending to the right.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	1
PARTIE THEORIQUE.....	3
I. L'implant cochléaire	3
i. Fonctionnement	3
ii. Indication	5
iii. Plasticité cérébrale.....	5
II. Développement de la parole chez l'enfant normo-entendant	6
i. Développement perceptif de la parole	6
1. Segmentation de la parole.....	6
2. Construction du stock phonologique	7
ii. Chronologie de l'apparition des sons de la langue	8
iii. Développement de la phonologie	8
iv. Développement du contrôle moteur de la parole	9
III. Bases neurologiques du traitement de la parole	10
IV. Les erreurs pouvant caractériser la parole	13
i. Le trouble articulaire.....	13
ii. Le trouble phonologique	13
iii. Diagnostic différentiel	15
iv. Démarche évaluative de la phonologie.....	15
V. Développement du langage chez l'enfant sourd implanté cochléaire	17
i. Développement du langage et intelligibilité	17
ii. Développement de la parole.....	18
1. Phénomènes suprasegmentaux.....	18
2. Phénomènes segmentaux.....	19
3. Système phonologique	21
iii. Développement grammatical.....	21
VI. Facteurs affectant le développement du langage.....	22
i. Age d'implantation.....	22
ii. Mode de communication.....	22
VII. Problématique et hypothèses	23
PARTIE EXPERIMENTALE.....	24
I. Méthodologie.....	24

i.	Population	24
i.	Corpus et protocole	24
1.	Recueil des données	24
a.	Recueil du langage spontané à T1	24
b.	Recueil du langage spontané à T2	25
2.	Matériel et analyse	25
a.	Transcription	25
b.	Analyse perceptive à T1	25
c.	Analyse par Phon à T1 et à T2	25
d.	Outils d'analyse statistique	29
II.	Résultats	29
i.	Résultats descriptifs	29
1.	Répertoires phonétiques à T1	29
2.	Résultats de l'analyse par Phon à T1	31
a.	Précision phonologique (PCC et PVC)	31
b.	Description des types d'erreurs	33
3.	Résultats de l'analyse par Phon à T2	35
a.	Précision phonologique (PCC et PVC)	35
b.	Description des types d'erreurs	36
c.	Réussite de la consonne /s/	37
4.	Monographies	38
ii.	Analyses prédictives	43
1.	Mesures utilisées	43
2.	Statistiques descriptives	43
3.	Effet des facteurs explicatifs sur les variables dépendantes (PCC, PVC, PGC)	44
	<u>DISCUSSION.....</u>	<u>49</u>
I.	Rappel des objectifs de la recherche	49
II.	Interprétation des résultats	49
III.	Limites de l'étude	54
IV.	Implications orthophoniques de cette étude	54
	<u>CONCLUSION.....</u>	<u>56</u>
	<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	<u>57</u>
	<u>ANNEXES.....</u>	<u>64</u>

Table des figures

Figure 1 : Schéma de l'oreille (« <i>Informations pratiques sur l'implantation cochléaire</i> SERVICE ORL DU CHU DE CAEN », s. d.).....	3
Figure 2 : Les deux parties de l'implant cochléaire (« <i>Informations pratiques sur l'implantation cochléaire</i> SERVICE ORL DU CHU DE CAEN », s. d.)	4
Figure 3 : Composants et fonctionnement de l'implant cochléaire (« <i>Informations pratiques sur l'implantation cochléaire</i> SERVICE ORL DU CHU DE CAEN », s. d.)	4
Figure 5 : a) Diagramme du modèle à double voie b) Localisations anatomiques des composants du modèle à double voie (Hickok, 2017).....	11
Figure 6 : Modèle DIVA de production de la parole	12
Figure 7 : Syllabification et alignement dans PHON.....	28
Figure 8 : <i>Consonnes maîtrisées par l'ensemble de la population à T1 selon le relevé manuel</i>	31
Figure 9 : Nombre de consonnes cibles et produites par enfant à T1.....	33
Figure 10 : Nombre d'erreurs phonologiques réparties selon leur type (substitutions, omissions, ajouts) à T1.....	34
Figure 11 : <i>Nombre d'erreurs</i> de substitution réparties selon les traits articulatoires à T1	34
Figure 12 : Nombre de consonnes cibles et produites par enfant à T2.....	36
Figure 13 : Nombre d'erreurs phonologiques réparties selon leur type (substitutions, omissions, ajouts) à T2.....	36
Figure 14 : Pourcentage moyen de production correcte par consonne à T2.....	37
Figure 15 : Pourcentage de réussite de la consonne /s/ par enfant à T1 et T2.....	37
Figure 16 : Nombre de consonnes produites à T1 et T2, enfant 213	39
<i>Figure 17 : Nombre d'erreurs phonologiques à T1 et T2, enfant 213</i>	39
<i>Figure 18 : Nombre de consonnes produites à T1 et T2, enfant 413</i>	41
<i>Figure 19 : Nombre d'erreurs phonologiques à T1 et T2, enfant 413</i>	42
Figure 20 : Répartition en 4 sous-groupes en fonction du PCC.....	45
Figure 21 : Répartition en 4 sous-groupes en fonction du PVC	47

Sommaire des tables

Tableau 1 : Erreurs phonologiques concernant la syllabe (d'après Schelstraete & al., 2011)	14
Tableau 2 : <i>Erreurs phonologiques de substitution</i> (d'après Schelstraete & al., 2011).....	14
Tableau 3 : <i>Fonctions de Phon pour l'évaluation du système phonologique</i>	27
Tableau 4 : Relevé manuel du nombre de consonnes et de voyelles présentes à T1	30
Tableau 5 : Mesures du PCC et du PVC pour chaque enfant à T1.....	32
Tableau 6 : Mesures du PCC et du PVC pour chaque enfant à T2.....	35
Tableau 7 : Mesures quantitatives aux niveaux phonologique et lexical, enfant 213	40
Tableau 8 : Mesures quantitatives aux niveaux phonologique et lexical, enfant 413	42
Tableau 9 : Statistiques descriptives des PCC, PVC et PGC à T1 et T2	43
Tableau 10 : Analyse ANOVA des effets de session, AIC et LPC sur le PCC.....	44
Tableau 11 : Analyse ANOVA des effets de session, AIC et LPC sur le PVC.....	46
Tableau 12 : Analyse ANOVA des effets de session, AIC et LPC sur le PGC.....	47

Liste des abréviations

PCC : Pourcentage de consonnes correctes

PVC : Pourcentage de voyelles correctes

PGC : Pourcentage de groupes consonantiques corrects

AIC : Age d'implantation cochléaire

LPC : Langue parlée complétée

PMLU : Longueur moyenne des productions phonologiques (Phonological Mean Length of Utterances)

INTRODUCTION

En France comme dans le monde, l'implant cochléaire est de plus en plus utilisé comme traitement de la surdité chez l'enfant et chez l'adulte. Ce dispositif électro-acoustique restaure partiellement l'audition en convertissant le signal acoustique en signal électrique stimulant directement le nerf auditif. Ainsi, l'objectif d'une implantation précoce chez l'enfant sourd est de fournir une perception auditive à une période sensible qui permettra le développement du langage oral. Plusieurs études montrent que les performances langagières rejoignent les trajectoires développementales des enfants normo-entendants (Peterson, Pisoni, & Miyamoto, 2010). Toutefois, une forte variabilité interindividuelle reste observée. Le suivi longitudinal d'enfants implantés cochléaires est donc d'un grand intérêt face à cette forte variabilité interindividuelle existante. La réalisation de trajectoires développementales permet de mieux comprendre les enjeux de la plasticité cérébrale dans le développement langagier de ces enfants.

Au niveau segmental, la littérature montre des difficultés marquées dans l'acquisition des consonnes (Tobey, Wiessner, Lane, Sundarajan, Buckley & Sullivan, 2007 ; Moreno-Torres & Moruno-López, 2014). Ce phénomène trouve son explication au niveau perceptif. En effet, la résolution fréquentielle de l'implant ne permet pas de restaurer l'ensemble des traits articulatoires nécessaires à la discrimination des phonèmes (Bouton, Serniclaes, Bertoncini, & Colé, 2012 ; Neumeyer, Schiel, & Hoole, 2015). L'étude des compétences phonologiques en production pourrait être une porte d'entrée pour comprendre d'autres déficits langagiers. En effet, la parole des enfants implantés cochléaires est marquée par des erreurs phonologiques en lien avec la prosodie (Moreno-Torres & al., 2014) et avec les compétences morphosyntaxiques (Le Normand, Diaz, & Thai-Van, 2015 ; Titterington, Henry, Krämer, Toner, & Stevenson, 2006).

L'objectif de cette étude est d'examiner les compétences phonologiques à 18 mois puis à 10 ans d'implantation afin de déterminer des prédicteurs. Pour ce faire, nous avons eu recours à une analyse longitudinale sur un corpus de 15 participants et avons comparé les facteurs de l'âge d'implantation et du mode de communication sur trois mesures de précision phonologique : le pourcentage correct de consonnes (PCC), de voyelles (PVC) et de groupes consonantiques (PGC).

Dans un premier temps, nous exposerons une partie théorique afin de présenter les données de la littérature concernant le développement de la parole chez l'enfant tout-venant et chez l'enfant implanté cochléaire. Nous présenterons ensuite la problématique et les hypothèses sous-jacentes. Dans une deuxième partie expérimentale nous décrirons la méthodologie ainsi que les résultats. Enfin, nous discuterons dans une troisième partie les résultats obtenus avec ceux de la littérature et nous proposerons des perspectives cliniques orthophoniques.

PARTIE THEORIQUE

I. L'implant cochléaire

i. Fonctionnement

Le fonctionnement normal de l'audition est illustré en figure 1. L'onde sonore arrive dans l'oreille externe par le pavillon puis se propage dans le conduit auditif (1). Là, le tympan en vibration transforme l'onde en signal mécanique à l'oreille moyenne composée d'une chaîne d'osselets : le marteau, l'enclume et l'étrier (2). La cochlée, qui est l'organe de l'audition de l'oreille interne en forme de colimaçon, reçoit ce signal qui se propagera à travers le liquide qu'elle contient (3).

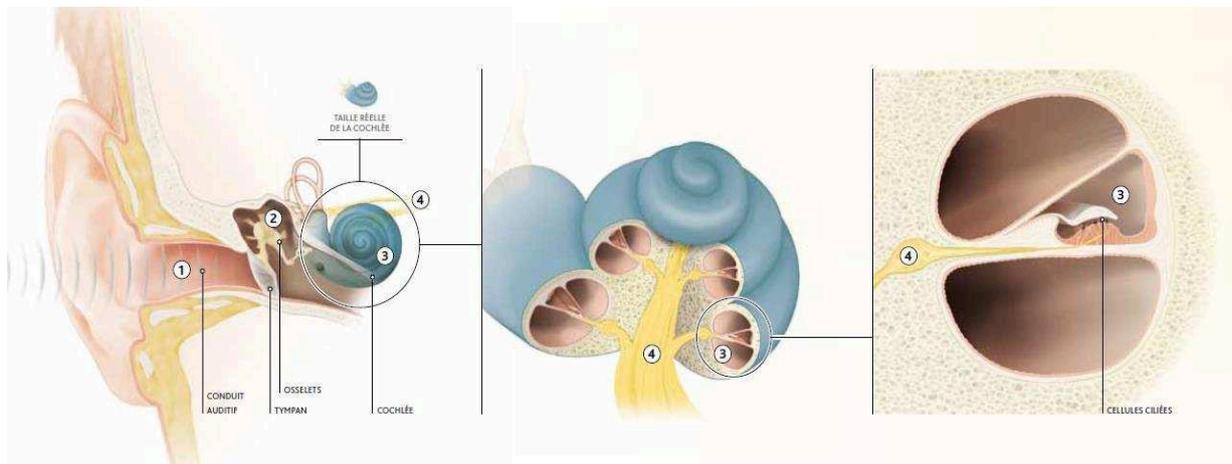


Figure 1 : Schéma de l'oreille

(« Informations pratiques sur l'implantation cochléaire | SERVICE ORL DU CHU DE CAEN », s. d.)

Les vibrations dans le liquide vont mettre en mouvement la membrane basilaire à différents niveaux, en fonction de la fréquence du son perçu. Les cils qui recouvrent la membrane vont ainsi osciller à un endroit précis de l'oreille interne et envoyer un message nerveux au nerf auditif qui conduit l'information jusqu'au cerveau (4).

Dans la plupart des surdités profondes ou totales, il s'agit d'une atteinte de la cochlée dans laquelle les cellules ciliées sont absentes ou ont subi une importante dégénérescence. On parle alors de surdité neurosensorielle. Le message nerveux ne peut être transmis au cerveau. L'implant cochléaire a donc pour but de restituer un message nerveux en allant stimuler les neurones du nerf auditif grâce à un signal électrique.

L'implant cochléaire se compose d'une partie interne, l'implant, et d'une partie externe, le processeur comme illustré en figure 2.



Figure 2 : Les deux parties de l'implant cochléaire

(« Informations pratiques sur l'implantation cochléaire | SERVICE ORL DU CHU DE CAEN », s. d.)

Le processeur se place sur le pavillon de l'oreille externe et permet de capter et de transmettre les sons. L'implant est inséré par un acte chirurgical dans l'os de la mastoïde.

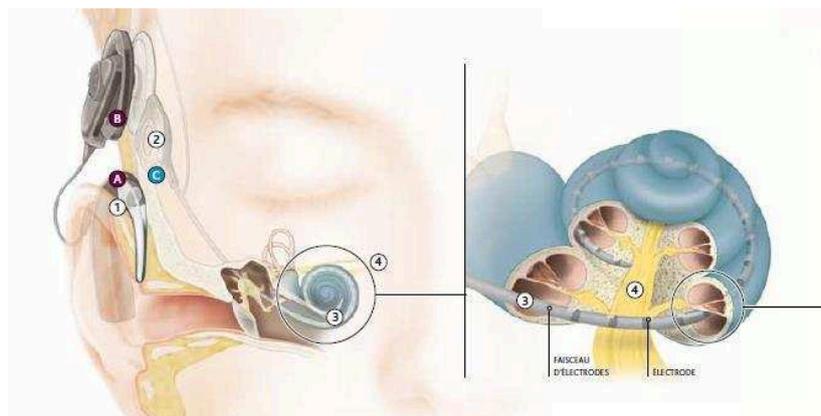


Figure 3 : Composants et fonctionnement de l'implant cochléaire

(« Informations pratiques sur l'implantation cochléaire | SERVICE ORL DU CHU DE CAEN », s. d.)

La figure 3 illustre le fonctionnement de l'implant cochléaire. Le microphone reçoit les sons (1), les transforme en signal électrique et les transmet au processeur (A). Le processeur transforme ce signal électrique en un code sonore spécifique à chaque utilisateur en fonction de ses besoins et l'envoie au transmetteur (B). Le transmetteur, placé sur la peau, est aimanté à l'implant sous-cutané (C). Le signal passe à travers la peau dans l'implant (2) et atteint les électrodes (3) qui stimulent les cellules du nerf auditif (4). La fréquence du son est perçue selon la localisation des stimuli sur la membrane basilaire : les sons graves étant perçus au niveau du sommet de la cochlée, tandis que les sons aigus sont perçus à la base de la cochlée. L'amplitude est perçue selon la quantité de courant délivrée par les électrodes.

ii. Indication

Une évaluation par la Haute Autorité de Santé (HAS) en 2007, mise à jour en 2012, a été réalisée à partir d'études et de l'ensemble des avis de la Commission nationale d'évaluation des dispositifs médicaux et technologies de la santé. Selon ce document, l'implantation cochléaire est indiquée dans des cas de surdité neurosensorielle sévère (perte de 70 à 90 dB) à profonde (perte supérieure à 90 dB) bilatérale. La pose d'un implant est systématiquement précédée d'un essai prothétique. La décision est prise par une équipe multidisciplinaire et la motivation de l'entourage est primordiale. En ce qui concerne les enfants, la HAS recommande une implantation la plus précoce possible. Au-delà de 5 ans, l'implantation n'est recommandée que si l'enfant a développé une appétence à la communication orale. Toutefois, si l'enfant est entré dans une communication orale, il peut bénéficier d'un implant cochléaire quel que soit l'âge.

iii. Plasticité cérébrale

La plasticité cérébrale se définit comme la capacité naturelle du cerveau en développement à réorganiser ses connexions neuronales selon les stimulations qu'il reçoit. Le développement cortical d'un enfant dépend donc des stimulations externes de l'environnement. Dans le cas d'une déficience sensorielle comme la surdité congénitale, le cerveau ne reçoit pas de stimuli auditifs. Par conséquent, le cortex auditif ne peut se développer correctement. L'implant cochléaire va permettre d'apporter des stimuli auditifs nécessaires au développement cortical des aires de l'audition.

Toutefois, la plasticité cérébrale n'est pas aussi efficace à tout moment de la vie. Knudsen (2004) décrit la période sensible comme la période pendant laquelle l'effet d'une expérience sur le cerveau est particulièrement fort. Au niveau cérébral, on observe alors une augmentation de la capacité du cortex à se réorganiser. L'étude de Sharma, Spahr, Dorman, et Todd (2002) montre que la période sensible pour le développement du système auditif serait avant 3 ans 6 mois. Il s'agit donc de la période optimale pour la stimulation des voies auditives centrales par un implant cochléaire afin de permettre une maturation normale du cortex auditif.

II. Développement de la parole chez l'enfant normo-entendant

Le jeune enfant traverse une série d'étapes pour acquérir sa langue maternelle. Exposé à un flux de parole continu, il apprend à le segmenter afin d'en extraire chaque mot et le sens qui y est associé en fonction du contexte de l'interaction. Chiat (2001) définit le « mapping » comme étant cette mise en relation des unités formelles phonologiques que sont les mots avec les unités de sens. Cet appariement nécessite que l'enfant développe une sensibilité aux propriétés phonologiques de sa langue maternelle. Le développement de la parole passe donc par la maîtrise des systèmes phonétique et phonologique en perception et en production. Le système phonétique est celui des sons de la parole appelés aussi phones. Il est examiné à travers des analyses phonétiques et acoustiques. Tandis que le système phonologique se réfère aux phonèmes, impliqués dans une relation lexicale entre un signifiant et un signifié. Le phonème a donc une valeur linguistique et sera analysé à l'intérieur des mots.

i. Développement perceptif de la parole

1. Segmentation de la parole

Au cours de sa première année, l'enfant doit segmenter, c'est-à-dire, extraire les mots du flux de parole qu'il entend. Plusieurs indices spécifiques à sa langue maternelle vont lui permettre de développer son système phonologique.

Dès la naissance, le bébé manifeste un intérêt singulier pour sa langue maternelle et plus particulièrement pour la voix de sa mère en étant sensible aux éléments prosodiques. La prosodie représente la mélodie et la rythmique dans la parole. On parle aussi de phénomènes suprasegmentaux puisqu'elle concerne des unités plus longues que le phonème. Les nombreux échanges vocaux entre la mère et son bébé autour de 2 mois peuvent s'apparenter à une conversation adulte (tour de rôle, alternances de questions-réponses), on parle alors de protoconversation (Bateson, 1975). Lors de ces échanges, le bébé fait l'expérience du système prosodique de sa langue, en perception et en production. A 7 mois, la reconnaissance du contour prosodique de sa langue permet à l'enfant de reconnaître les mots (Jusczyk, Houston, & Newsome, 1999). En français, le rythme favorise l'unité de la syllabe. Il existe un accent de durée qui consiste en un léger allongement de la dernière syllabe.

Le bébé a également recours à ses habiletés phonologiques pour accéder à la segmentation. Premièrement, chaque langue est régie par des règles et des probabilités d'association de

syllabes entre elles. Dès 7 mois, l'enfant utilise donc ces régularités distributionnelles afin de segmenter la parole en mots (ex. association de /ca/ et /na/ beaucoup plus fréquente que /fra/ et /chu/). Dès 9 mois, il se sert également des indices phonotactiques, c'est-à-dire, des possibilités d'association de phonèmes entre eux. Ainsi, certaines séquences de phonèmes n'existent pas dans une langue donnée (ex. la séquence /td/ n'existe pas en français) (Jusczyk, Luce, & Charles-Luce, 1994). De ce fait, si l'enfant perçoit une séquence illégale dans le flux de parole, il saura qu'il s'agit de deux mots distincts (ex. « pâte de fruit »).

Au total, le nourrisson s'appuie sur la discrimination de syllabes et ses contours prosodiques pour segmenter le flux de parole. La syllabe a donc un rôle crucial dans le développement perceptif du langage oral en plus d'apparaître de manière précoce dans les productions de l'enfant lors du babillage canonique. De plus, une étude de Mehler, Dommergues, Frauenfelder, et Segui (1981) menée sur des adultes suggère que l'unité de segmentation de la parole soit la syllabe plutôt que le phonème. Il semblerait donc qu'en français la syllabe soit l'unité segmentale de base de la langue.

