



<http://portaildoc.univ-lyon1.fr>

Creative commons : Paternité - Pas d'Utilisation Commerciale -  
Pas de Modification 2.0 France (CC BY-NC-ND 2.0)



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr>



Université Claude Bernard Lyon 1  
Institut de Sciences et techniques de Réadaptation  
Département Orthophonie

---

**N° de mémoire : 2029**

Mémoire d'Orthophonie

présenté pour l'obtention du

**Certificat de capacité d'orthophoniste**

Par

**BARDELANG Tiphaine**

**Etude comparative de deux protocoles d'évaluation acoustique de  
la parole, dans le cadre du logiciel DIADOLAB3**

Directrices de Mémoire :

**MENIN-SICARD Anne**

**BARBERA Océane**

Année académique

**2019-2020**

Membres du jury

**BOULENGER Véronique**

**POZARD Prescillia**



Institut Sciences et Techniques de Réadaptation

DEPARTEMENT ORTHOPHONIE

Directeur ISTR  
**Xavier PERROT**

**Equipe de direction du département d'orthophonie :**

Directeur de la formation  
**Agnès BO**

Coordinateur de cycle 1  
**Claire GENTIL**

Coordinateur de cycle 2  
**Solveig CHAPUIS**

Responsables de l'enseignement clinique  
**Claire GENTIL**  
**Ségolène CHOPARD**  
**Johanne BOUQUAND**

Responsables des travaux de recherche  
**Lucie BEAUVAIS**  
**Nina KLEINSZ**

Responsable de la formation continue  
**Johanne BOUQUAND**

Responsable du pôle scolarité  
**Rachel BOUTARD**

Secrétariat de scolarité  
**Anaïs BARTEVIAN**  
**Constance DOREAU KNINDICK**  
**Patrick JANISSET**  
**Céline MOULARD**

## 1. UNIVERSITÉ CLAUDE BERNARD LYON 1

Président  
**Pr. FLEURY Frédéric**

Vice-président CFVU  
**Pr. CHEVALIER Philippe**

Président du Conseil Académique  
**Pr. BEN HADID Hamda**

Vice-président CS  
**M. VALLEE Fabrice**

Vice-président CA  
**Pr. REVEL Didier**

Directeur Général des Services  
**M. VERHAEGHE Damien**

### 1.1 Secteur Santé :

U.F.R. de Médecine Lyon Est  
Doyen **Pr. RODE Gille**

Directrice **Pr. SEUX Dominique**

U.F.R de Médecine et de  
maïeutique - Lyon-Sud Charles  
Mérieux  
Doyenne **Pr. BURILLON Carole**

Institut des Sciences Pharmaceutiques  
et Biologiques  
Directrice **Pr. VINCIGUERRA Christine**

Comité de Coordination des  
Etudes Médicales (C.C.E.M.)  
Président **Pr. COCHAT Pierre**

Institut des Sciences et Techniques de  
la Réadaptation (I.S.T.R.)  
Directeur **Dr. PERROT Xavier**

U.F.R d'Odontologie

Département de Formation et Centre  
de Recherche en Biologie Humaine  
Directrice **Pr. SCHOTT Anne-Marie**

### 1.2 Secteur Sciences et Technologie

U.F.R. Faculté des Sciences et  
Technologies  
Directeur **M. DE MARCHI Fabien**

Institut des Sciences Financières et  
d'Assurance (I.S.F.A.)  
Directeur **M. LEBOISNE Nicolas**

U.F.R. Faculté des Sciences  
Administrateur provisoire  
**M. ANDRIOLETTI Bruno**

Observatoire Astronomique de Lyon  
Directeur **Mme DANIEL Isabelle**

U.F.R. Biosciences  
Administratrice provisoire  
**Mme GIESELER Kathrin**

Ecole Supérieure du Professorat et  
de l'Education (E.S.P.E.)  
Administrateur provisoire  
**M. Pierre CHAREYRON**

U.F.R. de Sciences et Techniques  
des Activités Physiques et Sportives  
(S.T.A.P.S.)  
Directeur **M. VANPOULLE Yannick**