2. Construction du stock phonologique

Par la suite, l'enfant doit stocker les mots en mémoire en développant des représentations phonologiques. Il s'agit de représentations mentales de la forme orale des mots, composée d'une séquence spécifique de phonèmes. Ces représentations phonologiques comportent plusieurs caractéristiques. Tout d'abord, elles sont segmentales (ou phonémiques), c'est-à-dire que tous les phonèmes constituant le mot y sont spécifiés pour permettre une reconnaissance et une production efficaces. Elles consistent au départ en des formes globales dans lesquelles seuls certains phonèmes apparaissent (Hallé & de Boysson-Bardies, 1996). Progressivement, une représentation phonologique s'affine à mesure qu'elle est comparée avec d'autres mots phonologiquement proches (ex. /po/ pour pomme se précisera lors de confrontations avec des mots comme porte, poche, port, etc). Les représentations phonologiques doivent également avoir un certain niveau d'abstraction afin que la reconnaissance puisse être efficace depuis des locuteurs différents. Le stimulus auditif perçu est ainsi apparié avec une représentation phonologique abstraite stockée en mémoire.

Les habiletés prosodiques et phonologiques permettent donc à l'enfant de se créer un lexique mental grâce au stockage de représentations phonologiques. Parallèlement, il développe son tractus vocal et sa motricité bucco-phonatoire afin de pouvoir produire la parole à son tour.

ii. Chronologie de l'apparition des sons de la langue

Rondal (1999) dresse un inventaire des phonèmes en fonction de leur âge d'acquisition. Sur ce tableau (fig. 4), le début des lignes correspond à l'âge où 50% des enfants de la population étudiée réussit à produire le phone cible, tandis que la fin des lignes correspond à l'âge où le phonème est acquis par la très grande majorité des enfants.

Les voyelles sont les premiers phonèmes à apparaître dans le système phonétique de l'enfant. Toutefois, les nasales sont acquises plus tardivement. L'ordre d'apparition des consonnes en français suit l'ordre suivant : consonnes nasales, occlusives, semi-voyelles et enfin, fricatives (Van Borsel, 1999).

Les fricatives sont donc acquises en dernier lieu. Les consonnes [f] et [v] apparaissent en même temps que les liquides [ʁ] et [l] vers 3 ans. Les consonnes [s], [z], [ʃ] et [ʒ] sont les dernières à apparaître. Le répertoire phonétique dans son intégralité doit être acquis à 5 ans, toutefois, les phones [ʃ] et [ʒ] peuvent être altérées jusqu'à 7 ans (Rondal, 1999).

iii. Développement de la phonologie

La maîtrise du système phonologique, c'est-à-dire, de la production des phonèmes de sa langue, nécessite un certain temps. C'est pourquoi on observe dans le développement de la parole de l'enfant des erreurs qui sont amenées à disparaître petit à petit (ex. « tateu » pour « tracteur » ; « patalon » pour « pantalon »). Chez l'enfant normo-entendant, la période sensible pour le développement de la phonologie serait comprise entre 1;6 et 3;6 ans. Le système phonologique, pour se construire, nécessite un répertoire de phonèmes quasiment complet, des capacités articulatoires en développement et des compétences en perception catégorielle (Ingram, 1989).

Selon Vinter (2001), à 2 ans, les erreurs phonologiques ne concernent plus que 30% des productions chez l'enfant francophone. Il s'agit pour l'essentiel d'omissions de syllabes, de consonnes en position finale de mots ou en groupes consonantiques, ainsi que des substitutions comme des occlusions, des assourdissements, des antériorisations, des glissements et des harmonisations. A 2;6 ans, le répertoire de phonèmes doit être quasi complet et les erreurs phonologiques doivent être stables, c'est-à-dire que les mots erronés le sont toujours de la même manière (Gibbon & Grunwell, 1992). Une étude menée sur des enfants francophones âgés de 3 à 5 ans a montré qu'à 3 ans, la majorité des erreurs phonologiques ne s'observent plus et que celles qui sont encore présentes ont une faible

occurrence. Il s'agit principalement de simplifications de groupes consonantiques, d'omissions de consonnes, d'antériorisations et d'assourdissements. A 3;6 ans, les omissions de consonnes ne sont plus observées. Enfin, à 5 ans, on ne voit qu'en très faible proportion des simplifications de groupes consonantiques et des assourdissements en position finale de mots (Schelstraete, Maillart, & Jamart, 2004). Ainsi, à l'âge de 5 ans, les enfants ont acquis le système phonologique du français, bien qu'on relève encore quelques difficultés sur des mots plus longs et plus complexes (ex. « pestac » pour « spectacle ») mais qui relèvent plus de l'articulation que des compétences phonologiques en production (Grunwell, 1987).

L'enfant, pour développer son système phonologique, s'appuie notamment sur le système prosodique de sa langue. En effet, chaque énoncé peut être analysé selon une structure prosodique qui détermine l'intonation, le lieu des accentuations et la syllabification (Selkirk, 1995). La structure prosodique permet de mettre en évidence la structure métrique des énoncés en indiquant l'accentuation des syllabes faibles/accentuées (ex. le gâteau). Il est possible d'expliquer certaines erreurs phonologiques développementales grâce à cette hypothèse. Les syllabes les moins saillantes au niveau perceptif seront les plus susceptibles d'être le siège d'erreurs. Au niveau du mot, les omissions de syllabes ou de phonèmes sont influencées par la structure prosodique (ex. « api » pour « parapluie »). Au niveau syntaxique, on observe la production de « fillers » remplaçant les déterminants et les pronoms (ex. « a veux » pour « je veux ») (Veneziano & Sinclair, 2000).

iv. Développement du contrôle moteur de la parole

La production articuloire de la parole se caractérise par des actions combinées du système respiratoire, du larynx et du tractus vocal (mandibule, langue, pharynx, voile du palais, cavités nasales, cavité orale, dents et lèvres) nécessitant une acquisition lente. Les mouvements du tractus vocal requièrent la contraction de 50 paires de muscles (Perkell, 2012). Le jeune enfant n'est pas physiquement apte à produire les sons de sa langue comme le font les adultes.

Au départ, les vocalisations produites par le nourrisson sont considérées comme réflexes et universelles, il s'agit de cris ou de pleurs (Hallé, 1998). L'entourage donne des interprétations à ces productions en prêtant à l'enfant des intentions ce qui constitue une première forme de communication. Par la suite, les vocalisations sortent progressivement du domaine du réflexe. Le bébé a une meilleure maîtrise de son appareil phonatoire et peut moduler ses vocalises en intensité et en hauteur afin de s'adapter au contexte de communication (D'Odorico & Franco, 1991). Vers 5-6 mois, on voit apparaître des marques prosodiques de sa langue maternelle

dans les productions de l'enfant (Levitt & Wang, 1991). Entre 6 et 12 mois, l'enfant va expérimenter et affiner ses productions prosodiques à l'intérieur de son babillage (Le Normand & Lacheret, 2010).

Les premières consonnes apparaissent lors du babillage canonique vers 6-8 mois. Ces premières production résultent de l'oscillation rythmique de la mandibule accompagnée d'une phonation (MacNeilage & Davis, 1990). Progressivement, l'enfant apprend à faire fonctionner ensemble ses articulateurs et à les coordonner pour produire de plus en plus de consonnes. Entre 6 et 16 mois, l'enfant maîtrise progressivement ses articulateurs en commençant par l'oscillation de la mandibule, puis il contrôle son voile du palais, impliqué dans la résonance des sons, et enfin, la coordination oro-laryngée afin de produire les traits de voisement. Par la suite, il affine le contrôle de ses lèvres et notamment de sa langue (Vilain, 2006).

Au-delà de la production isolée des phonèmes, il est intéressant d'étudier la dynamique articulatoire à savoir, le phénomène de co-articulation. Il s'agit des différentes influences qui contraignent le mouvement articulatoire (Perkell, 1986). Ces influences proviennent du contexte phonétique ou de coproduction avec d'autres articulateurs. La co-articulation permet en outre d'expliquer l'apparition des fricatives après les occlusives dans le répertoire phonétique. La production des fricatives nécessite un contrôle articulatoire particulièrement difficile (Nittrouer, Studdert-Kennedy, & McGowan, 1989). En effet, la production d'une constrictive nécessite une configuration très précise de la langue par rapport aux autres structures du tractus vocal sans prendre d'appui totalement, au contraire des occlusives qui demandent un appui franc et une fermeture totale en un point d'un articulateur fixe (Ladefoged & Maddieson, 1998).

III. Bases neurologiques du traitement de la parole

Modèle à double voie de Hickok & Poeppel (2004)

Depuis les travaux de Paul Broca (1824-1880), la recherche en neuropsychologie a continué d'éclairer la compréhension du traitement langagier par des corrélations anatomo-cliniques. A l'aune des avancées dans ce domaine, Hickok et Poeppel (2004) proposent le modèle à double voie de traitement de la parole. Lorsque la parole est perçue, deux voies de substance blanche différentes s'activent (fig. 5) :

- La voie ventrale, auditivo-conceptuelle : Située au niveau temporel et présente dans les deux hémisphères, elle sert d'interface entre les sons de la parole et leur signification.
- La voie dorsale, auditivo-motrice : Constituée d'un réseau entre la jonction temporo-pariétale et dans le gyrus frontal inférieur, elle permet l'intégration auditivo-motrice de la parole.

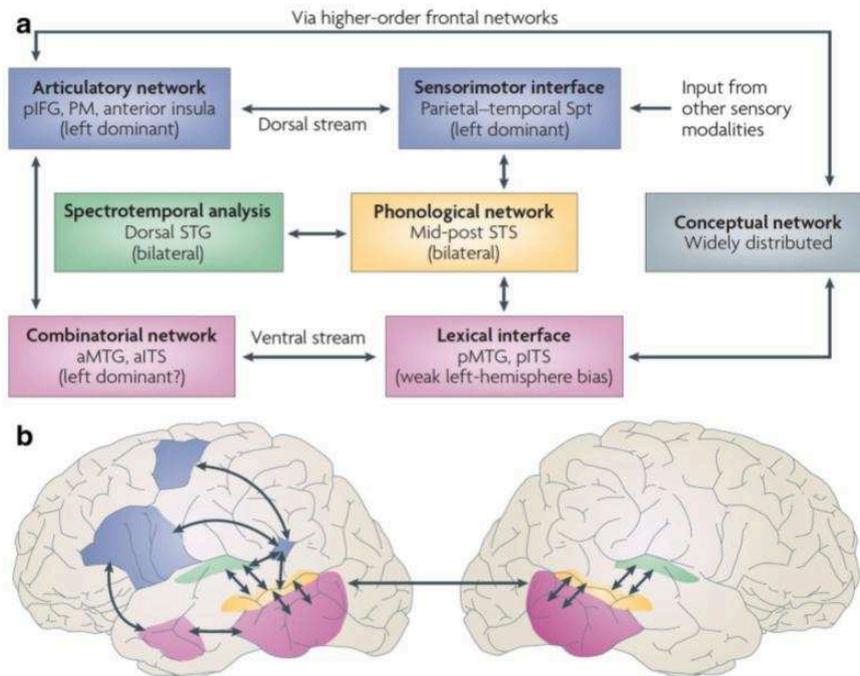


Figure 4 : a) Diagramme du modèle à double voie
b) Localisations anatomiques des composants du modèle à double voie (Hickok, 2017)

Le réseau phonologique se sépare en deux voies. La voie dorsale supporte le contrôle moteur de la parole et la voie ventrale supporte la compréhension. Lorsqu'un signal acoustique de parole est perçu, le cortex auditif dans la partie supérieure du lobe temporal transmet des informations auditives au réseau phonologique. Ce réseau auditivo-phonologique est relié au réseau articulaire par l'interface sensorimotrice. Il est également relié au réseau conceptuel par l'interface lexicale.

Modèle DIVA de Guenther & Vladusich (2012)

Le contrôle des mouvements articulatoires, supporté par la voie dorsale, peut être expliqué grâce au modèle DIVA de production de la parole (Directions Into Velocities of Articulators) (Guenther & Vladusich, 2012) illustré dans la figure 6. Ce modèle s'appuie sur les travaux de Perkell (2012) et comprend deux systèmes de contrôle : le contrôle direct (feedforward) et par rétroaction (feedback). La production de parole débute par l'activation de la « carte des sons

de la parole » (aire de Broca, aire de Brodmann 44 gauche, cortex prémoteur ventral gauche) qui contient l'ensemble des phonèmes et des syllabes appris par le locuteur. Pour produire un phonème ou une syllabe, l'ensemble des cellules correspondant à la cible de parole s'activent et transmettent des informations auditives et somatosensorielles à la fois au système direct et rétroactif. Dans le système direct, les informations sont reçues par le cortex moteur primaire où sera élaboré un plan moteur afin d'aboutir à l'exécution motrice, c'est-à-dire l'articulation. Parallèlement, le système rétroactif reçoit aussi la cible de parole et va la comparer à l'information sensorielle (auditive et somatosensorielle) consécutive de l'exécution motrice. De ce fait, si la production du locuteur ne correspond pas à la cible attendue, le système rétroactif envoie les corrections nécessaires au cortex moteur.

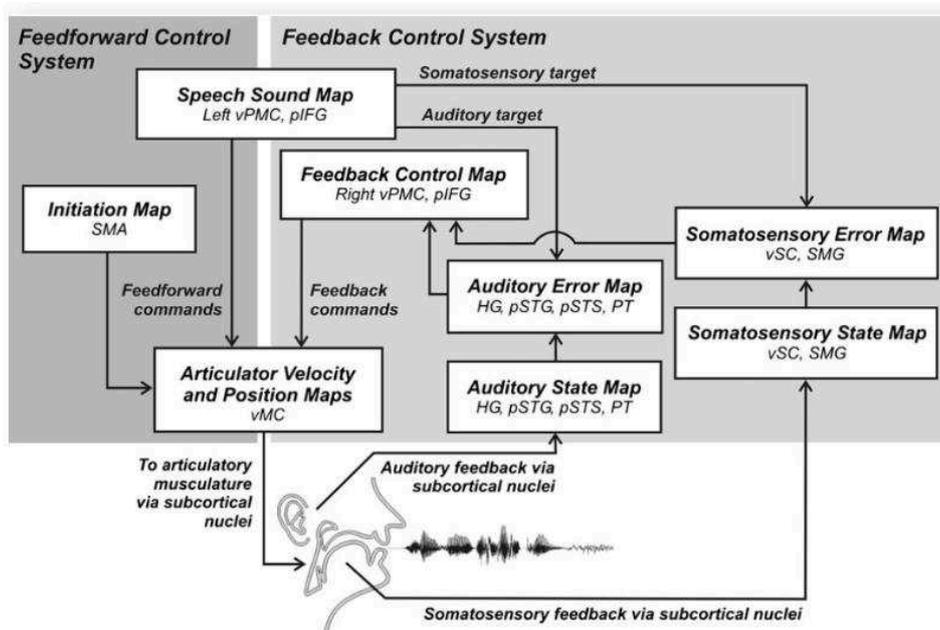


Figure 5 : Modèle DIVA de production de la parole

Pour résumer, les cibles de parole sont donc initialement de nature auditive et indiquent les commandes motrices nécessaires au son cible. Lors de cette étape, le système direct apprend des relations entre les représentations auditives, motrices, phonémiques et somatosensorielles. Une fois apprises, des cibles somatosensorielles sont créées dans le système de contrôle par rétroaction.

IV. Les erreurs pouvant caractériser la parole

i. Le trouble articuloire

Lorsqu'un enfant présente des difficultés à articuler un son de la parole, on parle de trouble d'articulation ou dyslalie (Campolini, Van Hövell, & Vansteelandt, 1997). Une erreur d'articulation se produit de manière systématique, à l'intérieur des mots mais aussi de manière isolée. Les troubles articuloires sont dits « périphériques » puisqu'ils concernent les caractéristiques phonétiques des sons de la parole. Il existe trois catégories de troubles articuloires :

- **Les distorsions** : Le phonème est mal prononcé en raison d'un mauvais positionnement des organes de la phonation. Il en résulte un son plus ou moins proche du phonème cible mais qui n'existe pas dans la langue du locuteur. Une distorsion courante est le sigmatisme (ex. distorsion touchant le /s/).
- **Les substitutions** : Le phonème cible est systématiquement remplacé par un phonème proche phonétiquement (ex. substitution du /f/ par /s/ ; substitution du /l/ par /j/)
- **Les omissions** : Le phonème n'est pas produit et n'est pas non plus remplacé

ii. Le trouble phonologique

A l'inverse du trouble articuloire, le trouble phonologique est considéré comme « central ». Les erreurs concernent les représentations phonologiques, c'est-à-dire, la forme sonore des mots, et peuvent s'exprimer en production et/ou en perception (Schelstraete, Bragard, Collette, Nossent, & Van Schendel, 2011). A l'intérieur d'un mot, on observe des erreurs phonologiques qui peuvent être ou non systématiques. Elles peuvent toucher le phonème ou la syllabe selon les processus identifiés dans les tableaux 1 et 2. Les erreurs phonologiques touchant le phonème sont dites de substitution : un phonème se substitue à un autre selon des traits articuloires.

Tableau 1 : Erreurs phonologiques concernant la syllabe (d'après Schelstraete & al., 2011)

Modification	Unité	Exemples
Ajout	Consonnes	“ <i>droit</i> ” pour doigt
	Syllabes	“ <i>locomolotive</i> ” pour locomotive
Omission	Consonnes	“ <i>caraval</i> ” pour carnaval
	Syllabes	“ <i>boggan</i> ” pour toboggan
	Groupes consonantiques	“ <i>ti</i> ” pour tigre
	Semi-voyelles	“ <i>parapli</i> ” pour parapluie
	Voyelles	“ <i>mandrine</i> ” pour mandarine
Simplification	Groupes consonantiques	“ <i>tig</i> ” pour tigre
Inversion	Syllabes	“ <i>lomocotive</i> ” pour locomotive
	Phonèmes	“ <i>pestacle</i> ” pour spectacle
Assimilation		“ <i>crocodile</i> ” pour crocodile
Harmonisation	Syllabes	“ <i>fanfan</i> ” pour enfant

Tableau 2 : Erreurs phonologiques de substitution (d'après Schelstraete & al., 2011)

Traits articulatoires	Modification	Exemples
Voisement	Assourdissement	“ <i>karçon</i> ” pour garçon
	Sonorisation	“ <i>voidure</i> ” pour voiture
Lieu d'articulation	Antériorisation	“ <i>sapeau</i> ” pour chapeau
	Postériorisation	“ <i>seu</i> ” pour feu
Résonance	Oralisation	“ <i>dorbir</i> ” pour dormir
	Nasalisation	“ <i>escanier</i> ” pour escalier
Mode d'articulation	Fermeture	“ <i>bélo</i> ” pour vélo
	Constriction	“ <i>sable</i> ” pour table
	Glissement	“ <i>yune</i> ” pour lune
Influence d'un autre phonème	Assimilation	“ <i>krois</i> ” pour trois
	Harmonisation	“ <i>torte</i> ” pour porte
Voyelles	Substitution	“ <i>rive</i> ” pour rêve

iii. Diagnostic différentiel

La frontière entre trouble articulaire et trouble phonologique est toutefois relativement floue (Schelstraete & al., 2011). Lorsqu'il s'agit d'une distorsion de phone comme dans le cas d'un sigmatisme interdental (le /s/ est prononcé avec la langue entre les dents), il s'agit bien d'une production d'un son non existant dans la langue et par conséquent, d'un trouble articulaire. Cependant, dans de nombreuses classifications, les troubles articulaires contiennent également des omissions et des substitutions dans la mesure où elles sont systématiques. La question se pose toutefois de savoir si ces erreurs sont articulaires ou phonologiques.

Notons que la phonologie se développe en même temps que l'articulation. Ces deux phénomènes sont donc très inter-dépendants. L'articulation nécessite l'acquisition d'une motricité fine qui met du temps à être maîtrisée. Le développement de la phonologie en production est donc déterminé par les aspects moteurs articulaires. On peut donc penser qu'un enfant qui substitue ou omet certains phonèmes de manière systématique ne développe pas correctement son système phonologique. Ainsi, dans leur chapitre, Schelstraete et al. (2004) s'appuyant sur les travaux de Paul (2001), suggèrent de considérer que les troubles articulaires concernent les distorsions de phones. En ce qui concerne les substitutions et les omissions, selon Schelstraete et al. (2011), « il semble préférable de les considérer comme des erreurs phonologiques s'accompagnant d'une absence des patterns articulaires permettant la production d'un phonème ». La définition n'est toutefois pas partagée par tous les auteurs. Dans leur article, Quémart, MacLeod et Maillart (2015) décrivent les troubles articulaires comme étant des « déformations phonologiques de certains phonèmes le plus souvent à cause d'une malformation physique » et ajoute un critère de systématisme, quelles que soient les erreurs affectant les phonèmes.

iv. Démarche évaluative de la phonologie

Dans leur livre, *Traitement du langage oral chez l'enfant*, Schelstraete et al. (2011) proposent une démarche évaluative pour appréhender les troubles phonologiques chez l'enfant que ce soit au niveau des tâches, des analyses et des indices de sévérité.

Les différentes tâches proposées sont les suivantes :

- Dénomination d'images et de langage spontané ou semi-induit
- Répétition (syllabes, mots, pseudo-mots)
- Jugement (décision lexicale, jugement phonologique, discrimination phonémique)

- Métaphonologie (jugement de rimes, suppression/inversion/fusion de phonèmes/syllabes)

Les données obtenues lors de ces épreuves permettent au clinicien d'analyser le système phonologique de l'enfant en identifiant des informations concernant les phonèmes présents, les structures syllabiques utilisées, les contrastes observés et les erreurs phonologiques produites par l'enfant.