POLYTECH LYON  
Directeur **M. PERRIN Emmanuel**

Institut Universitaire de Technologie  
de Lyon 1 (I.U.T. LYON 1)  
Directeur **M. VITON Christophe**

## Résumé

Aujourd'hui, l'évaluation des troubles spécifiques de la parole est réalisée de façon perceptive : à l'oreille. Pourtant, les recherches scientifiques attestent le biais subjectif de cette pratique et montrent l'intérêt de l'analyse acoustique. Dans ce contexte, des chercheurs ont élaboré un protocole d'évaluation acoustique de la parole à destination des orthophonistes : le protocole du logiciel DIADOLAB3. Ce protocole évalue la phonologie d'après un postulat innovant, qui est basé sur les processus de parole. Ces derniers sont au nombre de quatre (voisement, nasalité, occlusion et constriction) et permettent, combinés et synchronisés, de prononcer l'ensemble des phonèmes. Le postulat du protocole est ainsi le suivant : si un individu est capable de réaliser un processus avec précision, il est capable de le produire quel que soit le lieu articulaire. Ainsi, un phonème qui est réalisé grâce à un processus précis, représente les autres phonèmes qui ont aussi recours à ce processus. Afin d'évaluer la phonologie, le protocole DIADOLAB3 propose alors une seule épreuve : la répétition de la phrase « Bonjour Monsieur Tralipau », conçue pour balayer tous les processus de parole.

Afin de mettre à l'épreuve le postulat des processus de parole, cette étude a comparé le test ciblé du logiciel DIADOLAB3 avec un protocole plus exhaustif. Ce dernier est composé de la phrase du test ciblé et de deux autres phrases qui permettent de compléter le répertoire phonologique. Dans le but d'estimer la nécessité de rajouter ces deux phrases au protocole DIADOLAB3, les résultats obtenus aux deux tests par des enfants de 5 à 8 ans ont été comparés. La confrontation des scores et des altérations phonologiques des sujets révèle l'efficacité globale du test ciblé, avec des précautions à prendre pour les sujets qui obtiennent un score limite et pour la représentativité des voyelles nasales.

**Mots-clés** : parole, phonème, phonologie, processus de parole, phonétique acoustique, évaluation acoustique de la parole, DIADOLAB3, enfants

## Abstract

Today, the assessment of specific speech disorders is carried out perceptually: by ear. However, scientific research attests to the subjective bias of this practice and shows the interest of acoustic analysis. In this context, researchers have developed a protocol for the acoustic evaluation of speech intended for speech therapists: the DIADOLAB3 software protocol. This protocol evaluates phonology according to an innovative postulate, which is based on speech processes. There are four speech processes (voicing, nasality, occlusion and constriction) which, combined and synchronized, allow all phonemes to be pronounced. The postulate of the protocol is as follows: if someone is able to carry out a process with precision, he is able to produce it regardless of the articulatory location. Thus, a phoneme that is realized through a precise process represents the other phonemes that also use this process. In order to evaluate phonology, the DIADOLAB3 protocol proposes a single test : the repetition of the sentence "Bonjour Monsieur Tralipau", designed to scan all speech processes.

In order to test the postulate of speech processes, this study compared the targeted test of the DIADOLAB3 software with a more complete protocol. The latter is composed of the sentence from the targeted test and two other sentences that complete the speech sounds. In order to estimate the need to add these two sentences to the DIADOLAB3 protocol, the results obtained in the two tests by children aged 5 to 8 years were compared. Comparison of the scores and phonological distortions of the subjects reveals the overall effectiveness of the targeted test, with precautions to be taken for subjects who obtain a limit score and for the representativeness of the nasal vowels.

**Mots-clés** : speech, speech sound, phonology, speech processes, acoustic-phonetic features, acoustic assessment of speech, DIADOLAB3, children

## Remerciements

Ce travail enthousiasmant a été le fruit de réflexions et d'élaborations passionnantes autour d'un concept nouveau. Pour avoir bousculé mes acquis et m'avoir réservé un accueil si bienveillant dans le monde de la recherche, je tiens à remercier tout particulièrement Anne Menin-Sicard et Etienne Sicard. Madame, merci pour votre si grande disponibilité, votre soutien et l'intérêt que vous avez porté à mes nombreux questionnements.

J'adresse également mes remerciements sincères à Océane Barbera, pour son regard clinique qui a été si précieux à cette étude. Merci pour vos retours si affables et encourageants.

Enfin, je réserve une pensée toute particulière à ceux qui gravitent non loin de moi :

Les trois gavroches du foyer, gardiennes de la préface ;

Les Matinelles, qui immortalisent leur fantaisie en un clic ;

Les deux acolytes de la Fourmilière, car triompher à la dernière minute est une marotte qui défie les lois du temps qui passe ;

Les filles aux écouteurs, qui sont au travail comme en amitié : elles ne restent jamais en surface ;

Les trilocataires, après quatre années, un jour, nous serons de retour ;

Les douze Bardelang, si bien ensemble dans cette maison faite main ;

L'épouse du Professeur Van Fritz, qui sait motiver l'effort et cuisiner le réconfort ;

Et enfin les parents et la fratrie confinés, pour leurs têtes bien faites qui ont été si précieuses dans cette élaboration acoustique et surtout mélodieuse.

## Sommaire

<b>I</b>	<b>Partie théorique .....</b>	<b>1</b>
1	<i>Introduction.....</i>	1
2	<i>Evaluation acoustique de la parole .....</i>	2
2.1	Contexte de l'essor de l'analyse acoustique en orthophonie .....	2
2.2	Principe de l'analyse acoustique de la parole.....	3
3	<i>Le logiciel DIADOLAB3.....</i>	7
3.1	Les processus de parole .....	8
4	<i>Description de l'étude envisagée : problématique et hypothèses .....</i>	10
<b>II</b>	<b>Méthode.....</b>	<b>11</b>
1	<i>Population.....</i>	11
2	<i>Matériel.....</i>	12
2.1	Elaboration du corpus .....	12
2.2	Analyse et exploitation des scores .....	14
3	<i>Procédure.....</i>	15
<b>III</b>	<b>Résultats .....</b>	<b>17</b>
1	<i>Comparaison relative aux scores obtenus .....</i>	17
1.1	Etude approfondie des sujets les moins performants .....	19
2	<i>Comparaison relative aux altérations commises .....</i>	22
2.1	Etude des productions des individus exclus par les deux tests .....	22
2.2	Etude des productions de tous les individus exclus.....	23
<b>IV</b>	<b>Discussion et conclusion.....</b>	<b>24</b>
1	<i>Validation des hypothèses .....</i>	24
1.1	Fiabilité de discrimination des sujets les moins performants .....	24
1.2	Fiabilité de représentativité des processus de parole .....	26
1.3	Bilan.....	27
2	<i>Limites et perspectives .....</i>	27
2.1	Limites .....	27
2.2	Perspectives et implications cliniques .....	28
3	<i>Conclusion.....</i>	30

<b>Références</b> .....	<b>31</b>
<b>Annexes</b> .....	<b>I</b>
<i>Annexe A : Description de l'échantillon</i> .....	<i>I</i>
<i>Annexe B : Présence des phonèmes dans chaque test</i> .....	<i>II</i>
<i>Annexe C : Exemple de segmentation issue du logiciel DIADOLAB3</i> .....	<i>III</i>
<i>Annexe D : Tableau des altérations</i> .....	<i>IV</i>
<i>Annexe E : Tableaux d'analyse phonologique des 12 sujets discriminés</i> .....	<i>VI</i>

## I Partie théorique

### 1 Introduction

Jusqu'à présent, l'évaluation orthophonique des troubles de la parole se fait essentiellement de manière perceptive. Elle consiste, pour le thérapeute, à porter son attention sur les productions orales du patient. L'orthophoniste se fie alors à son oreille aiguisée pour apprécier la précision des voyelles et des consonnes, ainsi que la prosodie du discours du patient (Laaridh, 2018). Or, cette méthode d'évaluation présente de nombreux biais de subjectivité, comme la variabilité inter et même intra-individuelle, la variabilité selon le contexte d'écoute, ou encore la tendance de l'oreille à restaurer ce qui est distordu (Ghio et al., 2018). Cette méthode d'évaluation est ainsi considérée comme limitée et insuffisante par de nombreux spécialistes pour objectiver les dysfonctionnements de la parole.