L'analyse se constitue des éléments suivants :

- **Répertoire phonétique** : Il s'agit d'inventorier les phonèmes qui sont produits. Dans la littérature anglo-saxonne, l'absence de plus de 5 phonèmes est considérée comme un critère d'intervention (Gierut, Morrisette, Hughes, & Rowland, 1996 ; Williams, 2000).
- **Structures syllabiques** : La variété des structures syllabiques est intéressante à relever. En cas de trouble phonologique, il est possible de n'observer que la présence de structures CV et de voyelles isolées.
- **Répertoire phonologique et analyse des erreurs phonologiques** : Dans ce répertoire, on s'intéresse cette fois-ci aux contrastes phonologiques observés. Par exemple, on relève si l'enfant peut produire le contraste du voisement en observant les différentes paires de phonèmes voisés – non-voisés (/p/ - /b/, /f/ - /v/, etc.). L'analyse des erreurs phonologiques permet de mettre en évidence une éventuelle logique expliquant les erreurs. Ainsi, le clinicien relève les différentes erreurs phonologiques tels qu'illustrés dans les tableaux 1 et 2.

Une fois ces relevés réalisés, le clinicien peut calculer différents indices qui servent à estimer un degré de sévérité, et à constituer des lignes de bases :

- **Le pourcentage de consonnes correctes (PCC) et de voyelles correctes (PVC)** : L'indice du PCC permet notamment de déterminer le niveau d'intelligibilité (Shriberg, Austin, Lewis, McSweeny & Wilson, 1997). Selon Paul (2001), en anglais, un PCC supérieur à 85% équivaut à une bonne intelligibilité ; un PCC compris entre 65 et 85% équivaut à une intelligibilité moyenne ; un PCC compris entre 50 et 64% équivaut à une inintelligibilité modérée ; un PCC inférieur à 50% équivaut à une inintelligibilité sévère. Le PVC est plus rarement significatif.

- **Longueur moyenne des productions phonologiques (PMLU) :** Le PMLU (Phonological Mean Length of Utterances) est un indicateur du développement phonologique qui se calcule par mot (Ingram, 2002). Il s'agit d'attribuer un point à chaque phonème produit correctement et d'y ajouter un point par consonne produite correctement (ex. chaussure : 5 phonèmes + 3 consonnes, PMLU = 8). Il est alors possible de réaliser une moyenne des PMLU de tous les mots produits par l'enfant et de les comparer à ceux des mots cibles (ex. « yoyure » pour chaussure : 3 phonèmes + 1 consonne, PMLU = 4). L'intérêt du PMLU est de considérer le contexte lexical dans lequel se développe le système phonologique de l'enfant ainsi que la longueur des mots qu'il utilise.
- **Stabilité et nature des erreurs :** Lorsque les erreurs varient à la répétition de même mots, on considère que la production est instable. On peut ainsi calculer un taux d'instabilité des productions. Un taux d'instabilité supérieur à 40% peut être considéré comme un signe de sévérité (Holm, Crosbie, & Dodd, s. d.).

V. Développement du langage chez l'enfant sourd implanté cochléaire

i. Développement du langage et intelligibilité

Grâce à l'implant cochléaire, les enfants sourds peuvent développer le langage oral. La qualité des informations fournies par l'implant restent cependant limitée. La perception de la parole reste imprécise, particulièrement lorsqu'il s'agit de produire des mots courts, unisyllabiques, inaccentués comme les mots grammaticaux (exemples: articles, prépositions et pronoms).

De nombreuses études s'accordent sur le fait qu'une implantation précoce permet une trajectoire développementale du langage proche de celle des normo-entendants (Peterson & al., 2010). Cependant, il y a une forte variabilité interindividuelle. L'âge d'implantation et le mode de communication sont les variables les plus corrélées avec le développement du langage.

Les enfants ayant une audition normale atteignent une intelligibilité comparable à celle de l'adulte autour de 4 ans (Chin, Tsai, Patrick & Gao, 2003). Dans leur étude, Chin et al. (2003) montrent que ce pic d'intelligibilité n'est pas observé chez les enfants avec implant cochléaire. Les enfants avec implant sont donc significativement moins intelligibles que les

normo-entendants par rapport à leur âge chronologique. L'âge d'implantation semble avoir un impact sur la qualité de l'intelligibilité (Habib, Waltzman, Tajudeen, & Svirsky, 2010).

ii. Développement de la parole

Chez l'enfant implanté cochléaire, les phénomènes suprasegmentaux et segmentaux ne lui parviennent que par le biais d'un signal électrique. L'audition qui en résulte reste donc artificielle et comporte une qualité fréquentielle et temporelle réduite par rapport à l'audition naturelle (Green, Faulkner, & Rosen, 2004). Or, ces informations sont essentielles à l'identification des paramètres prosodiques. Plusieurs études montrent toutefois que les enfants avec implant cochléaire ont accès plus facilement aux aspects suprasegmentaux qu'aux aspects segmentaux (Lenden & Flipsen, 2007 ; Carter, Dillon, & Pisoni, 2002). De plus, le babillage chez l'enfant sourd est affecté de manière quantitative et qualitative : il est plus tardif et plus réduit, et contient un inventaire phonémique restreint accompagné de nombreuses structures atypiques (Oller & Eilers, 1988).

1. Phénomènes suprasegmentaux

La prosodie renseigne à tous les niveaux de la linguistique : pragmatique (expression des émotions, procédé d'insistance), sémantique lexicale (accentuation de certaines unités peu fréquentes ou liées à l'affect), sémantique grammaticale (structuration du discours) et syntaxique (organisation des constituants de la structure syntaxique) (Le Normand et al., 2010).

Les enfants implantés cochléaires ont de moins bonnes compétences prosodiques que les enfants normo-entendants notamment en termes d'intonation (Chin, Bergeson, & Phan, 2012). Cependant, ils acquièrent des structures prosodiques similaires aux structures typiques ce qui les amène à faire le même type d'erreurs en production sur la syllabe que les enfants normo-entendants de même âge langagier (Titterington & al., 2006). Ces erreurs portent sur les syllabes les moins saillantes dans la parole au niveau du mot et au niveau de la phrase (Titterington & al., 2006 ; Le Normand & Moreno-Torres, 2014). Par conséquent, il semble que l'implant cochléaire permette un meilleur développement des aspects rythmiques de la prosodie comme la structure métrique du langage, comparé aux aspects intonatifs (chant, intonations linguistiques ou émotionnelles) (Le Normand & al., 2014).

L'âge d'implantation influence le développement de la prosodie (Le Normand & Lacheret, 2008). En effet, les perturbations du rythme persistent chez des enfants implantés entre 45 et

60 mois comparé à des enfants implantés entre 26 et 37 mois. De plus, les difficultés au niveau prosodique persistent à long terme. A 10 ans post-implant, on observe encore des difficultés prosodiques qui affectent la segmentation des syllabes et des frontières de mots (Le Normand & al., 2015).

2. Phénomènes segmentaux

Au niveau segmental, on observe des déficits également liés à l'altération du signal de parole par l'implant. En effet, les distorsions concernent des caractéristiques acoustiques permettant de percevoir le nombre de syllabes ou encore les traits articulatoires comme le voisement ou le mode d'articulation (Rosen, 1992). De ce fait, des difficultés de précision catégorielle reflètent les limites acoustiques de l'implant cochléaire au niveau du codage temporel de la structure et résolution fréquentielle (Bouton & al., 2012). On observe ainsi des déficits dans la perception du lieu d'articulation des consonnes et des consonnes en général (Bouton & al., 2012 ; Medina & Serniclaes, 2009). Ce déficit perceptif se retrouve en production. En effet, l'inventaire phonétique des consonnes se développe plus difficilement que chez les enfants normo-entendants, avec des erreurs de substitutions observées en termes de lieu d'articulation notamment (Tobey & al., 2007 ; Moreno-Torres & al., 2014).

Au niveau des voyelles, la production se diversifie et devient plus précise entre 6 mois et 36 mois (Tye-Murray & Kirk, 1993). L'accès progressif aux informations acoustiques concernant les formants permet à l'enfant d'élargir son système phonologique et d'affiner ses capacités motrices pour réaliser les voyelles cibles. Le degré de surdité et l'âge d'implantation ont un impact sur la production des voyelles (Bouchard, Le Normand, & Cohen, 2001). La précision de la réalisation des consonnes dépend du lieu d'articulation. En effet, le caractère visible des consonnes, grâce à la lecture labiale, semble influencer la chronologie d'apparition des consonnes durant les premiers mois d'implantation. Les consonnes les plus antérieures sont mieux produites que les consonnes les plus postérieures. (Tobey & al., 2007 ; Bouchard, Normand, & Cohen, 2007). Toutefois, à mesure de l'exposition au langage oral, les trajectoires développementales rejoignent celles des normo-entendants (Achaintre & Le Normand, 2005 ; Bouchard & al., 2007).

De nombreuses études se sont intéressées à l'acquisition des fricatives sibilantes (/s/ et /ʃ/). Certaines d'entre elles suggèrent que les sibilantes pourraient être acquises plus tôt que prévues par rapport aux trajectoires développementales typiques lorsqu'on compare les enfants implantés cochléaires à des enfants normo-entendants de même expérience auditive

(Bouchard & al., 2007 ; Spencer & Guo, 2013). Toutefois, leur production au niveau acoustique est moins bonne que celle des normo-entendants de même âge et la différenciation entre /s/ et /ʃ/ est moins nette (Neumeier & al., 2015). Cela s'explique par le fait que plusieurs fréquences caractéristiques des fricatives et notamment de la consonne /s/ se situent au-delà de la bande de fréquences audible par les personnes avec implant cochléaire. De plus, la qualité de la résolution de l'implant diminue à mesure que les fréquences sont élevées. Les sibilantes sont donc difficilement perceptibles pour les enfants implantés cochléaires. Dans une même perspective, l'étude de Chin et al. (2003) montre que les inventaires phonétiques des enfants implantés cochléaires contiennent des phones acoustiquement altérés qui nuisent à l'intelligibilité de leur discours.

Enfin, Moreno-Torres et al. (2014) suggèrent que les déficits segmentaux s'expliquent en termes de contrôle moteur de production de la parole. Selon le modèle DIVA décrit précédemment, l'apprentissage des différents segments (phonèmes ou syllabes) se ferait par association entre une cible de parole, auditive et somatosensorielle, et un geste articulatoire. Les cibles de voyelles seraient majoritairement auditives tandis que les cibles de consonnes seraient davantage somatosensorielles (Perkell, 2012). Cependant, il existe certaines exceptions comme les cibles des consonnes fricatives /s/ et /ʃ/ qui relèveraient autant du domaine auditif que du domaine somatosensoriel. L'apprentissage des deux types de cibles ne se fait pas au même moment. Les cibles auditives sont apprises en premier lieu grâce au feedback auditif et les cibles somatosensorielles se développent secondairement grâce au babillage. De plus, au niveau des unités linguistiques, il semblerait que la syllabe soit traitée grâce à un circuit auditivo-moteur alors que le phonème serait traité grâce à un circuit somatosensoritivo-moteur (Hickok, 2012). Or, les sibilantes seraient acquises plus tôt chez les enfants implantés cochléaires comparés à des enfants normo-entendants (Bouchard & al., 2007 ; Spencer & al., 2013). Le développement phonologique des enfants implantés cochléaires pourrait ainsi trouver une part d'explication dans leur utilisation des différentes cibles de parole. En effet, l'implant pourrait donner suffisamment d'information auditive pour que les cibles auditives soient apprises rapidement. Toutefois, l'altération du signal par l'implant empêcherait de percevoir certains traits acoustiques permettant une amélioration de précision catégorielle fine. Enfin, la difficulté de ces enfants à acquérir les consonnes et l'acquisition précoce des sibilantes permettent de penser que les cibles somatosensorielles sont les plus difficiles à apprendre pour eux. L'implant cochléaire permettrait alors

d'apprendre les cibles auditives des syllabes mais ne permettrait pas d'en déduire les conséquences somatosensorielles pour les consonnes.

3. Système phonologique

En cas d'implantation précoce, le babillage apparaît rapidement même s'il laisse apparaître des difficultés à acquérir des représentations phonologiques stables (Moreno-Torres & al., 2014). Par la suite, le développement phonologique de l'enfant semble également être impacté dans une certaine mesure. L'acquisition des représentations phonologiques chez des enfants implantés avant 30 mois semble suivre celle des enfants normo-entendants ayant expérimenté la même durée d'exposition au langage (Spencer & al., 2013 ; Serry. & Blamey, 1999). Toutefois, leurs capacités articulatoires mettraient plus de temps à être coordonnées. En effet, l'étude de Spencer & al. (2013) montre que les erreurs les plus fréquemment réalisées sont des substitutions en position initiale de mots, et des omissions en position finale. L'analyse des traits articulatoires révèle que les substitutions en début de mots impliquent en majorité plusieurs traits articulatoires (combinaison de substitutions en termes de voisement, lieu et/ou mode d'articulation). Bien que le répertoire phonémique augmente considérablement, les erreurs phonologiques persistent ce qui montre des difficultés de redéfinition de leur système phonologique en production et/ou en réception.

iii. Développement grammatical

La production de morphèmes grammaticaux permet de renseigner sur la construction des noms, des adjectifs et des verbes (association de radicaux, ajout de suffixes et/ou de préfixes), sur le genre, le nombre, le temps de l'action (conjugaison des verbes) ainsi que la notion de personne qui fait l'action. Ces éléments grammaticaux ainsi que les mots outils (prépositions, déterminants, pronoms, conjonctions) sont très peu audibles au sein de la phrase. Certains auteurs étudiant les troubles développementaux du langage oral supposent que les déficits en grammaire résultent de troubles phonologiques (Chiat, 2001 ; Maillart, Schelstraete, & Hupet, 2002). En effet, le déficit phonologique ne permettrait pas d'acquérir certains éléments grammaticaux comme les flexions de genre (le-la, un-une) et les flexions verbales (il boit – ils boivent). Partant de cette hypothèse, et au vu des difficultés phonologiques décrites précédemment, il est aisé de faire le parallèle avec l'enfant sourd implanté cochléaire.

Bien que les enfants implantés cochléaires atteignent un niveau d'habiletés langagières global dans la norme, il persiste certaines difficultés morphologiques notamment au niveau des

morphèmes les moins saillants au niveau perceptif soit les marques du genre et du nombre des déterminants et des pronoms clitiques ainsi que les flexions verbales (Hallé & Duchesne, 2015). Il s'agit la plupart du temps d'omissions ou de substitutions. L'étude longitudinale menée par Le Normand et al. (2015) a examiné le lien entre développement morphosyntaxique et prosodie et montre que l'accès à la forme sonore des morphèmes grammaticaux est liée à la prosodie et à la structure de la syllabe. A 10 ans post-implant, les compétences morphosyntaxiques en perception et en production restent déficitaires notamment pour les déterminants, les prépositions et les pronoms. Enfin, une amélioration dans le traitement prosodique au niveau des syllabes peu saillantes des énoncés permettrait un meilleur traitement syntaxique en réception (Titterington & al., 2006).

VI. Facteurs affectant le développement du langage

i. Age d'implantation

Les bénéfices d'une implantation précoce sur le développement du langage oral ont été montrés par de nombreux chercheurs (Tomblin, Barker, Spencer, Zhang & Gantz 2005 ; Adi-Bensaid & Bat-El, 2004 ; Geers, Moog, Biedenstein, Brenner, & Hayes, 2009 ; Le Normand & al., 2008 ; Achaintre & al., 2005). Il est aujourd'hui considéré que la pose de l'implant doit se faire le plus tôt possible, avant 3 ans, voire dans la première année de vie (Peterson & al., 2010).

Certaines études cependant, n'observent pas de corrélations entre implantation précoce et performances langagières (Tobey, Geers, Brenner, Altuna, & Gabbert, 2003 ; Geers, 2004 ; Bouchard & al., 2007). Ces études montrent que d'autres facteurs entrent en jeu comme l'intelligence non verbale, l'âge d'apparition de la surdité, la durée d'utilisation de l'implant, le statut socio-économique, l'investissement des parents ou le mode de communication.

ii. Mode de communication

Selon le choix des parents, la communication orale avec leur enfant implanté cochléaire peut être associée à l'utilisation de signes (français signé). Il existe également des codes manuels permettant de mettre en exergue les traits phonémiques de la parole comme la langue parlée complétée (LPC).

Il s'avère que la production de parole et l'intelligibilité semblent fortement influencées par un mode de communication orale en association avec une éducation auditivo-orale (Tobey & al., 2003 ; Tobey & al., 2007 ; Geers, Mitchell, Warner-Czyz, Wang, Eisenberg & Team, the Cd. I., 2017).

De plus, dans leur étude récente, Geers & al. (2017) semblent confirmer par des résultats significatifs que l'utilisation de signes en complément d'une communication orale ou en unique mode de communication (langue des signes française ou français signé) n'a aucun intérêt pour le développement du langage oral. Que les signes aient été introduits avant ou après l'implant et qu'ils aient été utilisés à court ou long terme, les enfants concernés développent de moins bonnes compétences en langage oral et/ou écrit.

En revanche, un code phonémique comme le LPC associé à une éducation orale influencerait positivement les compétences phonologiques et morphosyntaxiques (Leybaert, 2000 ; Bouchard & al., 2007 ; Le Normand & al., 2015).

VII. Problématique et hypothèses

L'objectif de cette étude est d'examiner les compétences phonologiques d'enfants implantés cochléaires à 18 mois puis à 10 ans d'implantation afin de déterminer des prédicteurs.

a) Nous nous attendons à ce que la consonne sourde coronale /s/ soit soumise à plus d'erreurs. En effet, il a été remarqué dans la littérature une difficulté pour les enfants implantés à percevoir les hautes fréquences (Neumeyer & al., 2015). De ce fait, ces enfants semblent adopter une stratégie singulière qui rendrait les phonèmes /s/ et /ʃ/ difficilement distinctifs.

b) Nous faisons l'hypothèse que des erreurs phonologiques seront présentes à 18 mois post-implant et persisteront à 10 ans post-implant, avec notamment des omissions et des substitutions, correspondant aux morphèmes les moins saillants du discours au niveau prosodique (Le Normand & al., 2015).

c) Parmi les deux facteurs examinés pour cette étude, nous supposons que le facteur biologique 'âge d'implantation' sera moins prédictif que le facteur 'mode de communication' sur la phonologie (Bouchard & al., 2007).

PARTIE EXPERIMENTALE

I. Méthodologie

i. Population

Les 15 sujets de notre étude ont été sélectionnés de la base de données du CTNERHI selon les critères suivants : surdité profonde de niveau III acquise avant 2 ans, implantation au plus tard à 7 ans et pas de troubles associés. Les données biographiques des participants (annexe B) peuvent être résumées ainsi :

- Sexe : 7 garçons et 8 filles
- Milieu socio-économique : 7 enfants issus d'un milieu socio-économique moyen, 8 issus d'un milieu socio-économique favorisé
- Age d'implantation cochléaire (AIC) : entre 22 et 60 mois (M=3;4 ans)
- Age réel à 18 mois d'implantation (T1) : entre 40 et 78 mois (M=4;10 ans)
- Age réel à 10 ans d'implantation (T2) : entre 142 et 180 mois (M=13;4 ans).
- Mode de communication : Nous avons divisé la population en deux sous-groupes ; l'un avec LPC dans lequel les enfants ont bénéficié du code gestuel phonémique (n=12), l'autre sans LPC dans lequel les enfants ont bénéficié d'une communication orale uniquement ou en LSF (n=3).

i. Corpus et protocole

1. Recueil des données

a. Recueil du langage spontané à T1

A 18 mois post-implant, les enfants ont été filmés lors d'une séance de discours libre avec comme support de jeu, la maison Fisher-Price. Ce jeu a été validé pour l'observation de la production de langage spontané chez l'enfant de 2 à 4 ans (Parijsse & Le Normand, 2006). L'enfant peut ainsi rejouer des scènes de vie quotidienne ou inventer d'autres scénarios. Un adulte est présent pour interagir avec lui autour de ce jeu. Les enregistrements vidéo durent 15

minutes. Selon Morrison et Shriberg (1992), l'intérêt du recueil de langage spontané est de représenter de manière fidèle les capacités de communication fonctionnelle et permettant d'évaluer la parole, le langage et la prosodie.

b. Recueil du langage spontané à T2

Un deuxième recueil a eu lieu à 10 ans post-implantation lors d'une tâche de discours semi-dirigé avec Frog where are you ? (Mayer, 1969). Un enregistrement audio de la production de l'enfant a été réalisé face à cette histoire de 24 images sans texte, en noir et blanc. L'enfant doit raconter l'histoire d'un petit garçon qui part à la recherche de sa grenouille qui s'est échappée de son bocal (annexe C). Cette macrostructure comprend des microstructures composées avec différents personnages secondaires, différents lieux et différents moments. Cet outil est donc adapté pour évaluer les compétences langagières et narratives de l'enfant.

2. Matériel et analyse

a. Transcription

Ces enregistrements ont été transcrits manuellement selon le format CHAT (Codes for Human Analysis of Transcripts) défini par MacWhinney (2014) en utilisant le logiciel CLAN (Computerized Language Analysis). Les transcriptions ont été vérifiées par un coefficient inter-juge, par nous-même et ma directrice de mémoire, afin d'assurer la fiabilité des transcriptions.

b. Analyse perceptive à T1

Nous avons effectué un premier répertoire phonétique de manière subjective, par écoute des enregistrements à T1. Pour chaque enfant, nous avons relevé la présence (notée 1) ou l'absence (notée 0) de chaque phonème du français afin de résumer le paradigme consonantique des ces enfants (annexe D). Cette première analyse reste subjective. Elle a donc été ensuite confrontée à l'analyse automatisée via le logiciel Phon (<https://www.phon.ca> ; Rose, MacWhinney, Byrne, Hedlund, Maddocks, O'Brien & Wareham, 2006 ; Rose & MacWhinney, 2014).

c. Analyse par Phon à T1 et à T2

Le projet PhonBank est une extension du Child Language Data Exchange System (CHILDES) dédiée à la phonétique et à la phonologie. Dans ce cadre, le programme Phon a été créé pour

permettre l'analyse de la parole des enfants. Entre autres fonctionnalités, Phon et PhonBank permettent de relier les vidéos aux transcriptions, coder et analyser des données phonologiques et de partager de manière sécurisée ces données, le tout en accès libre.

Description du logiciel PHON

Phon est d'un grand intérêt pour les orthophonistes car il permet de réaliser les analyses des aspects phonétiques et phonologiques de la parole (McAllister Byun & Rose, 2016).

Les analyses peuvent être réalisées sur des tâches de parole spontanée ou dirigée. Le recueil de parole spontanée nécessite un investissement en temps non négligeable de la part de l'orthophoniste, mais présente l'avantage de permettre une analyse rapide de tous les aspects segmentaux et prosodiques de la parole de l'enfant. En effet, il est nécessaire de prendre le temps de rédiger la transcription orthographique avant de la relier au média. Cependant, sur une tâche de discours dirigé comme une dénomination de mots ou de phrases, il est possible de créer un fichier pré-transcrit qui servira de modèle. Ainsi, lorsque l'utilisateur souhaite segmenter un enregistrement d'une telle tâche standardisée, il peut se servir du modèle créé en le dupliquant et en reliant par un clic chaque énoncé au segment d'enregistrement voulu.

La transcription orthographique doit ensuite être transcrite en phonétique pour obtenir la ligne « API cible », c'est-à-dire, la forme phonétique attendue. Pour ce faire, Phon contient un dictionnaire phonétique basé sur l'alphabet phonétique international (API ou IPA en anglais) qui permet d'associer rapidement la forme phonétique au mot écrit dans la transcription. L'option « auto-transcription » permet une traduction automatique de la transcription entière en phonétique. Dans la ligne suivante il s'agit d'inscrire « API actuel » c'est-à-dire la production réelle de l'enfant. L'utilisateur peut inscrire directement ce qu'il entend grâce au dictionnaire API. Pour augmenter en rapidité, il peut également utiliser la fonction « IPA Lookup » qui permet de remplir à l'identique les lignes « API cible » et « API actuel », l'utilisateur n'a plus qu'à modifier seulement les erreurs phonétiques qu'il entend.

L'analyse par Phon commence par la syllabification et l'alignement des transcriptions API aux transcriptions orthographiques. Elles se font automatiquement mais il est possible toutefois de les modifier manuellement. Phon contient plusieurs fonctions qui permettent de réaliser les analyses nécessaires à l'évaluation du système phonologique, décrites dans le tableau 3.

Tableau 3 : Fonctions de Phon pour l'évaluation du système phonologique

Fonction	Description
Répertoire phonétique (Phone Inventory)	Répertoire des phonèmes attendus Répertoire des phonèmes produits
Répertoire phonémique (Phone accuracy)	Liste de chaque phonème attendu avec le comptage des productions correctes et des erreurs phonologiques
PCC/PVC	Mesures de la précision de la production des consonnes et des voyelles
PMLU	Mesure de la productivité phonologique

Préparation et analyse des données

Dans les nombreux cas où les différents transcrip-teurs ont obtenu des transcriptions divergentes, les deux transcrip-teurs concernés ont travaillé de concert de manière à obtenir une transcription consensuelle finale pour l'analyse. Dans la grande majorité des cas, les divergences concernaient des mots non identifiés xxx (xx%). Aussi, nous avons codé les données de manière à identifier les endroits où les enfants ont bénéficié d'indices supplémentaires pour produire la forme induite, de manière à vérifier que les productions des enfants ne soient pas le résultat d'une imitation mais bien le reflet de leurs capacités phonologiques. Une fois les formes transcrites, nous les avons annotées à l'aide de fonctions spécialisées permettant l'identification des positions syllabiques de chaque segment ainsi que l'alignement, son par son, entre les formes cibles (adultes) et celles produites par les enfants, comme l'illustre la figure 7 (enfant 406).

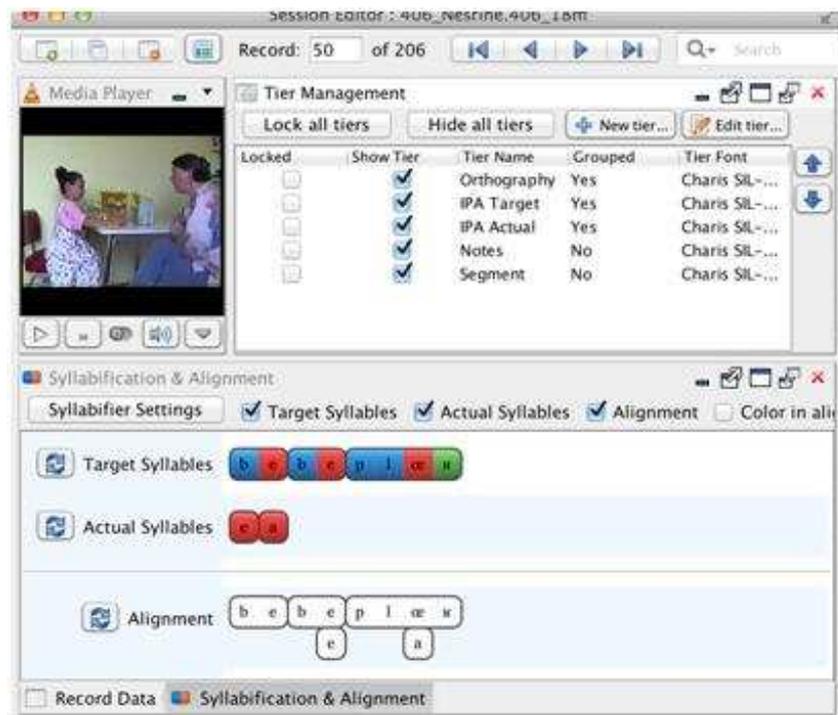


Figure 6 : Syllabification et alignement dans PHON

Les analyses PCC et PCV ainsi que l'analyse des types d'erreurs ont ensuite été réalisées pour chaque enfant en utilisant le logiciel Phon. La vérification des analyses a été faite manuellement par nous-même ainsi que par ma maître de mémoire.

Les données utilisées pour ce mémoire couvrent la période où des phénomènes d'omissions, de substitutions et d'ajout sont systématiquement attendus à 18 mois post-implantation. Les exemples présentés en annexe E ont été compilés en fonction de formes cibles classées en fonction de la forme des mots et de traits phonétiques selon le voisement, le mode d'articulation et le point d'articulation :

- Selon le voisement

10 sonores : |v| - |z| - |ʒ| - |b| - |d| - |g| - |l| - |r| - |m| - |n|.

6 sourdes : |f| - |s| - |ʃ| - |p| - |t| - |k|.

- Selon le point d'articulation

5 labiales : |p| - |b| - |m| - |f| - |v|.

6 dento-alvéolaires : |t| - |d| - |n| - |s| - |z| - |l|.

5 postérieures : |k| - |g| - |ʃ| - |ʒ| - |ʁ|.

- Selon le mode d'articulation

6 fricatives : |f| - |s| - |ʃ| - |v| - |z| - |ʒ|.

8 occlusives : |p| - |b| - |m| - |t| - |d| - |n| - |k| - |g|.

2 liquides : |ʁ| - |l|

- Selon la résonance :

2 nasales : |m| - |n|

14 orales : |p| - |b| - |f| - |v| - |t| - |d| - |l| - |s| - |z| - |k| - |g| - |ʃ| - |ʒ| - |ʁ|

d. Outils d'analyse statistique

Les tests statistiques ont été effectués grâce au logiciel d'analyse statistique JASP. Une analyse descriptive a d'abord été réalisée pour les 3 variables dépendantes PCC, PVC, et PGC, exposant les moyennes et écart-types à T1 et à T2. Des analyses de variance ont été réalisées avec le test ANOVA afin d'évaluer la significativité des effets des différents facteurs étudiés (âge d'implantation et utilisation du LPC) sur la précision phonologique.

II. Résultats

i. Résultats descriptifs

1. Répertoires phonétiques à T1

Le tableau 4 recense le nombre de phonèmes présents dans le phonétisme de chaque enfant à T1. En moyenne, l'ensemble du groupe a un phonétisme de 11 consonnes et de 12 voyelles. Ces résultats laissent apparaître deux enfants en difficulté. L'enfant 406 possède 4 consonnes et 5 voyelles ; l'enfant 409 possède 7 consonnes et 8 voyelles. Ces deux enfants semblent avoir un retard significatif dans l'acquisition des phonèmes par rapport aux autres enfants du corpus.

Tableau 4 : Relevé manuel du nombre de consonnes et de voyelles présentes pour chaque enfant à T1

Numéro du Participant	Nombre de consonnes présentes	Nombre de voyelles présentes	Total
101	12	14	26
106	10	10	20
213	13	12	25
303	12	15	27
401	12	14	26
402	9	10	19
405	12	8	20
406	4	5	9
407	15	15	30
408	13	15	28
409	7	8	15
410	11	12	23
411	15	16	31
412	10	11	21
413	9	9	18
Moyenne [min-max]	11 [4-15]	12 [5-16]	23 [9-31]

Nous avons ensuite observé les résultats obtenus pour l'ensemble du corpus afin de déterminer quels phonèmes étaient le moins produits parmi les 15 enfants étudiés (fig. 8).

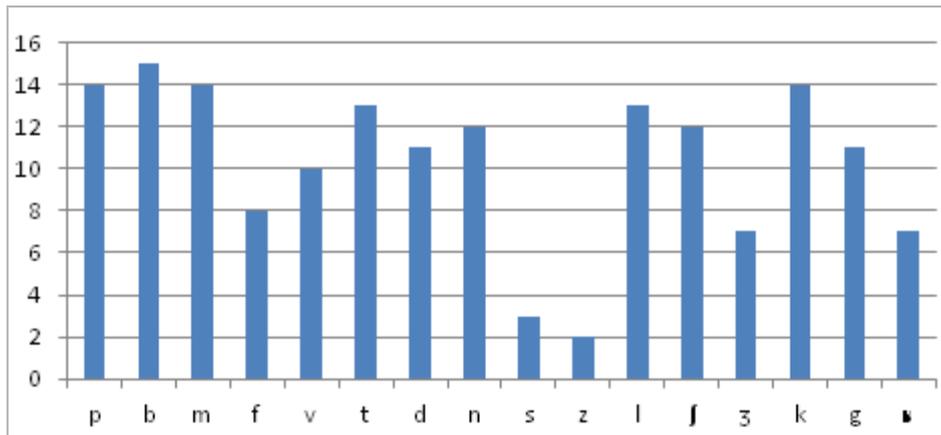


Figure 7 : Consonnes maîtrisées par l'ensemble de la population à T1 selon le relevé manuel

En ce qui concerne les consonnes, le /s/ et /z/ sont particulièrement peu maîtrisés (/s/ présent chez 2 enfants ; /z/ présent chez 1 enfant). Notons que pour 4 enfants (401, 402, 405 et 410), le /s/ était perçu comme indifférencié avec le /ch/. Il n'a donc pas été compté dans l'inventaire phonétique. La consonne /ʁ/ est également peu présente dans les répertoires phonétiques (/ʁ/ présent chez 7 enfants). Enfin, la réussite du son /ʒ/ ne concerne que 7 enfants. Toutefois, notons que ce phonème n'est pas fréquent et que pour 4 des 7 enfants concernés, aucun mot cible contenant le son /ʒ/ n'était présent dans les recueils réalisés.

2. Résultats de l'analyse par Phon à T1

A T1, les répertoires phonétiques ont été réalisés par une analyse perceptive (relevé manuel). Les mesures PCC et PVC ont été réalisées grâce au logiciel Phon et le relevé des erreurs de substitutions était également manuel à partir des extractions du logiciel (annexe E).

a. Précision phonologique (PCC et PVC)

Les mesures du PCC et du PVC à T1 ont été réalisées par le logiciel Phon (tab. 2).

Tableau 5 : Mesures du PCC et du PVC pour chaque enfant à T1

Numéro des participants	Nombre de consonnes produites / cibles	Nombre de voyelles produites / cibles	PCC (en %)	PVC (en %)
101	276/314	346/346	88	100
106	177/193	176/176	92	100
213	488/519	403/404	94	99
303	851/947	839/849	90	100
401	216/238	346/346	91	99
402	72/76	205/208	95	97
405	494/539	482/482	92	100
406	437/480	17/18	60	94
407	532/565	448/448	91	100
408	46/54	465/472	94	98
409	223/314	50/50	85	100
410	223/277	259/268	80	97
411	537/597	510/515	90	99
412	154/213	198/204	72	97
413	27/35	32/32	77	100
Moyenne			86%	99%
Ecart-type			10	2

En moyenne, le PVC est plus élevé que le PCC (99% contre 86%). L'écart-type est plus important pour le PCC (SD=10) que pour le PVC (SD=2) ce qui montre une grande variabilité en ce qui concerne la production des consonnes à T1. Les enfants les plus en difficulté sont 406 (PCC=60%), 412 (PCC=72%) et 413 (PCC=77%). En regard du tableau 4, on peut dire que l'enfant 406 est très en difficulté puisqu'elle a un phonétisme très peu développé (4 consonnes et 5 voyelles) et que sa précision sur ces phonèmes est faible. L'enfant 409, qui présente également un phonétisme réduit (7 consonnes et 8 voyelles), réalise quant à lui de

meilleurs scores en précision (PCC=85%). Les enfants 412 et 413 enfin, sont très peu précis et ont un phonétisme en-dessous de la moyenne avec 10 et 9 consonnes respectivement.

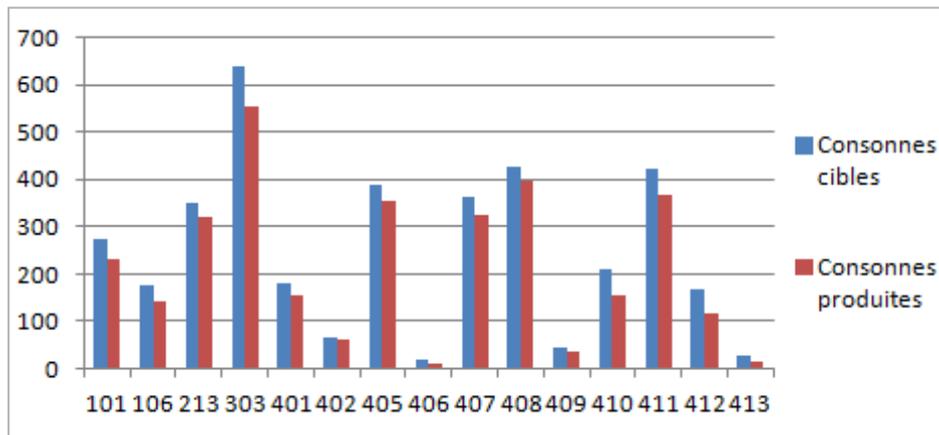


Figure 8 : Nombre de consonnes cibles et produites par enfant à T1

La figure 9 permet de visualiser les écarts importants en termes d'énoncés intelligibles produits. En effet, des enfants comme 402, 406, 409 et 413 produisent peu d'énoncés et un grand nombre de vocalisations inintelligibles qui n'ont pas pu être transcrites et donc analysées. Lorsqu'on compare ce graphique au tableau précédent, on remarque que deux des enfants ayant le moins bon PCC (406, 413), produisent aussi très peu d'énoncés, et donc peu de consonnes analysées. Toutefois, certains enfants produisant très peu de consonnes ont tout de même une bonne précision phonologique (402, 409).

b. Description des types d'erreurs

Les données utilisées pour ce mémoire couvrent la période où des phénomènes d'omissions, de substitutions et d'ajouts sont systématiquement attendus. Les résultats présentés ci-dessous sont compilés en fonction de formes cibles. Ces cibles sont classées en fonction de la forme des mots et des types de séquences de traits articulatoires (lieu et mode d'articulation) et de voisement.

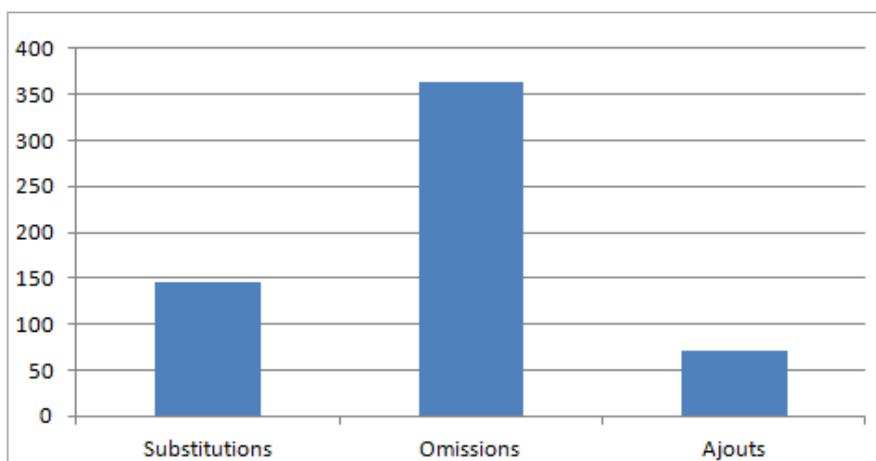


Figure 9 : Nombre d'erreurs phonologiques réparties selon leur type (substitutions, omissions, ajouts) à T1

A T1, aucun enfant n'obtient un PCC de 100%, ils produisent donc tous des erreurs phonologiques. La figure 10 montre qu'au sein de l'ensemble de la population, les omissions sont les plus nombreuses, suivies des substitutions et des ajouts. L'analyse détaillée des erreurs de substitutions est représentée en figure 11.

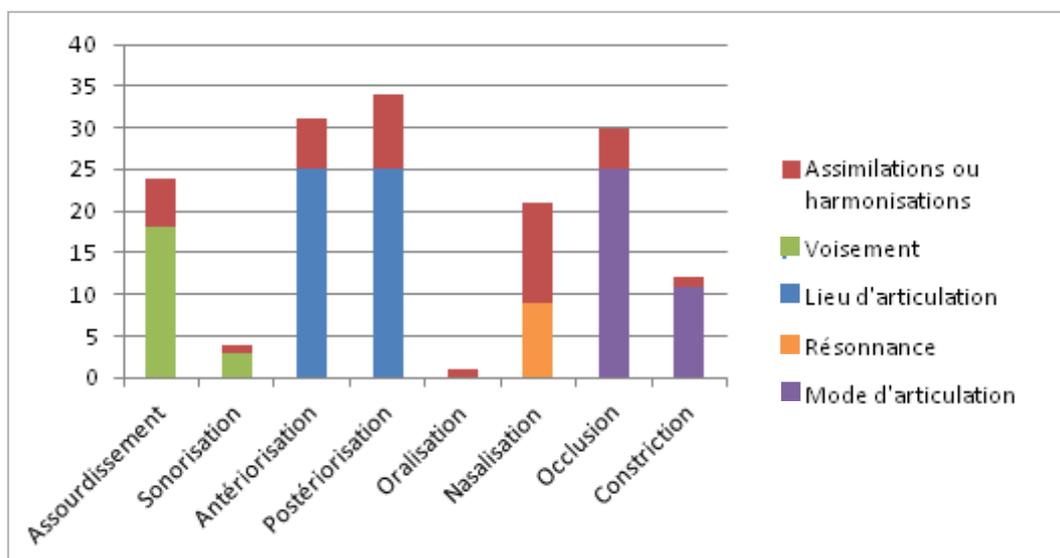


Figure 10 : Nombre d'erreurs de substitution réparties selon les traits articulatoires à T1

Les erreurs les plus fréquentes à T1 concernent majoritairement le lieu d'articulation avec des antériorisations (ex. seval pour cheval) et des postériorisations (ex. chermé pour fermé). On retrouve également de nombreuses occlusions (ex. chien pour chien) et des assourdissements (ex. chouer pour jouer). Notons que l'influence des autres phonèmes (phénomènes

d'assimilation et d'harmonisation) représente 22,3% des erreurs de substitutions. Les erreurs portant sur la résonance sont majoritairement réalisées dans ce cadre.

3. Résultats de l'analyse par Phon à T2

A T2, les données ont été traitées grâce à Phon afin d'examiner la précision phonologique et la production de la consonne /s/.

a. Précision phonologique (PCC et PVC)

Le PCC et le PVC de chaque enfant ont été mesurés avec Phon à T2.