Dans ce contexte, l'analyse acoustique apporte des éléments pertinents pour évaluer les altérations avec précision. Elle permet en effet de faire des mesures, d'obtenir des indices et de dégager des tendances quant au signal sonore (Hirsch, 2019). Il existe à ce jour peu d'outils acoustiques à la disposition des orthophonistes (Lévêque et al., 2016), et parmi eux : le logiciel DIADOLAB3 (Menin-Sicard et Sicard, 2019a). Ce logiciel propose d'évaluer l'intelligibilité et la fluence grâce à un protocole court composé de deux épreuves : la répétition d'une phrase et une série diadococinésique. L'aspect phonologique est alors évalué sur une seule phrase. Alors que dans la plupart des batteries d'évaluation de la parole ou de l'intelligibilité, l'évaluation perceptive est basée sur la production de multiples items (Maillart, 2006), comment l'analyse spectrale d'une seule phrase permet-elle d'objectiver un déficit phonologique ?

Pour comprendre les enjeux du protocole proposé par le logiciel DIADOLAB3, cette étude présentera tout d'abord le contexte au sein duquel se développe l'évaluation acoustique en orthophonie, puis expliquera en quoi elle consiste, et enfin développera le fonctionnement et le postulat théorique du logiciel DIADOLAB3, basé sur les processus de parole.

## **2 Evaluation acoustique de la parole**

L'évaluation objective de la parole, basée sur l'étude du signal sonore, est aujourd'hui très peu pratiquée en cabinet d'orthophonie. L'analyse acoustique est même presque exclusivement pratiquée par les chercheurs. Pourtant, la nécessité d'utiliser ce type d'évaluation émerge chez les thérapeutes, car ces dernières années, deux protocoles d'évaluation acoustique élaborés par des orthophonistes ont vu le jour : MonPaGe (Levêque et al., 2016) et DIADOLAB3 (Menin-Sicard & Sicard, 2019a).

### **2.1 Contexte de l'essor de l'analyse acoustique en orthophonie**

L'évaluation auditivo-perceptive de la production phonologique est communément admise dans la pratique orthophonique. Elle consiste, succinctement, à évaluer quantitativement et qualitativement la réalisation des phonèmes d'après la production de mots à partir d'une épreuve de dénomination d'images, et d'après la répétition de logatomes et de non-mots (mots non signifiants). Néanmoins, cette méthode d'évaluation est critiquée par certains spécialistes. Baken et Orlikoff (2000) l'ont même définie comme étant inadéquate et incapable de mettre en lumière des petites différences. Abondant dans son sens, Morsomme et Estienne (2006) ont assuré que si notre premier outil d'évaluation acoustique est l'oreille humaine, l'audition est insuffisante car elle traite le signal acoustique dans sa globalité. Ainsi, ne pouvant pas être attentive à tous les aspects de l'information linguistique, l'oreille peut être dupée.

Cette notion de duperie est très intéressante. En effet, la perception de la parole est influencée par des effets « top-down ». Ces effets consistent, pour un auditeur, à corriger ce qui est distordu dans l'énoncé de son interlocuteur, en se référant à un ensemble de connaissances, comme son stock lexical ou la situation de communication. Ces informations restreignent significativement les possibilités d'énoncés du locuteur, et de ce fait, permettent à l'auditeur d'optimiser l'intelligibilité du message, lorsque ce dernier est bruité ou imprécis (Warren et Warren, 1970). En parallèle avec les travaux de Ganong (1980), Ghio et al. (2018) ont expliqué, par exemple, qu'un son phonétiquement ambigu t/d, sera préférentiellement perçu /d/ devant la séquence [isk] en référence au mot « disque », mais sera perçu /t/ devant [a] pour former le mot « tache ».

Ainsi, malgré une attention soutenue, il peut être difficile voire impossible pour le thérapeute de relever toutes les erreurs, telles que des substitutions discrètes, des imprécisions vocaliques ou encore des ébauches de sons caractérisées par exemple par des désonorisations ou dénasalisations partielles. Pour qualifier précisément les altérations produites par le patient, l'analyse acoustique est un outil précieux.