Tableau 6 : Mesures du PCC et du PVC pour chaque enfant à T2

Numéro des participants	Nombre de consonnes produites / cibles	Nombre de voyelles produites / cibles	PCC (en %)	PVC (en %)
101	339/356	413/442	92	90
106	276/333	323/384	71	73
213	229/229	302/302	100	100
303	408/408	528/529	100	100
401	537/537	536/536	100	100
402	237/313	299/399	62	61
405	475/475	536/536	100	100
406	368/368	452/452	100	100
407	208/208	255/255	100	100
408	275/275	309/309	100	100
409	287/287	390/390	100	100
410	252/362	314/429	55	58
411	556/556	692/692	100	100
412	320/331	455/462	94	97
413	132/223	174/276	43	46
Moyenne			88%	88%
Ecart-type			20	19

A T2, 9 enfants sur 15 atteignent 100% en PCC et en PVC et 6 produisent encore des erreurs phonologiques. 3 enfants restent en grande difficulté au niveau de la précision phonologique (413, 410 et 402). Les écarts entre les scores les moins bons et les meilleurs sont très importants pour les PCC (SD=20%) comme pour les PVC (SD=19%). Les moyennes des PCC et des PVC sont égales (M=88%).

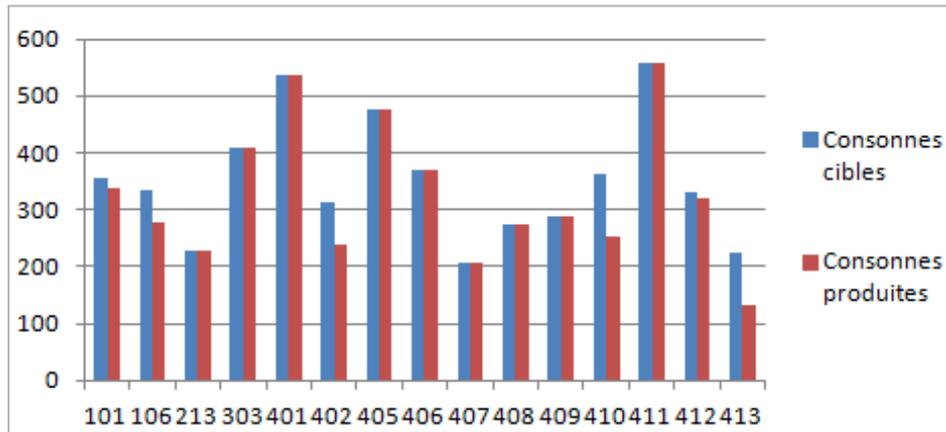


Figure 11 : Nombre de consonnes cibles et produites par enfant à T2

La figure 12 permet d’observer que le nombre de consonnes reste faible chez certains enfants (213, 407, 413). Ce faible taux de consonnes peut montrer un discours pauvre ou un certain nombre de mots inintelligibles et donc non transcrits.

b. Description des types d’erreurs

Sur l’ensemble de la population à T2, les erreurs phonologiques persistent chez 6 enfants. Il s’agit en très grande majorité d’omissions ainsi que de quelques substitutions (fig. 13).

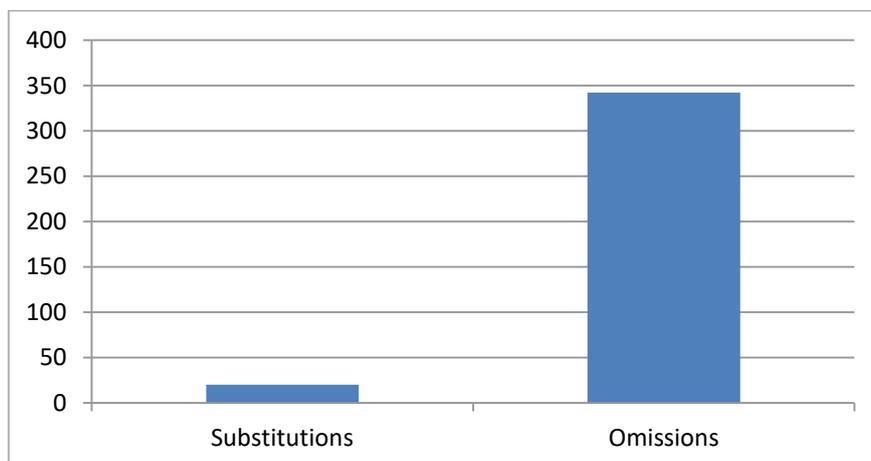


Figure 12 : Nombre d’erreurs phonologiques réparties selon leur type (substitutions, omissions, ajouts) à T2

c. Réussite de la consonne /s/

Nous avons analysé le taux de réussite de la consonne /s/ à T2.

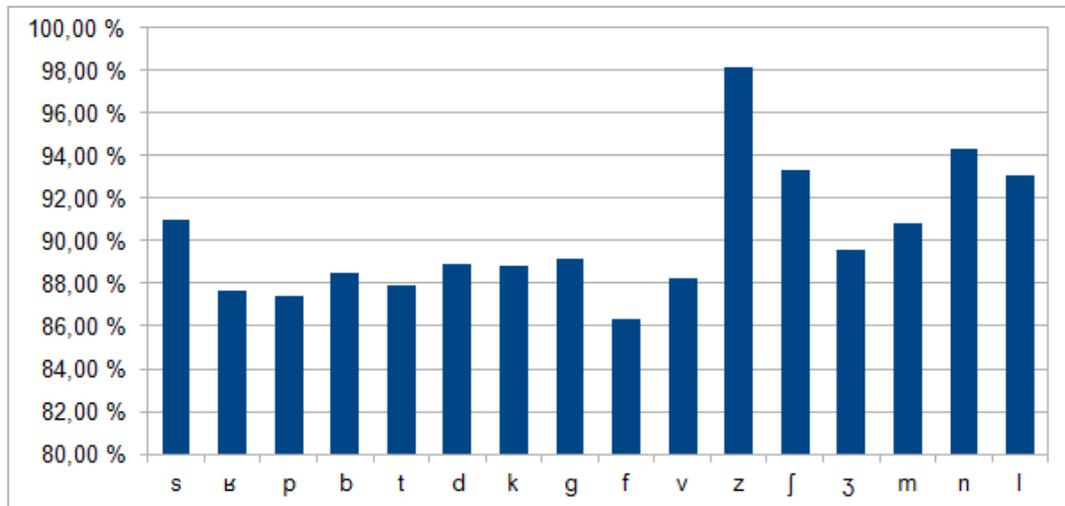


Figure 13 : Pourcentage moyen de production correcte par consonne à T2

A T2, le pourcentage moyen de production correcte de la consonne /s/ (nombre de /s/ produits / nombre de /s/ cibles) de l'ensemble de la population est de 91% (fig. 14). Par rapport aux autres consonnes, le /s/ semble bien produit.

Nous avons ensuite comparé le taux de réussite de la consonne /s/ entre T1 et T2 (fig. 15).

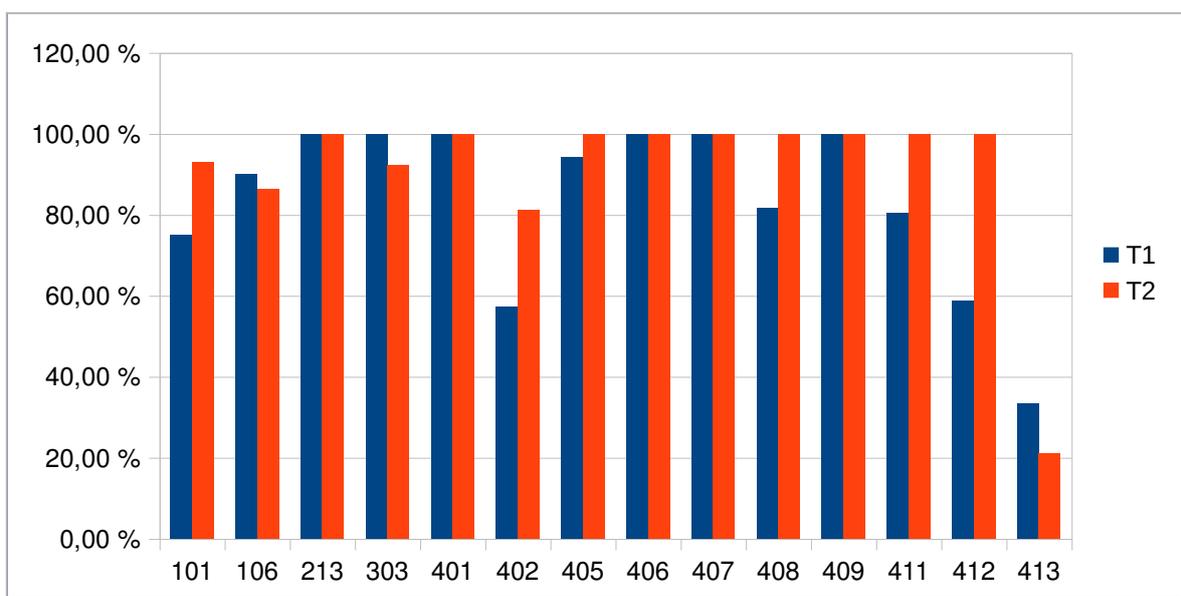


Figure 14 : Pourcentage de réussite de la consonne /s/ par enfant à T1 et T2

L'évolution entre T1 et T2 de la précision du /s/ est positive pour 6 enfants sur 15. Notons que la consonne /s/ à 18 mois est présente chez tous les sujets selon l'analyse du logiciel Phon. Ces résultats diffèrent du relevé manuel puisque l'analyse par Phon ne tient pas compte des altérations acoustiques qui rendent le /s/ souvent indistinct voire inintelligible.

A T2, 5 enfants sur 15 font encore des erreurs sur le /s/ (101, 106, 303, 402 et 413). Cependant, à l'écoute, on peut noter des altérations acoustiques du /s/, créant ainsi des sigmatismes chez certains enfants.

4. Monographies

Nous avons choisi de réaliser les monographies d'un enfant ayant de très bons PCC à 18 mois et à 10 ans post-implant (enfants 213), et d'un autre celui ayant des PCC très faibles (413), afin de décrire leur évolution entre T1 et T2.

Enfant 213 :

- Prénom : E.
- Déficience auditive : déficience auditive profonde de type III
- Sexe : fille
- Age d'implantation : 38 mois
- Mode de communication : oral uniquement (sans LPC)
- Milieu socio-économique : moyen
- Age chronologique :
 - 18 mois post-implant (T1) : 3;4 ans
 - 10 ans post-implant (T2) : 13 ans

A T1, E. produit des énoncés relativement courts. Il s'agit à la fois d'énoncés mot-phrase avec une seule occurrence (ex. « chaise » pour « je veux la chaise » ; « dormir » pour « il va dormir ») et d'énoncés combinant deux ou trois mots. On observe de nombreuses omissions de clitiques tels que les pronoms, les déterminants et les auxiliaires (ex. « ça est owai » pour « ça c'est orange » ; « oh to dan » pour « oh il est trop grand » ; « donne pain » pour « je leur donne du pain » ; « nête fermée » pour « la fenêtre est fermée » ; « regarde nuit pour regarde c'est la nuit »). Les déterminants sont présents par intermittence et parfois tronqués (ex. « a tame » pour « la table »). A T2, la parole est intelligible. En revanche, E. produit des phrases syntaxiquement pauvres. Le système anaphorique des pronoms est peu utilisé ce qui induit un

certain nombre de répétitions au sein du discours. Les articles sont quasiment systématiquement utilisés devant les noms et ne sont pas tronqués. Un extrait des productions d'E. est consultable en annexe F.

La figure 16 permet d'observer que dès T1, le répertoire phonétique d'E. est complet. Il est toutefois marqué par une forte présence du /m/ et du /n/ qui sont le reflet d'erreurs phonologiques de substitution (ex. « nomi » pour « dormir », « tame » pour « table »).

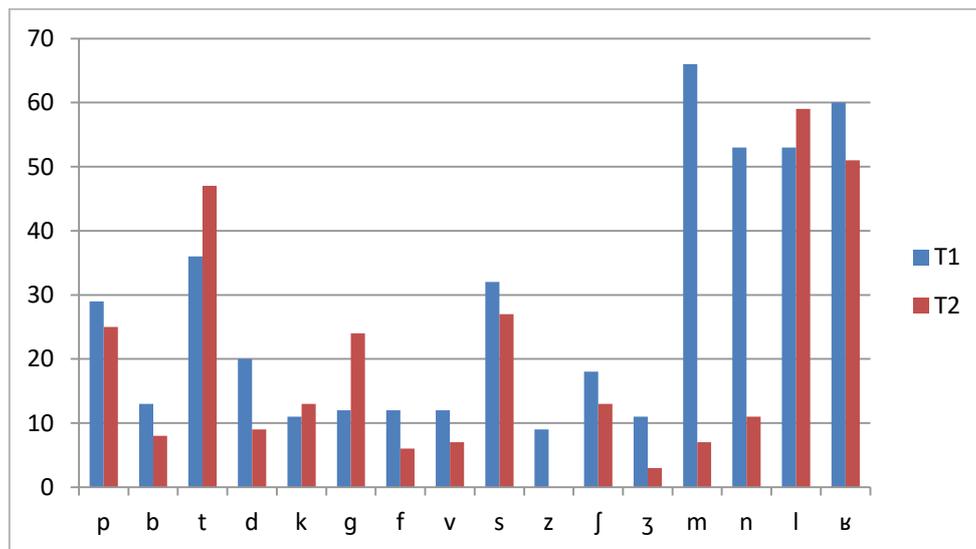


Figure 15 : Nombre de consonnes produites à T1 et T2, enfant 213

La figure 17 est un relevé des types d'erreurs phonologiques à T1 et T2.

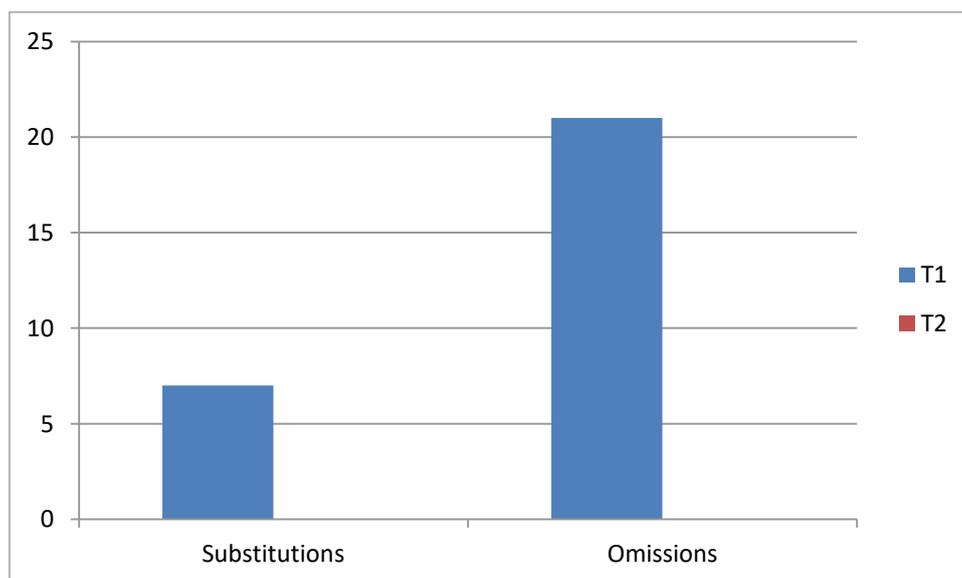


Figure 16 : Nombre d'erreurs phonologiques à T1 et T2, enfant 213

Les erreurs phonologiques relevées à T1 sont très majoritairement des omissions de phonèmes. Elles restent toutefois peu nombreuses (<5% des productions de consonnes). Les substitutions observées, sont dans la plupart des cas réalisées dans le cadre d'harmonisations consonantiques (ex. « nomi » pour « dormir »). Ces erreurs phonologiques disparaissent complètement à T2, ce qui explique le PCC élevé.

Le tableau 7 permet d'observer quantitativement le niveau phonologique en lien avec le niveau lexical.

Tableau 7 : Mesures quantitatives aux niveaux phonologique et lexical, enfant 213

	Mesures	T1	T2
Mesures phonologiques	PCC	91,92	100
	Moyenne PMLU cibles	4,15	4,17
	Moyenne PMLU produits	3,94	4,17
Mesures lexicales	Occurrence	358	238
	Type d'occurrence	109	81
	Ratio	0.30	0.34

Au niveau de la précision phonémique à T1, le PCC est de 91,92% et la moyenne des PMLU cibles est de 4,15. Cette donnée reflète le fait qu'E. produise plutôt des erreurs phonologiques de type omission. Les phonèmes qu'elle prononce sont donc globalement conformes aux cibles attendues. Au niveau du mot, le ratio type d'occurrence / occurrence montre qu'elle utilise souvent les mêmes mots. A T2, le PCC est de 100%, et la moyenne des PMLU cibles atteint 4,17. La production d'occurrences reste faible ce qui peut montrer un vocabulaire pauvre ou un discours peu spontané.

Enfant 413 :

- Prénom : T.
- Déficience auditive : déficience auditive profonde de type III
- Sexe : garçon
- Age d'implantation : 38 mois

- Mode de communication : LPC + LSF
- Milieu socio-économique : moyen
- Age chronologique :
 - 18 mois post-implant (T1) : 3;5 ans
 - 10 ans post-implant (T2) : 11;7 ans

A T1, T. produit de nombreuses occurrences inintelligibles. Il s'agit de vocalises avec parfois un semblant d'articulation de consonnes qui participent à la communication puisque l'interlocuteur réagit et/ou tente de les interpréter. Les énoncés intelligibles sont souvent des énoncés de un mot (ex. « papa », « dodo », « donne ») ou des expressions (ex. « il est là »).

A T2, la parole de T. est caractérisée par des omissions qui concernent majoritairement les mots lexicaux (ex. « gardent » pour « regardent », « garç » pour « garçon », « renouille » pour « grenouille »). T. produit des articles et quelques pronoms mais le système anaphorique des pronoms semble pauvre. Par exemple, il favorise la réutilisation du groupe nominal « le garçon » en début de phrases au lieu d'utiliser « il ». Par ailleurs, ses phrases sont peu reliées par des connecteurs. Enfin, son intelligibilité est toujours entravée puisqu'un certain nombre d'occurrences n'ont pas pu être transcrites. L'extrait des productions de T. est consultable en annexe G.

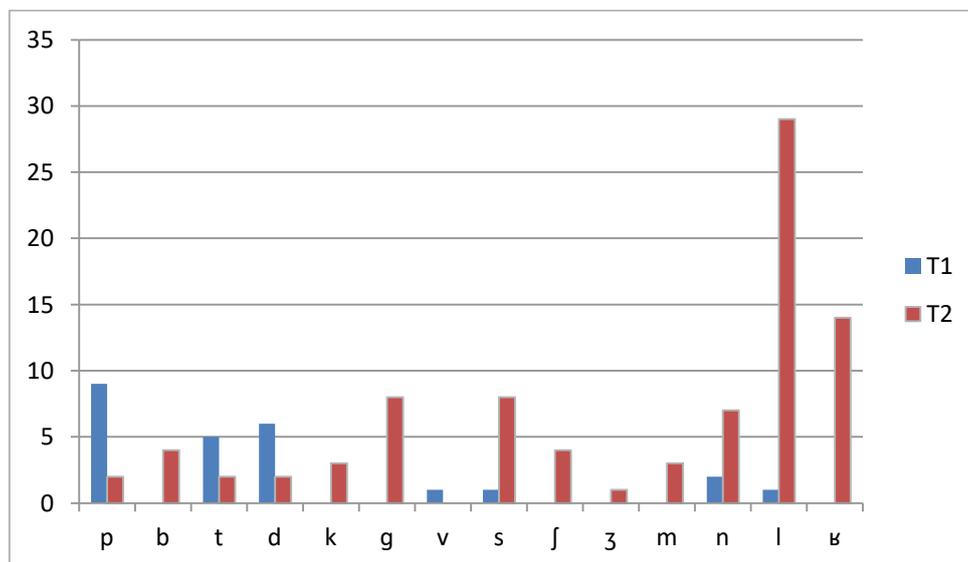


Figure 17 : Nombre de consonnes produites à T1 et T2, enfant 413

La figure 18 permet d'observer que le répertoire phonétique à 18 mois post-implant est uniquement composé des phonèmes /p/, /t/, /d/, /v/, /s/, /n/ et /l/. On observe donc une quasi-

absence des phonèmes voisés et une absence de phonèmes postérieurs. A T2, le répertoire phonétique est complet.

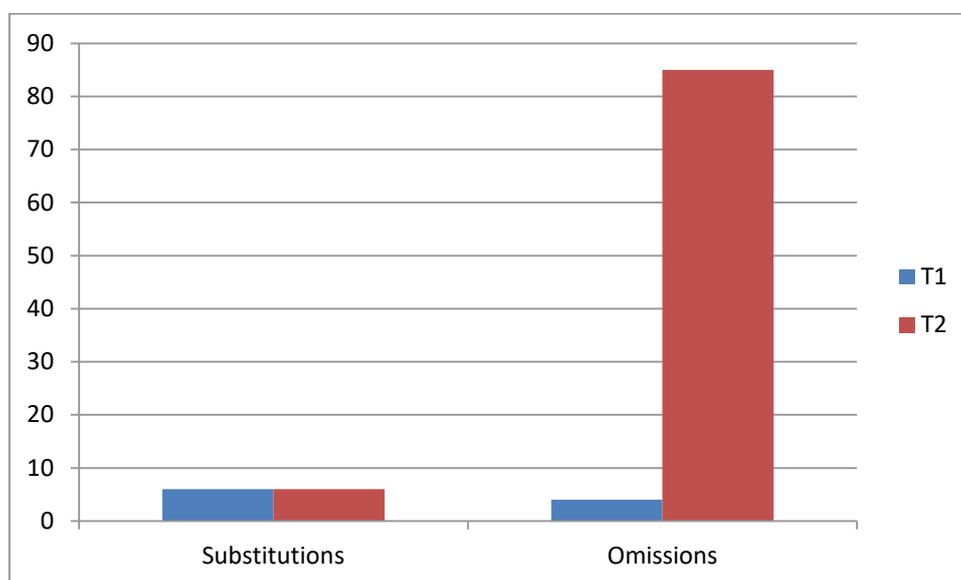


Figure 18 : Nombre d'erreurs phonologiques à T1 et T2, enfant 413

A T1, sur l'ensemble des énoncés intelligibles, 16 consonnes sont correctement produites sur 26 attendues. La figure 19 montre que les erreurs phonologiques produites sont essentiellement des omissions et des substitutions (notamment des occlusions). Notons également que la grande majorité des énoncés est inintelligible et n'a donc pas pu être transcrite. A T2, les occurrences inintelligibles sont toujours présentes mais en quantité moindre. On observe encore de nombreuses omissions de consonnes.

Tableau 8 : Mesures quantitatives aux niveaux phonologique et lexical, enfant 413

	Mesures	T1	T2
Mesures phonologiques	PCC	60	43
	Moyenne PMLU cibles	1,97	4,10
	Moyenne PMLU produits	1,70	1,23
Mesures lexicales	Occurrence	79	240
	Type d'occurrence	26	77
	Ratio	0.33	0.32

Le tableau 8 permet de mettre en lien les niveaux phonologique et lexical. Au niveau de la précision phonologique à T1, le PCC est de 60% et la moyenne des PMLU cibles est de 4,10. T. ne produit que 76 occurrences intelligibles sur toute la durée de l'enregistrement. A T2 en revanche, le PCC est de 43 ce qui est très faible en comparaison de notre population. Il produit 240 occurrences intelligibles. Au niveau du lexique, le ratio type d'occurrence / occurrence est faible et varie peu entre T1 et T2. Cela montre que T. utilise souvent les mêmes mots.

ii. Analyses prédictives

1. Mesures utilisées

L'étude prédictive a été réalisée sur les variables PCC et PVC à T1 et à T2 ainsi que sur la variable PGC (pourcentage des groupes consonantiques corrects). Ces variables permettent de caractériser la précision phonologique en production. Les analyses ont été réalisées sur la population initiale à laquelle nous avons choisi d'enlever les données les plus extrêmes (410 et 413) afin d'obtenir des résultats plus cohérents.

2. Statistiques descriptives

Les statistiques ont été réalisées sur les mesures PCC, PVC et PGC sur les deux sessions, T1 et T2.

Tableau 9 : Statistiques descriptives des PCC, PVC et PGC à T1 et T2

	PCC		PVC		PGC	
	18m	10a	18m	10a	18m	10a
Moyenne	79.93	90.17	88.59	90.49	63.74	89.50
Ecart-types	12.35	17.99	8.615	17.48	20.10	19.11
Minimum	50.00	43.42	66.67	46.40	0.000	42.41
Maximum	93.19	100.0	99.26	100.0	82.84	100.0

3. Effet des facteurs explicatifs sur les variables dépendantes (PCC, PVC, PGC)

Afin de d'étudier le caractère prédictif de l'âge d'implantation cochléaire (AIC), et du LPC au cours des deux sessions (T1 et T2), nous avons réalisé des analyses ANOVA.

Analyse des PCC

Dans un premier temps, nous avons analysé l'effet des facteurs explicatifs pour le PCC (tab. 10).

Tableau 10 : Analyse ANOVA des effets de session, AIC et LPC sur le PCC

ANOVA - PCC

Variables	Somme des carrés	df	Moyenne F	p
LPC	11.044	1.000e +0	11.04	0.169 0.692
session	336.870	1.000e +0	336.87	5.148 0.053
AIC	1547.296	8	193.41	2.955 0.073
LPC * session	170.829	1.000e +0	170.83	2.610 0.145
LPC * AIC	606.756	1.000e +0	606.76	9.272 0.016
session * AIC	1949.437	8	243.68	3.724 0.041
LPC * session * AIC	0.000	0		

- Le groupe des enfants avec LPC (M=89%, SD=14) n'a pas, en moyenne, un PCC significativement plus élevé que le groupe des enfants sans LPC (M=86%, SD=11), $F(1,8)=0.17$, $p=0.69$.
- La moyenne du PCC à 18 mois post-implant (M=82%, SD=12) n'est pas significativement plus faible que celle à 10 ans post-implant (M=94%, SD=12), $F(1,8)=5.15$, $p=0.053$.

- L'âge d'implantation n'impacte pas significativement le PCC, $F(1,8)=2,95$, $p=0,07$. Les enfants implantés précocement, avant 40 mois ($M=93\%$; $SD=3$) n'ont pas un PCC plus élevé que les enfants implantés plus tardivement ($M=82\%$; $SD=9$).
- Le groupe avec LPC n'a pas significativement de meilleure évolution entre la session 1 et 2 ($M=14\%$; $SD=19$) que le groupe sans LPC ($M=4\%$, $SD=8$), $F(1,8)=2,61$, $p=0,14$.
- L'âge d'implantation a un effet significatif sur l'évolution du PCC au cours des sessions 1 et 2, $F(1,8)=3,72$, $p=0,041^*$. Les enfants implantés précocement ($M=12\%$; $SD=4$) ont une meilleure évolution du PCC que les enfants implantés tardivement ($M=11\%$; $SD=27$).
- L'interaction entre le LPC et l'âge d'implantation a un effet significatif sur le PCC. Le groupe d'enfants implantés précocement et ayant bénéficié du LPC ($M=93\%$; $SD=2$) ont un PCC moyen meilleur que les autres enfants des trois autres groupes (voir figure 20), $F(1,8)=9,27$, $p=0,016^*$.

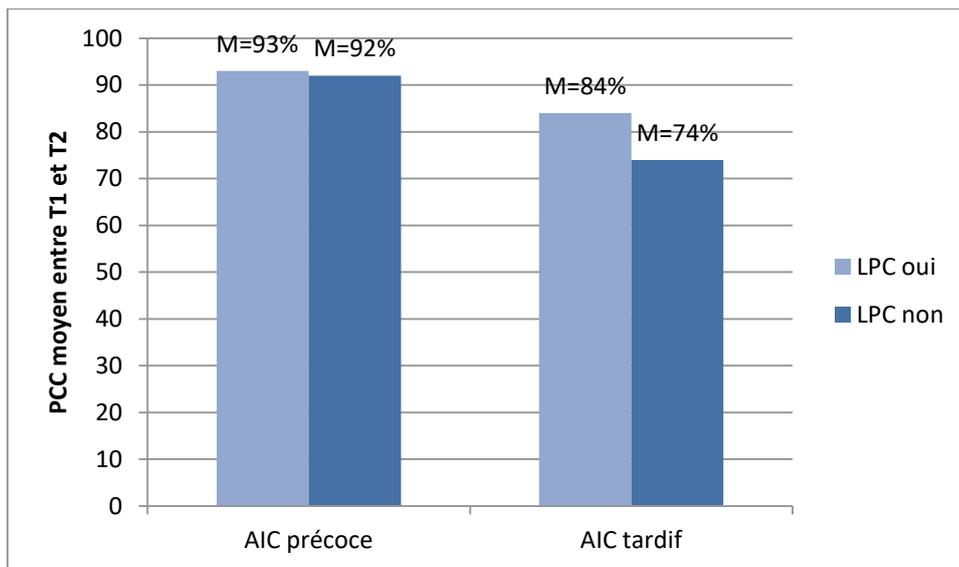


Figure 19 : Répartition en 4 sous-groupes en fonction du PCC

Analyse des PVC

Nous avons également analysé les facteurs explicatifs concernant le PVC (tab. 11).

Tableau 11 : Analyse ANOVA des effets de session, AIC et LPC sur le PVC

ANOVA - PVC

Variables	Somme des carrés	df	Moyenne	F	p
LPC	10.556	1.000e +0	10.56	0.289	0.606
session	107.795	1.000e +0	107.79	2.950	0.124
AIC	965.668	8	120.71	3.304	0.055
LPC * session	374.798	1.000e +0	374.80	10.257	0.013
LPC * AIC	204.673	1.000e +0	204.67	5.601	0.045
session * AIC	2312.663	8	289.08	7.912	0.004
LPC * session * AIC	0.000	0			

- Le groupe avec LPC (M=92% ; SD=7) n'a pas, en moyenne, un PVC significativement plus élevé que le groupe sans LPC (M=90% ; SD=9), $F(1,8)=0,289$, $p=0,61$.
- Le PVC n'est pas, en moyenne, significativement plus important à la session 2 (M=94% ; SD=13) qu'à la session 1 (M=89% ; SD=9%), $F(1,8)=2,95$, $p=0,12$.
- L'âge d'implantation cochléaire n'a pas d'effet sur le PVC, les enfants implantés plus tôt n'ont pas en moyenne (M=96% ; SD=3) un PVC significativement plus élevé que ceux implantés plus tard (M=87% ; SD=8), $F(1,8)=3,30$, $p=0,05$.
- Il existe un effet significatif de l'utilisation du LPC sur l'évolution du PVC au cours des sessions 1 et 2. Les sujets avec LPC ont une évolution meilleure (M=8% ; SD=18) que les sujets sans LPC (M=-5% ; SD=9), $F(1,8)=10,25$, $p=0,01^*$.
- Il existe également un effet de l'âge d'implantation. Les sujets ayant été implantés précocement ont une meilleure évolution (M=6% ; SD=5) que les sujets ayant été implantés tardivement (M=3% ; SD=25), $F(1,8)=7,91$, $p=0,004^{**}$.
- L'interaction entre le LPC et l'âge d'implantation a un effet significatif sur le PVC. Le groupe d'enfants implantés précocement et ayant bénéficié du LPC (M=96% ; SD=2) ont un PVC moyen meilleur que les autres enfants des trois autres groupes (voir fig. 21), $F(1,8)=9,27$, $p=0,016^*$.

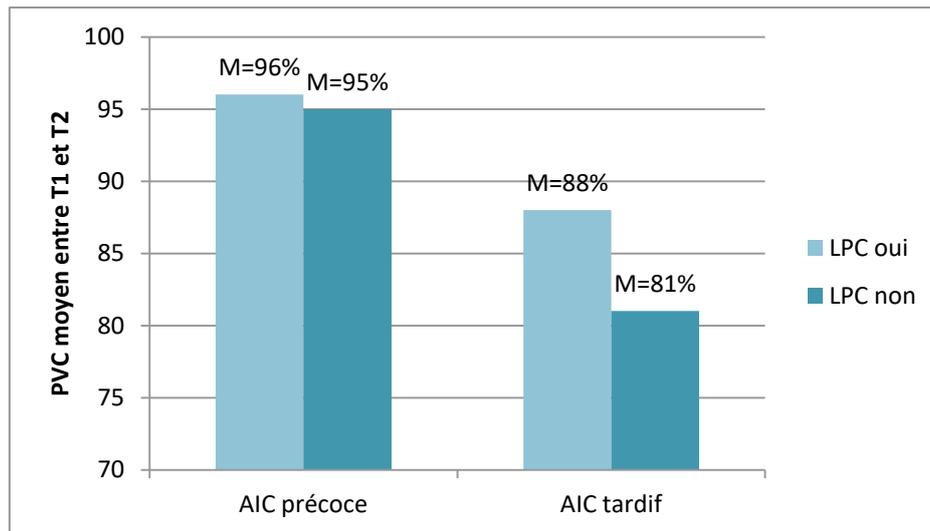


Figure 20 : Répartition en 4 sous-groupes en fonction du PVC

Analyse des PGC

Enfin, les analyses statistiques sur la mesure du PGC ont été réalisées (tab. 12).

Tableau 12 : Analyse ANOVA des effets de session, AIC et LPC sur le PGC

ANOVA - PGC

Variables	somme des carrés	df	Moyenne F	p
LPC	81.098	1.000e +0	81.10	0.233 0.642
session	1898.560	1.000e +0	1898.56	5.455 0.048
AIC	2417.062	8	302.13	0.868 0.577
LPC * session	229.628	1.000e +0	229.63	0.660 0.440
LPC * AIC	180.100	1.000e +0	180.10	0.517 0.492
session * AIC	2651.702	8	331.46	0.952 0.527
LPC * session * AIC	0.000	0		
Residual	2784.526	8	348.07	

- Le groupe des enfants avec LPC (M=76% ; SD=22) n'a pas, en moyenne, un PGC significativement plus élevé que le groupe sans LPC (M=74% ; SD=15), $F(1,8)=0,23$, $p=0,64$.

- Le PGC augmente significativement entre la session 1 (M=66% ; SD=13) et la session 2 (M=85% ; SD=21), $F(1,8)=5,45$, $p=0,048^*$.
- L'âge d'implantation cochléaire (M=38% ; SD=12) n'influence pas le PGC, $F(1,8)=0,87$, $p=0,58$.
- Le groupe d'enfants avec LPC n'a pas en moyenne une meilleure évolution du PGC entre T1 et T2 (M=15% ; SD=7) que le groupe sans LPC (M=32% ; SD=26), $F(1,8)=0,66$, $p=0,44$.
- L'interaction entre le LPC et l'AIC n'influence pas le PGC, $F(1,8)=0,52$, $p=0,49$.
- L'âge d'implantation n'influence pas l'évolution du PGC entre T1 et T2, $F(1,8)=0,95$, $p=0,52$.

DISCUSSION

I. Rappel des objectifs de la recherche

Notre étude avait comme objectif l'analyse longitudinale des aspects phonologiques de la parole d'enfants sourds implantés cochléaires afin de déterminer des prédicteurs. Des indices de précision phonologique ont été examinés à 18 mois post-implant et à 10 ans post-implant et ont été croisés avec 2 autres variables : le mode de communication et l'âge d'implantation. A terme, cette étude pourrait participer à la construction de trajectoires développementales qui serviraient à l'évaluation du langage oral de l'enfant sourd implanté cochléaire en orthophonie.

II. Interprétation des résultats

- a) Nous nous attendions à ce que la consonne sourde coronale /s/ soit soumise à plus d'erreurs. En effet, il a été remarqué dans la littérature une difficulté pour les enfants implantés à percevoir les hautes fréquences (Neumeyer & al, 2015). De ce fait, ces enfants semblent adopter une stratégie singulière qui rendrait les phonèmes /s/ et /ʃ/ difficilement distinctifs.

Le relevé par Phon révèle que le phonème /s/ est présent chez tous les enfants de notre étude à 18 mois post-implant. Cette précocité notable dans l'acquisition des sibilantes rejoint les résultats de plusieurs autres études suggérant que l'apparition des sibilantes se fait plus tôt dans le développement de la parole des enfants implantés cochléaires que chez des enfants normo-entendants de même âge d'expérience auditive (Bouchard & al., 2007 ; Spencer & al., 2013). Cependant, lors de l'analyse perceptive, la consonne /s/ nous est apparue comme correctement produite par 3 enfants sur 15 seulement. En effet, de nombreuses distorsions affectent la production du /s/ ce qui le rend peu intelligible. Pour 5 des enfants, les phonèmes /s/ et /ʃ/ n'ont pas été perçus comme différenciables à l'oreille ce qui rejoint les résultats de l'étude de Neumeyer et al. (2015).

A 10 ans post-implant, 5 enfants produisent encore des erreurs phonologiques sur la consonne /s/. Sur l'ensemble de la population, le /s/ est correctement produit à 91%. Cependant, certains enfants présentent des sigmatismes qui n'ont pas été analysés objectivement. Il serait donc intéressant de poursuivre l'étude avec une analyse spectrale et de la comparer aux données recueillies à 18 mois post-implant.

Ces difficultés de distinction entre les sibilantes /ʃ/ et /s/ et de précision articulaire sur le /s/ pourraient trouver une explication dans le contrôle moteur de la production de la parole selon Moreno-Torres et al. (2014). En effet, d'après le modèle DIVA de la production de la parole, l'apprentissage et le contrôle de la production des différents phonèmes est permis grâce à un système de rétrocontrôle. Ce système compare les productions articulaires à des « cibles de paroles » stockées dans des régions frontales gauches (aire de Broca, aire de Brodmann 44, cortex prémoteur ventral). Ces cibles de paroles sont apprises grâce à la perception d'informations auditives et somatosensorielles (i. e. l'expérience du babillage). D'après Perkell (2012), les cibles de paroles des voyelles sont majoritairement constituées d'informations auditives tandis que les consonnes sont essentiellement constituées d'informations somatosensorielles. Cependant, les sibilantes font exception, relevant autant du domaine auditif que somatosensoriel. Par conséquent, l'implant fournirait les informations acoustiques nécessaires à la production des voyelles et des sibilantes de manière précoce par rapport aux autres consonnes. Toutefois, la qualité du signal transmis pourrait causer des difficultés de perception catégorielle entre le /ʃ/ et le /s/, ainsi que des distorsions sur l'articulation du /s/. Les erreurs phonologiques et articulaires portant sur le /s/ pourraient donc s'expliquer de la sorte.

- b) *Nous faisons l'hypothèse que des erreurs phonologiques seront présentes à 18 mois post-implant et persisteront à 10 ans post-implant, avec notamment des omissions et des substitutions, correspondant aux morphèmes les moins saillants du discours au niveau prosodique (Le Normand & al, 2015).*

A 18 mois post-implant, les erreurs phonologiques sont majoritairement des omissions et des substitutions comme attendu à cet âge d'expérience auditive. Notons que l'enfant 413, décrit dans la monographie, a un PCC très faible et réalise plus d'erreurs de substitutions que d'omissions. Une proportion élevée d'erreurs de substitutions par rapport aux omissions pourrait alors marquer de plus faibles compétences phonologiques.

Par rapport au développement typique de l'enfant de 2 ans, les types d'erreurs de substitutions sont majoritairement semblables : omissions de consonnes, occlusions, assourdissements, antériorisations, harmonisations consonantiques (Vinter, 2001). On observe toutefois un grand nombre d'erreurs de lieu d'articulation ce qui rejoint les résultats de plusieurs études (Moreno-Torres & al. 2014 ; Medina & al., 2009). Il serait intéressant d'observer plus en détails la position syllabique de ces erreurs afin de les mettre en lien avec la composante hiérarchique prosodique de la parole.

A 10 ans post-implant, les erreurs phonologiques persistent chez 6 enfants sur les 15 observés. Ces erreurs sont en très grande majorité des omissions de consonnes (342 omissions relevées contre 20 substitutions) ce qui rejoint les résultats de Le Normand et al. (2015). Selon les auteurs, il s'agirait des éléments les moins marqués au niveau prosodique : marques du genre, flexions verbales, verbes prépositionnels et omissions dans le cadre de mots bisyllabiques. Nous n'avons toutefois pas eu le temps d'investiguer ces aspects. Il serait donc intéressant de poursuivre l'étude au niveau morphosyntaxique afin de confirmer de tels résultats sur notre population et d'en dégager des facteurs prédictifs.

c) Parmi les deux facteurs examinés pour cette étude, nous supposons que le facteur *biologique 'âge d'implantation' sera moins prédictif que le facteur 'mode de communication' sur la phonologie* (Bouchard & al., 2007).

- Effet de la session :

L'effet de session n'est significatif que sur le PGC. Cela pourrait être interprété par le fait que le PGC à 18 mois est normalement très faible. A cet âge, qu'il soit chronologique ou d'expérience auditive, il est normal de trouver des erreurs sur les groupes consonantiques. L'évolution sur 10 ans est donc positive et significative.

- Effet du LPC :

Le mode de communication par LPC n'a pas montré d'effet significatif direct sur les indices PCC, PVC et PGC lors de chaque session. En revanche, on trouve un effet significatif sur l'évolution entre les sessions pour la variable PVC ($p=0,013^*$). Ces résultats ne vont pas dans le sens de plusieurs études qui montrent un effet positif de l'utilisation du LPC sur les performances en précision phonologiques et sur son évolution (Leybaert, 2000 ; Bouchard & al., 2007). Ils sont à nuancer d'un point de vue méthodologique car la distribution entre les groupes n'était pas équilibrée (groupe avec LPC, $n=10$; groupe sans LPC, $n=3$).

- Effet de l'âge d'implantation cochléaire :

Dans la littérature, l'importance de la précocité de l'âge d'implantation est largement décrite (Peterson & al., 2010). En effet, la période sensible pour le développement du cortex auditif semble être inférieure à 3 ans 6 mois d'âge (Sharma & al., 2002). Plusieurs études portant sur l'analyse globale du langage oral chez les enfants implantés cochléaires montrent un effet prédictif de l'âge d'implantation cochléaire (Tomblin & al., 2005 ; Geers & al., 2009). Cependant, certaines autres mettent en avant d'autres facteurs comme le mode de communication comme celles de Bouchard et al. (2007) ou de Le Normand et al. (2015). Dans le cadre de notre étude, l'âge d'implantation cochléaire n'a pas eu d'effet significatif sur les mesures de précision phonémique à chaque session prise isolément. Cependant, on observe un effet significatif sur l'évolution du PCC ($p=0,04^*$) et du PVC ($p=0,004^{**}$) entre la session à 18 mois et la session à 10 ans d'implantation. Par rapport aux études précédemment citées, notre étude montre donc un effet de l'âge d'implantation non pas sur la comparaison des sujets entre eux à un instant t, mais sur l'évolution des compétences phonologiques à long terme.