## **2.2 Principe de l'analyse acoustique de la parole**

L'analyse acoustique consiste à étudier le signal sonore, afin de décrire la structure acoustique de chaque son du langage et d'apprécier la qualité de sa réalisation.

Pour cela, elle s'appuie sur des outils d'analyse acoustique, dont le spectrographe est le plus connu et le plus développé (Munot et Neve, 2002). Cet instrument de mesure permet d'obtenir une image tridimensionnelle, le spectrogramme, qui illustre le son selon trois aspects : la fréquence sur l'axe des ordonnées, la durée du son sur celui des abscisses et l'intensité grâce au degré de coloration du spectre (Chafcouloff, 2004). Par ailleurs, le spectrogramme est généralement accompagné d'une représentation temporelle du signal, qui ne rend compte que des variations d'intensité dans le temps.

La parole peut alors être caractérisée d'après ces trois paramètres acoustiques : fréquence, intensité et durée. Selon Claude (2012), ces derniers permettent d'étudier le signal selon les deux aspects de l'information linguistique : segmentale et suprasegmentale. En effet, un message verbal est composé d'une information segmentale, transmise par la séquence de segments phonétiques (les phonèmes), et d'une information suprasegmentale, véhiculée par la mélodie de l'énoncé (Marchal, 2011). C'est l'association de ces deux éléments qui permet la bonne compréhension du message par l'auditeur, autrement dit : une bonne intelligibilité.

### **2.2.1 Les aspects suprasegmentaux**

Succinctement, les aspects suprasegmentaux concernent les éléments prosodiques du discours, comme la mélodie, l'accent, le rythme et le débit de parole (Di Cristo, 2013). La mélodie est représentée par la variation de la fréquence fondamentale de la voix, le rythme et le débit sont mesurés grâce au paramètre de

durée, et l'accent est caractérisé à la fois par la variation de la fréquence, de la durée et de l'intensité.

### **2.2.2 Les aspects segmentaux**

Les aspects segmentaux, comme l'ont rappelé Kamiyama et Vaissière (2017), concernent les phonèmes, qui sont les plus petites unités distinctives de la chaîne parlée. Pour les étudier sur le spectrogramme, il faut segmenter l'énoncé. La segmentation consiste à découper le signal sonore, en repérant les frontières qui séparent chaque phonème. Pour cela, il est possible de s'aider de l'écoute pour segmenter une première fois de façon approximative, puis d'ajuster les frontières d'après les allures spectrale et temporelle (Menin-Sicard et Sicard, 2019b). La lecture du spectre, couplée à l'écoute sélective de chaque segment, permet ainsi de repérer et de qualifier les altérations avec exactitude.

Il ne convient pas de détailler ici les caractéristiques acoustiques de chaque phonème, qui permettent de les identifier sur un spectrogramme. Néanmoins, il est intéressant de comprendre comment chaque son du langage a une image spectrale singulière et reconnaissable. Ce domaine d'étude s'appelle la phonétique acoustique.

### **2.2.3 La phonétique acoustique**

La phonétique acoustique s'étudie grâce aux représentations spectrales des phonèmes. Ce qui est remarquable, c'est qu'elle est directement liée à la phonétique articulatoire, car les paramètres du spectre (fréquence, durée et intensité) sont déterminés par les caractéristiques articulatoires du son, c'est-à-dire l'agencement des organes lors de sa production (Munot et Neve, 2002). Ainsi, pour décrire la phonétique acoustique des phonèmes, il est pertinent de la mettre en lien avec leurs caractéristiques articulatoires.

Dans la langue française, le système phonologique se compose de 16 voyelles (/i, u, y, a, ɑ, o, ɔ, ɔ̃, ø, e, ε, ə̃, ɛ̃, ə, oe, œ/), 18 consonnes (/p, b, t, d, k, g, m, n, ŋ, ɲ, f, s, ʃ, v, z, ʒ, l, r/) et de trois semi-consonnes (/j, w, ɥ/).