L'effet de l'âge d'implantation est par ailleurs plus significatif que celui du mode de communication pour la variable PVC et est présent sur deux des variables observées. L'âge d'implantation cochléaire serait donc un meilleur prédicteur que le mode de communication sur les performances en production phonologique à long terme. Nos résultats suggèrent l'importance de la plasticité cérébrale bien que l'ensemble de notre population et ce, même si les participants ont été implantés tardivement. En effet, la moyenne de l'âge d'implantation des enfants de notre étude varie de 22 à 60 mois, tandis qu'aujourd'hui, les implantations sont souvent réalisées dès la première année de vie (Peterson & al., 2010).

Enfin, il est important de noter qu'une forte variabilité interindividuelle marque l'évolution de la précision phonologique du groupe d'enfants implantés tardivement. Par exemple, l'évolution moyenne du PCC des groupes AIC précoce et AIC tardif est respectivement de 12% et 11%. En revanche, l'écart-type du groupe AIC tardif est de 27 contre 4 pour le groupe AIC précoce. Cette grande variabilité interindividuelle a également été retrouvée dans de nombreuses études portant sur le développement langagier des enfants implantés cochléaires (Peterson & al., 2010).

- Effet de l'interaction entre l'utilisation du LPC et la précocité de l'implantation cochléaire :

L'interaction entre une utilisation du LPC et un âge d'implantation précoce a montré un effet significatif sur l'évolution des PCC ($p=0,016^*$) et des PVC ($p=0,045^*$) entre les deux sessions. Ce résultat va dans le sens des études de Bouchard et al. (2007) et de Le Normand et al. (2015) qui suggèrent que l'utilisation du LPC influence positivement l'évolution phonologique et morphosyntaxique du langage des enfants implantés cochléaires, et serait même un facteur prédictif plus fort que l'âge d'implantation cochléaire. Dans notre étude, l'effet de l'interaction entre AIC précoce et utilisation du LPC sur le PCC est plus important que l'effet d'AIC seul. Ces résultats suggèrent donc l'importance de la combinaison de ces deux facteurs. Le LPC pourrait donc avoir un effet catalyseur sur la plasticité cérébrale en association avec un âge d'implantation précoce, augmentant ainsi les compétences segmentales. Selon Hickok et al. (2004), le traitement de la parole au niveau segmental est supporté par la voie dorsale. De ce fait, de faibles performances au niveau du traitement phonologique seraient donc l'expression d'une voie dorsale déficitaire. L'aide à la segmentation que représente le LPC pourrait alors permettre un renforcement de la voie dorsale, support de l'intégration auditivo-motrice. Aidés par cet outil de perception catégorielle, les enfants utilisant le LPC pourraient donc avoir un meilleur rétrocontrôle au sein de leur système de contrôle moteur de la parole. Cela augmenterait alors leurs performances phonologiques.

Par ailleurs, la monographie de l'enfant 213 montre qu'à T2, la parole est phonologiquement précise (PCC=100%) tandis que le discours reste pauvre au niveau du lexique et de la syntaxe. Or, cette enfant a été implantée précocement mais n'a pas reçu de communication avec LPC. On peut donc penser que son score en PCC à T2, bien que satisfaisant, ne soit pas tout à fait représentatif de ses performances au vu de son discours très pauvre. Il pourrait être intéressant de comparer son PCC sur une épreuve dirigée avec du lexique moins fréquent et des structures syntaxiques plus complexes.

Enfin, au niveau méthodologique, il aurait été nécessaire de pouvoir identifier d'autres sous-groupes au niveau du mode de communication afin de déterminer l'impact de l'utilisation de la LSF associée ou non au LPC dans les performances phonologiques. En effet, Geers et al.

(2017) démontrent dans leur étude que l'intelligibilité des enfants n'ayant pas été exposés à la langue des signes est en moyenne 70% supérieure à celle des enfants qui y ont été exposés. Nous pourrions alors supposer que les enfants ayant bénéficié de la LSF dans notre étude auraient eu de moins bonnes performances phonologiques que les enfants ayant bénéficié du LPC seul.

III. Limites de l'étude

Dans notre étude, les facteurs prédictifs ont été examinés sur les mesures de précision phonologique comme le PCC, le PVC et le PGC. L'analyse de ces variables n'a été réalisée que sur les énoncés intelligibles qui ont pu être transcrits. Les énoncés non intelligibles ne sont donc pas pris en compte dans l'analyse ce qui ne reflète pas précisément le discours de ces enfants. Ainsi, il serait nécessaire de compléter cette analyse avec des échelles d'intelligibilité à 18 mois post-implant et à 10 ans post-implant.

De plus, notre échantillon n'était pas représentatif, ne comprenant que 15 sujets et la distribution au sein des groupes n'étant pas homogène. En effet, il existe un déséquilibre entre les deux sous-groupes « avec LPC » (n=10) et « sans LPC » (n=3), et l'âge d'implantation cochléaire des sujets est globalement tardive (M=3;4 ans). Une comparaison à un groupe contrôle aurait permis de déterminer des différences dans les trajectoires développementales avec des enfants normo-entendants. Toutefois, les participants de notre étude étant globalement implantés tardivement, il est difficile de déterminer sur quel critère fonder l'appariement : âge chronologique ou âge d'expérience auditive ?

IV. Implications orthophoniques de cette étude

L'effet significatif de l'âge d'implantation doit alerter les cliniciens quant au pronostic d'une thérapie. Un âge d'implantation précoce est de meilleur augure concernant les performances phonologiques et langagières en général, et à long terme. Cependant, la grande variabilité individuelle marquée chez les sujets implantés le plus tardivement invite à la prudence : une implantation tardive n'est pas synonyme de mauvais pronostic. Par exemple, le sujet de notre étude ayant l'âge d'implantation le plus élevé (5 ans) atteint un PCC de 100% à 10 ans post-implant.

Le déficit phonologique marqué lors des premières années d'implantation semble pouvoir être compensé par l'utilisation du LPC. Il paraît donc primordial de se saisir de cet outil de communication augmentative pour travailler en séances en complément d'une utilisation au quotidien par la famille et l'entourage de l'enfant. Le LPC apparaît comme un atout pour le développement du langage oral des enfants sourds implantés cochléaires, à la fois sur le plan phonologique et morphosyntaxique.

Enfin, nous avons montré que la démarche évaluative des aspects phonologiques en orthophonie pourrait être facilitée grâce à l'utilisation du logiciel PHON. Lors du bilan initial, un recueil du discours libre, semi-dirigé ou dirigé, peut être réalisé puis retranscrit à l'intérieur du logiciel. Les nombreuses fonctionnalités de Phon permettent de dresser un profil phonologique exhaustif (répertoires phonétique et phonémique, PCC, PVC, PMLU), et d'analyser les différents types d'erreurs. L'intérêt de ce relevé précis et informatisé est d'avoir un comparatif quantitatif et qualitatif tout au long de la prise en soin.

CONCLUSION

Cette étude longitudinale sur une période de 10 ans a tenté de dégager des prédicteurs du développement phonologique de 15 enfants implantés cochléaires. Les analyses par le logiciel Phon ont permis de relever un effet de l'âge d'implantation et de l'interaction entre l'âge d'implantation et l'utilisation du code LPC sur l'évolution de la précision phonologique en production. A 10 ans post-implant, nous avons noté que la majorité des enfants atteint un niveau de précision phonémique comparable à celle attendue à cet âge chronologique. Certains enfants produisent encore des erreurs phonologiques de type omissions, tandis que d'autres laissent apparaître un sigmatisme. Les résultats sont à nuancer en termes de taille de l'échantillon et de forte variabilité interindividuelle. Des études futures devraient permettre de préciser ces données au niveau de la relation entre développement phonologique et morphosyntaxique, et de la présence persistante de sigmatismes. D'un point de vue clinique, nos analyses mettent en avant le rôle déterminant du LPC sur l'évolution des compétences phonologiques à long terme ainsi que l'importance d'une précocité de l'implantation pour obtenir de meilleurs résultats. La grande variabilité interindividuelle relevée rejoint les résultats de nombreuses études qui montrent qu'une implantation même tardive peut amener à de bonnes performances phonologiques.

Pour conclure, nos résultats corroborent l'idée d'un déficit spécifique de la voie dorsale chez les enfants implantés cochléaires. L'altération de l'intégration auditivo-motrice au niveau segmental toucherait à la fois les phonèmes en créant des erreurs phonologiques, ainsi que les phones comme les sibilantes en créant des sigmatismes. Il s'agit au départ d'un manque sensoriel lié aux défauts acoustiques de l'implant, qui semblerait se transformer en altération de la production de la parole par défaut de rétrocontrôle. Ce déficit peut se compenser à terme grâce à la plasticité cérébrale et à des moyens compensatoires mis en place, mais peut aussi rester symptomatique pour d'autres.

BIBLIOGRAPHIE

- Achaintre, C., & Le Normand, M.-T. (2005). *Les erreurs du langage: reflet du développement phonologique de 18 enfants sourds profonds traités par implant cochléaire*. Paris, France.
- Adi-Bensaid, L., & Bat-El, O. (2004). The development of the prosodic word in the speech of a hearing-impaired child with a cochlear implant device. *Journal of Multilingual Communication Disorders*, 2(3), 187-206. <https://doi.org/10.1080/14769670400009975>
- Bateson, M. C. (1975). MOTHER-INFANT EXCHANGES: THE EPIGENESIS OF CONVERSATIONAL INTERACTION*. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 263(1), 101-113. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1975.tb41575.x>
- Bouchard, M. E., Le Normand, M. T., & Cohen, H. (2001). Vowel acquisition by prelingually deaf children with cochlear implants. Cognitive Neuroscience Centre, Université du Québec à Montréal, Montréal, Québec, Canada, Child Neuropsychology Laboratory, Hôpital Robert Debré, Paris, France.
- Bouchard, M.-E. G., Normand, M.-T. L., & Cohen, H. (2007). Production of consonants by prelinguistically deaf children with cochlear implants. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 21(11-12), 875-884. <https://doi.org/10.1080/02699200701653634>
- Bouton Sophie, Serniclaes Willy, Bertoncini Josiane, & Colé Pascale. (2012). Perception of Speech Features by French-Speaking Children With Cochlear Implants. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 55(1), 139-153. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2011/10-0330\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2011/10-0330))
- Campolini, C., Van Hövell, V., & Vansteelandt, A. (1997). *Dictionnaire de logopédie: Les troubles logopédiques de la sphère ORL. II (Vol. 2)*. Peeters Publishers.
- Carter, A. K., Dillon, C. M., & Pisoni, D. B. (2002). Imitation of nonwords by hearing impaired children with cochlear implants: suprasegmental analyses. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 16(8), 619-638. <https://doi.org/10.1080/02699200021000034958>
- Chiat, S. (2001). Mapping theories of developmental language impairment: Premises, predictions and evidence. *Language and Cognitive Processes*, 16(2-3), 113-142. <https://doi.org/10.1080/01690960042000012>
- Chin, S. B., Bergeson, T. R., & Phan, J. (2012). Speech intelligibility and prosody production in children with cochlear implants. *Journal of Communication Disorders*, 45(5), 355-366. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2012.05.003>

- Chin Steven B., Tsai Patrick L., & Gao Sujuan. (2003). Connected Speech Intelligibility of Children With Cochlear Implants and Children With Normal Hearing. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 12(4), 440-451. [https://doi.org/10.1044/1058-0360\(2003/090\)](https://doi.org/10.1044/1058-0360(2003/090))
- D’Odorico, L., & Franco, F. (1991). Selective production of vocalization types in different communication contexts. *Journal of Child Language*, 18(3), 475-499. <https://doi.org/10.1017/S0305000900011211>
- Geers, A. E. (2004). Speech, Language, and Reading Skills After Early Cochlear Implantation. *Archives of Otolaryngology–Head & Neck Surgery*, 130(5), 634-638. <https://doi.org/10.1001/archotol.130.5.634>
- Geers, A. E., Mitchell, C. M., Warner-Czyz, A., Wang, N.-Y., Eisenberg, L. S., & Team, the Cd. I. (2017). Early Sign Language Exposure and Cochlear Implantation Benefits. *Pediatrics*, 140(1), e20163489. <https://doi.org/10.1542/peds.2016-3489>
- Geers, A. E., Moog, J. S., Biedenstein, J., Brenner, C., & Hayes, H. (2009). Spoken Language Scores of Children Using Cochlear Implants Compared to Hearing Age-Mates at School Entry. *The Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 14(3), 371-385. <https://doi.org/10.1093/deafed/enn046>
- Gibbon, F., & Grunwell, P. (1992). Specific developmental language learning disabilities. In *Developmental speech disorders* (p. 135-161). London: Whurr.
- Gierut, J. A., Morrisette, M. L., Hughes, M. T., & Rowland, S. (1996). Phonological treatment efficacy and developmental norms. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, (27), 215-230.
- Green, T., Faulkner, A., & Rosen, S. (2004). Enhancing temporal cues to voice pitch in continuous interleaved sampling cochlear implants. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 116(4), 2298-2310. <https://doi.org/10.1121/1.1785611>
- Grunwell, P. (1987). *Clinical phonology*. London: Croom Helm.
- Guenther, F. H., & Vladusich, T. (2012). A neural theory of speech acquisition and production. *Journal of Neurolinguistics*, 25(5), 408-422. <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2009.08.006>
- Habib, M. G., Waltzman, S. B., Tajudeen, B., & Svirsky, M. A. (2010). Speech production intelligibility of early implanted pediatric cochlear implant users. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 74(8), 855-859. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2010.04.009>
- Hallé, F., & Duchesne, L. (2015). Habilitéés morphosyntaxiques des enfants sourds porteurs d’implants cochléaires : une revue systématique. *Canadian Journal of Speech-Language Pathology and Audiology*, 39(3), 103.

- Hallé, P. A. (1998). LES PRODUCTIONS VOCALES DES JEUNES ENFANTS FRANÇAIS : CONVERGENCE VERS LE MODÈLE ADULTE. *Langue Française*, (118), 6-25. Consulté à l'adresse JSTOR.
- Hallé, P. A., & de Boysson-Bardies, B. (1996). The format of representation of recognized words in infants' early receptive lexicon. *Infant Behavior and Development*, 19(4), 463-481.
[https://doi.org/10.1016/S0163-6383\(96\)90007-7](https://doi.org/10.1016/S0163-6383(96)90007-7)
- Hickok, G. (2012). Computational neuroanatomy of speech production. *Nature Reviews Neuroscience*, 13(2), 135-145. <https://doi.org/10.1038/nrn3158>
- Hickok, G. (2017). A cortical circuit for voluntary laryngeal control: Implications for the evolution language. *Psychonomic Bulletin & Review*, 24(1), 56-63. <https://doi.org/10.3758/s13423-016-1100-z>
- Hickok, G., & Poeppel, D. (2004). Dorsal and ventral streams: a framework for understanding aspects of the functional anatomy of language. *Cognition*, 92(1), 67-99.
<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2003.10.011>
- Holm, A., Crosbie, S., & Dodd, B. (s. d.). Treating inconsistent speech disorders. In *Differential diagnosis and treatment of children with speech disorder* (p. 182-201). London: Whurr.
- Informations pratiques sur l'implantation cochléaire | SERVICE ORL DU CHU DE CAEN. (s. d.). Consulté 10 avril 2019, à l'adresse http://orl-chu-caen.fr/?page_id=1533
- Ingram, D. (1989). *First language acquisition : Method, description and explanation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ingram, D. (2002). The measurement of whole-word productions. *Journal of Child Language*, (29), 713-733.
- Jusczyk, P. W., Houston, D. M., & Newsome, M. (1999). The Beginnings of Word Segmentation in English-Learning Infants. *Cognitive Psychology*, 39(3), 159-207. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0716>
- Jusczyk, P. W., Luce, P. A., & Charles-Luce, J. (1994). Infants' Sensitivity to Phonotactic Patterns in the Native Language. *Journal of Memory and Language*, 33(5), 630-645. <https://doi.org/10.1006/jmla.1994.1030>
- Knudsen, E. I. (2004). Sensitive periods in the development of the brain and behavior. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(8), 1412-1425. <https://doi.org/10.1162/0898929042304796>
- Ladefoged, P., & Maddieson, I. (1998). *The sounds of the world's languages* (Oxford: Blackwell).
- Le Normand, M. T., & Lacheret, A. (2010). Prosodie chez des enfants implantés cochléaires. In *Le langage oral: données actuelles et perspectives en orthophonie* (p. 63-88). Consulté à l'adresse <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00636456/document>

- Le Normand, M. T., & Moreno-Torres, I. (2014). The role of linguistic and environmental factors on grammatical development in French children with cochlear implants. *Lingua*, 139, 26-38.
<https://doi.org/10.1016/j.lingua.2013.02.012>
- Le Normand, M.-T., Diaz, L., & Thai-Van, H. (2015). Morphologie grammaticale chez les locuteurs sourds profonds implantés cochléaires : résultats à 10 ans post-implant. *ANAE - Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 27, 477-483.
- Le Normand, M.-T. L., & Lacheret, A. (2008). Prosodie et acquisition du langage chez les enfants implantés cochléaires. 5. Avignon, France.
- Lenden, J. M., & Flipsen, P. (2007). Prosody and voice characteristics of children with cochlear implants. *Journal of Communication Disorders*, 40(1), 66-81. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2006.04.004>
- Levitt, A. G., & Wang, Q. (1991). Evidence for Language-Specific Rhythmic Influences in the Reduplicative Babbling of French-and English-Learning Infants. *Language and Speech*, 34(3), 235-249.
<https://doi.org/10.1177/002383099103400302>
- Leybaert, J. (2000). Phonology Acquired through the Eyes and Spelling in Deaf Children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 75(4), 291-318. <https://doi.org/10.1006/jecp.1999.2539>
- MacNeilage, P. F., & Davis, B. (1990). Acquisition of speech production: Frames, then content. In *Attention and performance 13: Motor representation and control* (p. 453-476). Hillsdale, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- MacWhinney, B. (2014). *The Childes Project : Tools for Analyzing Talk, Volume II: the Database*.
<https://doi.org/10.4324/9781315805641>
- Maillart, C., Schelstraete, M.-A., & Hupet, M. (2002). Les troubles morpho-syntaxiques développementaux en *langage oral : quel cadre théorique adopter?* 15.
- Mayer, M. (1969). *Frog, where are you?* New York: Dial Press.
- McAllister Byun, T., & Rose, Y. (2016). Analyzing Clinical Phonological Data Using Phon. *Seminars in Speech and Language*, 37(2), 85-105. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1580741>
- Medina, V., & Serniclaes, W. (2009). Le Développement de la Perception Catégorielle chez les enfants sourds avec implant cochléaire. *Connaissances Surdités*, 27.
- Mehler, J., Dommergues, J. Y., Frauenfelder, U., & Segui, J. (1981). The syllable's role in speech segmentation. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 20(3), 298-305. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(81\)90450-3](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(81)90450-3)

- Moreno-Torres, I., & Moruno-López, E. (2014). Segmental and suprasegmental errors in Spanish learning cochlear implant users: Neurolinguistic interpretation. *Journal of Neurolinguistics*, 31, 1-16.
<https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2014.04.002>
- Morrison Judith A., & Shriberg Lawrence D. (1992). Articulation Testing Versus Conversational Speech Sampling. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 35(2), 259-273.
<https://doi.org/10.1044/jshr.3502.259>
- Neumeier, V., Schiel, F., & Hoole, P. (2015). Speech of cochlear implant patients: An acoustic analysis of sibilant production. *ICPhS*, 5.
- Nittrouer, S., Studdert-Kennedy, M., & McGowan, R. S. (1989). The Emergence of Phonetic Segments: Evidence from the Spectral Structure of Fricative-Vowel Syllables Spoken by Children and Adults. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 32(1), 120-132.
<https://doi.org/10.1044/jshr.3201.120>
- Oller, D. K., & Eilers, R. E. (1988). The Role of Audition in Infant Babbling. *Child Development*, 59(2), 441-449. <https://doi.org/10.2307/1130323>
- Parisse, C., & Le Normand, M.-T. (2006). Une méthode pour évaluer la production du langage spontané chez l'enfant de 2 à 4 ans. *Glossa*, 97, 20, 41.
- Paul, R. (2001). *Language disorders from infancy through adolescence*. St-Louis, Miss: Mosby.
- Perkell, J. S. (1986). Coarticulation strategies: preliminary implications of a detailed analysis of lower lip protrusion movements. *Speech Communication*, 5(1), 47-68. [https://doi.org/10.1016/0167-6393\(86\)90029-4](https://doi.org/10.1016/0167-6393(86)90029-4)
- Perkell, J. S. (2012). Movement goals and feedback and feedforward control mechanisms in speech production. *Journal of Neurolinguistics*, 25(5), 382-407. <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2010.02.011>
- Peterson, N. R., Pisoni, D. B., & Miyamoto, R. T. (2010). Cochlear implants and spoken language processing abilities: Review and assessment of the literature. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 28(2), 237-250. <https://doi.org/10.3233/RNN-2010-0535>
- Quémart, P., MacLeod, A., & Maillart, C. (2015). Les troubles phonologiques dans les troubles du langage oral. *Rééducation Orthophonique*, 263, 26.
- Rondal, J. A. (1999). *Comment le langage vient aux enfants*. Bruxelles: Labor.
- Rose, Y., & MacWhinney, B. (2014). The PhonBank project. *The Oxford Handbook of Corpus Phonology*.