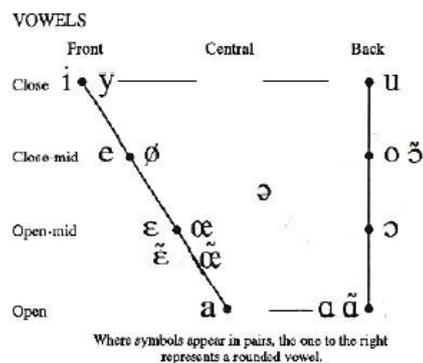
#### **2.2.3.1 Les voyelles**

Les voyelles du français se divisent en deux groupes : les voyelles orales (/i, u, y, a, ɑ, o, ɔ, ø, e, ε, ə, œ/) et les voyelles nasales (/ɔ̃, ə̃, ɛ̃, œ̃/).

Au niveau articulatoire, les voyelles sont des sons voisés qui se différencient selon quatre traits : le degré d'aperture de la mandibule, le lieu d'articulation déterminé par la position de la langue, la labialité déterminée par la projection des lèvres et la nasalité déterminée par la position du voile du palais (Meunier, 2007). Ces traits articulatoires mettent alors en jeu quatre cavités qui ont un rôle de résonateur : les cavités pharyngales, buccales, labiales et nasales. Cette description des voyelles permet d'aboutir à leur classification, représentée par le trapèze vocalique (Figure 1) : le lieu d'articulation est sur l'axe horizontal (à gauche : les voyelles antérieures ; à droite : les postérieures), le degré d'aperture est sur l'axe vertical (en bas : les voyelles ouvertes ; en haut : les fermées), et la labialité dépend de la place de la voyelle par rapport aux points (à gauche : les voyelles étirées ; à droite : les arrondies). Les extrêmes du trapèze, aussi appelé triangle, sont ainsi les voyelles /a, i, u/ (Hirsch et al., 2006).

**Figure 1**

*Trapèze articulatoire des voyelles du français. Adapté de Meunier (2007).*



Au niveau acoustique, les voyelles s'identifient facilement sur un spectrogramme, grâce à la présence particulièrement intense de formants. Les formants sont des zones fréquentielles qui dépendent des configurations du conduit vocal (Maeda, 1992). Ils se dessinent ainsi selon les traits articulatoires de chaque voyelle, et plus précisément selon la taille des cavités : plus les résonateurs sont grands, plus les fréquences des formants sont basses (Kent et Vorperian, 2018).

### 2.2.3.2 Les consonnes

Au niveau articulatoire, les consonnes sont également décrites selon quatre traits : le voisement déterminé par la vibration des cordes vocales, la nasalité, le lieu

articulatoire qui est l'endroit le plus étroit de la cavité buccale, et le mode articulatoire déterminé par la nature de l'obstacle face à l'air (Marchal, 2011). Leur classification apparaît dans le tableau de phonétique internationale (Figure 2) (International Phonetic Association et International Phonetic Association Staff, 1999) : le mode en colonne, le lieu en ligne, le voisement selon la place du phonème dans la case (à gauche : les consonnes sourdes ; à droite : les sonores).

## Figure 2

Tableau de phonétique internationale, avec les consonnes du français entourées.  
D'après Meunier (2007).

THE INTERNATIONAL PHONETIC ALPHABET (revised to 2005)

CONSONANTS (PULMONIC) © 2005 IPA

	Bilabial	Labiodental	Dental	Alveolar	Postalveolar	Retroflex	Palatal	Velar	Uvular	Pharyngeal	Glottal
Plosive	<b>(p)</b> <b>(b)</b>			<b>(t)</b> <b>(d)</b>		<b>[</b> <b>ɖ</b>	<b>c</b> <b>ɟ</b>	<b>(k)</b> <b>(g)</b>	<b>q</b> <b>ɢ</b>		<b>ʔ</b>
Nasal	<b>(m)</b>	<b>(ɱ)</b>		<b>(n)</b>		<b>ɳ</b>	<b>ɲ</b>	<b>(ŋ)</b>	<b>ɴ</b>		
Trill	<b>ʙ</b>			<b>ʀ</b>					<b>(ʁ)</b>		
Tap or Flap		<b>ⱱ</b>		<b>ɾ</b>		<b>ɽ</b>					
Fricative	<b>ɸ</b> <b>β</b>	<b>(f)</b> <b>(v)</b>	<b>θ</b> <b>ð</b>	<b>(s)</b> <b>(z)</b>	<b>(ʃ)</b> <b>(ʒ)</b>	<b>ʂ</b> <b>ʐ</b>	<b>ç</b> <b>ʝ</b>	<b>x</b> <b>χ</b>	<b>ʁ</b> <b>ʕ</b>	<b>ħ</b> <b>ʕ</b>	<b>h</b> <b>ɦ</b>
Lateral fricative				<b>ɬ</b> <b>ɮ</b>							
Approximant		<b>ʋ</b>		<b>ɹ</b>		<b>ɻ</b>	<b>(j)</b>	<b>ɰ</b>			
Lateral approximant				<b>(l)</b>		<b>ɭ</b>	<b>ʎ</b>	<b>ʟ</b>			

Where symbols appear in pairs, the one to the right represents a voiced consonant. Shaded areas denote articulations judged impossible.

Au niveau acoustique, ce sont également les traits articulatoires qui déterminent l'allure spectrale des consonnes. Tout d'abord, le voisement se manifeste par un signal dans les basses fréquences, appelé barre de voisement. Ensuite, la nasalité est signée par la présence de formants oraux, nasals et d'anti-formants issus du couplage des cavités orales et nasales (Meynadier, 2013). Ensuite, le lieu d'articulation a une influence sur la valeur fréquentielle : plus le lieu est antérieur, plus la fréquence est basse (Harrington et Cassidy, 2012). Enfin, la description du mode articulatoire nécessite une étude plus approfondie :

Les consonnes occlusives sont produites grâce à la fermeture du conduit vocal. Elles comptent 6 occlusives orales (/p, t, k, b, d, g/) et 4 occlusives nasales (/m, n, ŋ, ɲ/). Les occlusives orales se réalisent sur deux temps articulatoires : la tenue des articulateurs pour obstruer le passage de l'air, suivie de leur relâchement. Sur le spectrogramme, le premier temps se manifeste par une zone de silence fréquentiel, et le deuxième par un pic d'intensité (Miller et Lowit, 2014).

Les consonnes constrictives (/f, s, ʃ, v, z, ʒ/) sont réalisées grâce au rétrécissement partiel du conduit vocal, qui entraîne un bruit de friction. D'après Martin (2008), leur image spectrale est représentée par un nuage de points.

Les consonnes vocaliques tiennent leur nom de leur structure acoustique, qui est constituée de formants. Elles comportent trois sous-catégories : les consonnes latérale, vibrante et glissantes. La latérale /l/, appelée comme cela du fait du passage de l'air de part et d'autre de la langue, est marquée par la présence d'anti-formants (Meynadier, 2013). La vibrante /r/ peut prendre de multiples allures spectrales différentes selon le contexte articulatoire et les variantes régionales. Enfin, les glissantes (/j, w, y/), appelées aussi semi-consonnes et semi-voyelles, présentent un spectre en variation constante. En effet, leur articulation qui est en mouvement instaure une instabilité marquée qui rend leur distinction très difficile avec la voyelle qui suit (Meunier, 2007).

Il est important de souligner que dans la parole conversationnelle, l'enchaînement des sons entraîne un phénomène d'inter-influence des phonèmes entre eux (Canault, 2017). Ce phénomène de coarticulation, lié au débit et à la régionalisation, se traduit en acoustique par des modifications spectrales (Cychosz, 2019).

Ainsi, l'étude de la phonétique acoustique permet de se rendre compte à quel point la réalisation de la parole est mouvante et complexe. Malgré cela, grâce à des mesures et des indicateurs précis, l'analyse acoustique est un support qui rend finement compte de la réalisation articulatoire de tous les phonèmes.

En somme, grâce à l'outil spectral, il est possible d'objectiver la bonne production ou l'altération de tous les phonèmes, ainsi que d'apprécier les aspects suprasegmentaux de la parole. Il permet alors d'apporter de nouvelles informations quant aux différents troubles de la parole, chez les adultes comme chez les enfants, et d'affiner les diagnostics. Dans cette démarche de diagnostic orthophonique, le logiciel DIADOLAB3 propose un protocole d'évaluation de la parole pathologique.