- Rose, Yvan, MacWhinney, B., Byrne, R., Hedlund, G., Maddocks, K., O'Brien, P., & Wareham, T. (2006).
Introducing Phon: A Software Solution for the Study of Phonological Acquisition. Proceedings of the ...
Annual Boston University Conference on Language Development. Boston University Conference on
Language Development, 2006, 489-500.
- Rosen, S. (1992). Temporal information in speech: acoustic, auditory and linguistic aspects. *Philosophical
Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 336(1278), 367-373.
<https://doi.org/10.1098/rstb.1992.0070>
- Schelstraete, M.-A., Bragard, A., Collette, E., Nossent, C., & Van Schendel, C. (2011). *Traitement du langage
oral chez l'enfant: Interventions et indications cliniques.*
- Schelstraete, M.-A., Maillart, C., & Jamart, A. C. (2004). Les troubles phonologiques : cadre théorique,
diagnostic et traitement. In *Collection Proximités. Les troubles du langage et du calcul chez l'enfant* (p.
81-112). Consulté à l'adresse <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/8005/1/phono.pdf>
- Selkirk, E. (1995). The prosodic structure of function words. In J. N. Beckman, L. Walsh Dickey, & S.
Urbanczyk, *Papers in optimality theory* (Vol. 18, p. 439-469). Amherst, MA: GLSA Publications.
- Serry Tanya A., & Blamey Peter J. (1999). A 4-Year Investigation Into Phonetic Inventory Development in
Young Cochlear Implant Users. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 42(1), 141-154.
<https://doi.org/10.1044/jslhr.4201.141>
- Sharma, A., Spahr, A., Dorman, M., & Todd, N. W. (2002). Early Cochlear Implantation in Children Allows
Normal Development of Central Auditory Pathways. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology*,
111(5_suppl), 38-41. <https://doi.org/10.1177/00034894021110S508>
- Shriberg Lawrence D., Austin Diane, Lewis Barbara A., McSweeney Jane L., & Wilson David L. (1997). The
Percentage of Consonants Correct (PCC) Metric. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*,
40(4), 708-722. <https://doi.org/10.1044/jslhr.4004.708>
- Spencer, L. J., & Guo, L.-Y. (2013). Consonant Development in Pediatric Cochlear Implant Users Who Were
Implanted Before 30 Months of Age. *The Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 18(1), 93-109.
<https://doi.org/10.1093/deafed/ens038>
- Titterton, J., Henry, A., Krämer, M., Toner, J. G., & Stevenson, M. (2006). An investigation of weak syllable
processing in deaf children with cochlear implants. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 20(4), 249-269.
<https://doi.org/10.1080/02699200400015291>

- Tobey, E. A., Geers, A. E., Brenner, C., Altuna, D., & Gabbert, G. (2003). Factors associated with development of speech production skills in children implanted by age five. *Ear and Hearing*, 24(1 Suppl), 36S-45S. <https://doi.org/10.1097/01.AUD.0000051688.48224.A6>
- Tobey, E. A., Wiessner, N., Lane, J., Sundarajan, M., Buckley, K. A., & Sullivan, J. (2007). Phoneme accuracy as a function of mode of communication in pediatric cochlear implantation. *Audiological Medicine*, 5(4), 283-292. <https://doi.org/10.1080/16513860701709332>
- Tomblin J. Bruce, Barker Brittan A., Spencer Linda J., Zhang Xuyang, & Gantz Bruce J. (2005). The Effect of Age at Cochlear Implant Initial Stimulation on Expressive Language Growth in Infants and Toddlers. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 48(4), 853-867. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2005/059\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2005/059))
- Tye-Murray Nancy, & Kirk Karen Iler. (1993). Vowel and Diphthong Production by Young Users of Cochlear Implants and the Relationship Between the Phonetic Level Evaluation and Spontaneous Speech. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 36(3), 488-502. <https://doi.org/10.1044/jshr.3603.488>
- Van Borsel, J. (1999). Troubles de l'articulation. In J. Rondal & X. Seron, *Troubles du langage : bases théoriques, diagnostic et rééducation* (p. 470-503). Sprimont: Mardaga.
- Veneziano, E., & Sinclair, H. (2000). The changing status of 'filler syllables' on the way to grammatical morphemes. *Journal of Child Language*, 27(3), 461-500.
- Vilain, A. (2006, septembre 30). *Développement précoce du contrôle moteur de la parole, ou qu'y a t-il dans un premier mot?* Présenté à 12e Journée d'étude AIRDAME. Consulté à l'adresse <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00264476>
- Vinter, S. (2001). Les habiletés phonologiques chez l'enfant de deux ans. *Glossa*, (77), 4-19.
- Williams, A. L. (2000). Multiple oppositions : Case studies of variables in phonological intervention. *American Journal of Speech Language Pathology*, (9), 289-299.

ANNEXES

Table des annexes :

Annexe A : Ordre d'apparition des phonèmes du français (J. A. Rondal, 1999)

Annexe B : Données biographiques des 15 participants

Annexe C : Support imagé de l'histoire « Frog where are you »

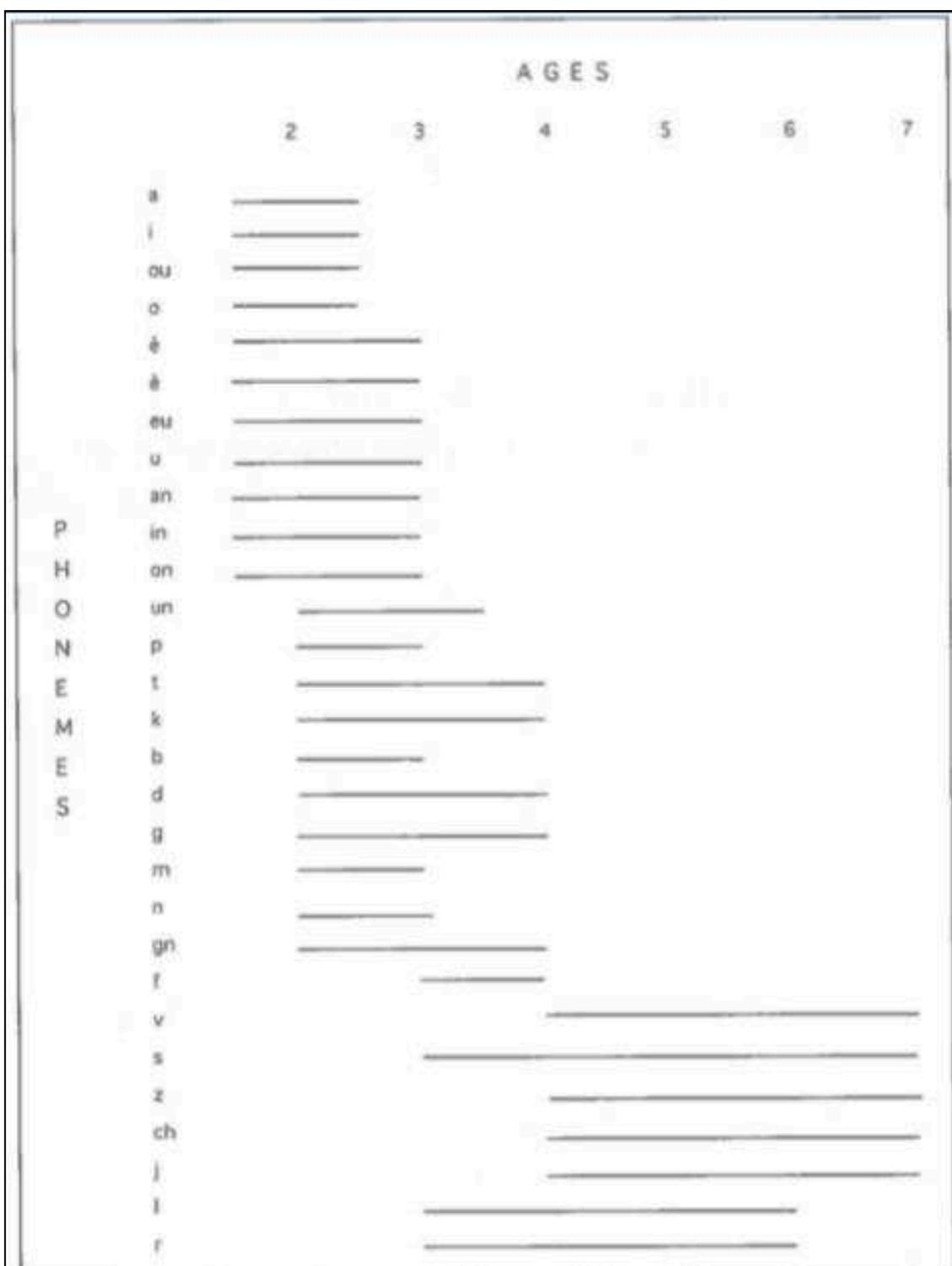
Annexe D : Extrait du relevé des phonèmes présents pour chaque enfant

Annexe E : Extrait de l'extraction Phon de l'enfant 408 pour l'analyse des types d'erreurs

Annexe F : Extrait des formes cibles et attendues des énonces d'E. (213)

Annexe G : Extrait des formes cibles et attendues des énonces de T. (413)

Annexe A : Ordre d'apparition des phonèmes du français (J. A. Rondal, 1999)

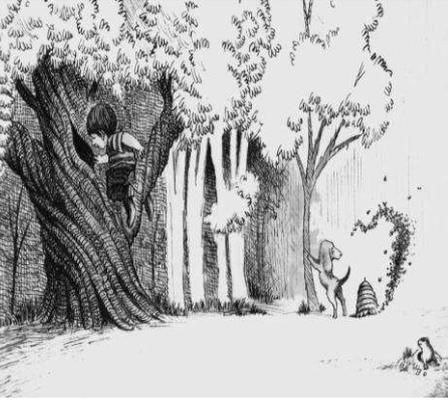


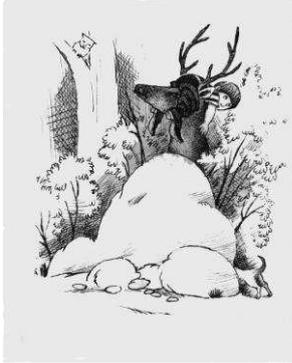
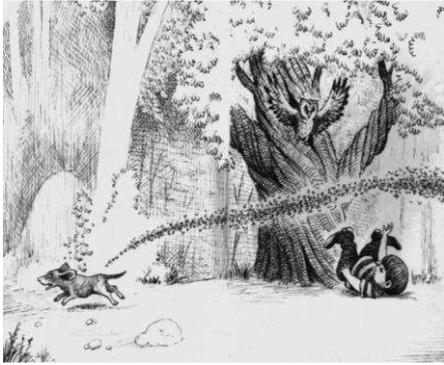
Note. Les traits correspondent en leur point de départ à l'âge auquel environ 50% des enfants prononcent les phonèmes correctement et en leur point d'arrivée à l'âge auquel le phonème est acquis par la très grande majorité des enfants.

Annexe B : Données biographiques des 15 participants

Enfants	Sexe	Milieu	AIC	Age réel à T1 (en mois)	Age réel à T2 (en mois)	Mode de communication
101	Fille	Moyen	22	40	142	LPC+LSF
106	Garçon	Moyen	44	62	164	LPC
213	Fille	Moyen	38	56	158	Oral uniquement
303	Fille	Favorisé	25	43	145	LPC+LSF
401	Fille	Favorisé	48	66	168	LPC
402	Garçon	Moyen	45	63	165	LPC
405	Fille	Favorisé	28	46	148	LPC
406	Fille	Moyen	48	66	168	LPC
407	Garçon	Favorisé	39	57	159	LPC
408	Fille	Moyen	60	78	180	LPC
409	Garçon	Favorisé	39	57	159	LPC
410	Garçon	Favorisé	45	63	168	LSF
411	Fille	Favorisé	39	57	159	LSF
412	Garçon	Favorisé	48	66	168	LPC
413	Garçon	Moyen	38	56	156	LPC+LSF
Moyenne [min-max]	53% F 47% G	53% Fav. 47% Moy.	40 [22-60]	58 [40-78]	160 [142-180]	20% LPC oui 80% LPC non

Annexe C : Support imagé de l'histoire « Frog where are you »





Annexe D : Extrait du relevé des phonèmes présents pour chaque enfant

	101	106	213	303	401	402
p	1	1	1	1	1	1
b	1	1	1	1	1	1
m	1	1	1	1	1	1
f	0	1	1	0	1	1
v	0	0	1	1	0	0
t	1	1	1	1	1	1
d	1	1	1	0	1	0
n	1	0	1	1	1	1
s	0	0	0	0	0	0
z	0	0	0	0	1	0

Annexe E : Extrait de l'extraction Phon de l'enfant 408 pour l'analyse des types d'erreurs

14	a ↔ a	a:N↔a:N	ah .
18	g ↔ g	g:O↔g:O	garçon !
18	a ↔ a	a:N↔a:N	garçon !
18	ʁ ↔ ʁ	ʁ:C↔ʁ:C	garçon !
18	s ↔ s	s:O↔s:O	garçon !
18	ɔ̃ ↔ ɔ̃	ɔ̃:N↔ɔ̃:N	garçon !
20	s ↔ s	s:O↔s:O	ça c'est petite fille xxx .
20	a ↔ a	a:N↔a:N	ça c'est petite fille xxx .
20	s ↔ s	s:O↔s:O	ça c'est petite fille xxx .
20	ε ↔ ε	ε:N↔ε:N	ça c'est petite fille xxx .
20	p ↔ ∅	p:O↔∅	ça c'est petite fille xxx .
20	ə ↔ ∅	ə:N↔∅	ça c'est petite fille xxx .
20	t ↔ t	t:O↔t:O	ça c'est petite fille xxx .
20	i ↔ i	i:N↔i:N	ça c'est petite fille xxx .
20	t ↔ t	t:C↔t:C	ça c'est petite fille xxx .
20	f ↔ f	f:O↔f:O	ça c'est petite fille xxx .
20	i ↔ i	i:N↔i:N	ça c'est petite fille xxx .
20	j ↔ ∅	j:C↔∅	ça c'est petite fille xxx .
22	a ↔ a	a:N↔a:N	ah ah ah fille .
22	a ↔ a	a:N↔a:N	ah ah ah fille .
22	a ↔ a	a:N↔a:N	ah ah ah fille .
22	f ↔ f	f:O↔f:O	ah ah ah fille .
22	i ↔ i	i:N↔i:N	ah ah ah fille .
22	j ↔ j	j:C↔j:C	ah ah ah fille .
24	a ↔ a	a:N↔a:N	a papa et maman là !
24	p ↔ p	p:O↔p:O	a papa et maman là !

Annexe F : Extrait des formes cibles et attendues des énoncés d'E. (213)

T1			
Énoncé n°	Cible API	Produit API	Orthographe
6	dɔvmiɤ	nabi	dormir
8	dɔvmiɤ	nami	dormir
11	dɔvmiɤ	nɔmi	dormir
13	wi	wi	oui
14	lə	lə	le
14	pəti	ti	petit
14	gaksɔ̃	kasɔ	garçon
18	dɔvmiɤ	nɔmi	dormir
20	vwatɤɤ	fwaty	voiture
25	ʒon	ʒon	jaune
27	gaksɔ̃	gasɔ̃	garçon
32	papa	papa	papa
34	la	a	la
34	tabl	tam	table
36	la	la	la
36	tabl	tabl	table
38	la	la	la
38	tabl	tabl	table
41	la	la	la
41	vwatɤɤ	vwatɤɤ	voiture
43	la	la	là
46	lə	lə	le

T2			
Énoncé n°	Cible API	Produit API	Orthographe
1	pəti	pəti	petit
1	gaksɔ̃	gaksɔ̃	garçon
1	apel	apel	appelle
1	la	la	la
1	gʋənuj	gʋənuj	grenouille
2	lə	lə	le
2	pəti	pəti	petit
2	gaksɔ̃	gaksɔ̃	garçon
2	ʋəgavɔ	ʋəgavɔ	regarde
2	la	la	la
2	gʋənuj	gʋənuj	grenouille
3	lə	lə	le
3	pəti	pəti	petit
3	gaksɔ̃	gaksɔ̃	garçon
3	il	il	il
3	dɔɤ	dɔɤ	dort
3	avɛk	avɛk	avec
3	sɔ̃	sɔ̃	son
3	ʃjɛ	ʃjɛ	chien
4	e	e	et
4	tu	tu	tout
4	a	a	à

Annexe G : Extrait des formes cibles et attendues des énoncés de T. (413)

T1			
Énoncé n°	Cible API	Produit API	Orthographe
16	a	a	ah
25	dɔn	da	donne
29	*	*	*
41	*	*	*
43	*	*	*
46	*	*	*
54	*	*	*
59	*	*	*
61	*	*	*
65	*	*	*
71	*	*	*
80	papa	papa	papa
84	*	*	*
86	*	*	*
88	sɛ	ta	c'est
88	papa	papa	papa
96	*	*	*
105	*	*	*
110	*	*	*
119	nɔ̃	na	non

T2			
Énoncé n°	Cible API	Produit API	Orthographe
1	lə	lə	le
1	gaksɔ̃	gaks	garçon
1	e	e	et
1	lə	lə	le
1	ʃjɛ̃	ʃjɛ̃	chien
1	ʁɛgɑʁd	ɛgɑʁd	regardent
1	yn	yn	une
1	gʁənɥj	ʁənɥj	grenouille
1	dɑ̃	dɑ̃	dans
1	sa	sa	sa
1	ʃɑ̃bʁ	ʃɑ̃bʁ	chambre
3	lə	lə	le
3	gaksɔ̃	gaksɔ̃	garçon
3	e	e	et
3	lə	lə	le
3	ʃjɛ̃	ʃjɛ̃	chien
3	ʁɛgɑʁd	gɑʁ	regardent
3	yn	yn	une
3	gʁənɥj	gʁənɥj	grenouille
5	sə	sə	ce

Développement des compétences phonologiques chez l'enfant implanté cochléaire

Résumé :

Cette étude longitudinale porte sur les compétences phonologiques chez quinze enfants sourds implantés entre 22 et 60 mois suivis à 18 mois et à 10 ans post implant. Elle a comme objectif d'analyser la proportion correcte des consonnes (PCC), des voyelles (PVC) et des groupes consonantiques (PGC) en production spontanée afin de déterminer si l'âge d'implantation et/ou le mode de communication gestuelle sont les meilleurs prédicteurs de la phonologie. Des enregistrements de la parole spontanée en situation de jeu et de narration ont été effectués puis retranscrits selon les codes du CHILDES. L'analyse phonologique des énoncés a été réalisée via le logiciel Phon pour mesurer le taux correct des consonnes, des voyelles et des groupes consonantiques. Les résultats montrent que la parole de trois enfants à 10 ans d'implantation reste marquée par de nombreuses omissions. D'autres développent un sigmatisme portant sur la consonne /s/. L'âge d'implantation précoce est un prédicteur meilleur que l'utilisation de la langue parlée complétée (LPC) sur les 3 mesures de précision phonologique. Cependant, l'évolution de la précision des consonnes est prédite par l'interaction entre ces deux facteurs (i.e. la combinaison entre âge d'implantation précoce et l'utilisation du LPC). Si ces résultats restent à discuter en raison d'une forte variabilité interindividuelle, ils permettent néanmoins d'ouvrir des perspectives cliniques orthophoniques. Des études ultérieures devront permettre de confronter ces résultats à une analyse acoustique et morphosyntaxique afin de mettre en lien les différents niveaux de la parole et de vérifier ces prédicteurs.

Mots clés : implantation cochléaire, phonologie, production de la parole, étude prédictive, étude longitudinale, langue parlée complétée,

Abstract :

This longitudinal study examines the phonological skills of fifteen deaf children implanted between 22 and 60 months, followed by 18 months and 10 years post-implant. The purpose is to analyse the correct proportion of consonants (PCC), vowels (PVC) and clusters (PClusters) in spontaneous production to determine whether age of implantation and/or the mode of gestural communication are the best predictors in phonology. Recordings of spontaneous speech in a play situation and in a narrative were made and then transcribed according to the codes of CHILDES. The phonological analysis of the speech was carried out via the Phon software to measure the correct level of consonants, vowels and clusters. The results show that the speech of three children at 10 years of implantation is still marked by many omissions. Others develop a sigmatism on the consonant /s/. The early implantation age is a better predictor than the use of the cued speech (CS) on these 3 phonemic precision measures. However, the evolution of consonant accuracy is predicted by the interaction between these two factors (i.e. the combination of early implantation age and the use of CS). Although these results remain to be discussed due to a high level of inter-individual variability, they nevertheless open up clinical perspectives for speech pathologists. Further studies should make it possible to compare these results with acoustic and morphosyntactic analysis in order to link the different levels of speech supporting these predictors.

Keywords: cochlear implantation, phonology, speech production, predictive study, longitudinal study, cued speech, child language