### **3 Le logiciel DIADOLAB3**

DIADOLAB3 est un logiciel d'évaluation et de rééducation de la parole, développé par A. Menin-Sicard, orthophoniste, et E. Sicard, informaticien. Il a été

élaboré à la suite du logiciel VOCALAB (Sicard et Menin-Sicard, 2013), destiné à l'évaluation et prise en soin des troubles de la voix. DIADOLAB3 propose d'évaluer l'intelligibilité et la fluence afin de déterminer avec précision le degré d'altération de la parole de l'enfant, comme de l'adulte.

Dans l'optique d'exploiter le caractère précis et mesurable de l'analyse du spectrogramme, le protocole, précis et efficace, ne propose que deux épreuves courtes : la répétition d'une phrase « Bonjour Monsieur Tralipau » et d'une série de diadococinésies (/pataka/) (Menin-Sicard et Sicard, 2019). La tâche de diadococinésies est un enchaînement de mouvements articulatoires, visant à évaluer la coordination de ces mouvements et la précision du contrôle fin des articulateurs (Rusz et al., 2015). Grâce à ces deux épreuves, le logiciel parvient à extraire un certain nombre de scores et indicateurs afin de qualifier l'altération de l'articulation, de la prosodie et de la diadococinésie. Enfin, l'ensemble de ces trois traits permettent d'évaluer l'intelligibilité et la fluence. Le score d'articulation délivré par le logiciel DIADOLAB, ne dépend, dans ces conditions, que de l'analyse objective d'une seule phrase.

Jusqu'à présent, l'évaluation classique de la phonologie en orthophonie demande d'une part d'évaluer l'intégralité des phonèmes de la langue, et d'autre part de tester chacun d'eux à travers plusieurs listes de mots ou pseudo-mots, afin de faire varier la position du phonème dans le mot (initiale, médiane ou finale), la longueur en termes de nombre de syllabes et la complexité syllabique (déterminée par la succession de voyelles et/ou de consonnes) (Coquet et al., 2009). Par ailleurs, le protocole MonPaGe, qui est aussi basé sur l'outil spectral avec l'utilisation de Praat (Boersma et Weenink, 2019), obtient ses mesures grâce à l'analyse de la production de 53 pseudo-mots.

Le protocole DIADOLAB3 propose donc une nouvelle façon d'évaluer la phonologie : à travers les processus de parole.

### **3.1 Les processus de parole**

Le protocole DIADOLAB3 nomme processus de parole les traits articulatoires suivants : le voisement, la nasalité, l'occlusion et la constriction (Sicard et Menin-Sicard, 2019). Ces quatre processus, combinés et synchronisés, permettent de produire l'ensemble des phonèmes. Le postulat du protocole est ainsi le suivant : si un

individu est capable de réaliser un processus avec précision, il est capable de le produire quel que soit le lieu articuloire. Ainsi, un phonème qui est réalisé grâce à un processus précis, représente les autres phonèmes qui ont aussi recours à ce processus.

Dans cette démarche, la phrase « Bonjour Monsieur Tralipau » balaie l'ensemble des processus (Menin-Sicard et Sicard, 2019b). Tout d'abord, il convient de tester chaque processus seul : le voisement avec les voyelles orales /u, ə, a, i, o/, la nasalité avec la voyelle nasale /ɔ̃/, l'occlusion avec l'occlusive sourde /p/, et la constriction avec la constrictive sourde /s/. Ensuite, il est pertinent de voir si le patient sait combiner deux processus à la fois : l'occlusion et le voisement avec l'occlusive sonore /b/, l'occlusion et la nasalité avec l'occlusive nasale /m/ et la constriction et le voisement avec la constrictive sonore /ʒ/. De plus cette phrase teste aussi les deux vocaliques /l, R/, le cluster /tR/ qui représente l'ensemble des clusters, et le segment /jə/ qui représente la réalisation des semi-consonnes.

En plus de balayer l'ensemble des processus, cette phrase a été élaborée de façon à remplir un certain nombre de critères, tels que la longueur, ici courte, afin de ne pas solliciter la mémoire de travail, la présence des phonèmes /s, R/ à forte occurrence dans le français (Wioland, 1991), une faible redondance des phonèmes, un schéma intonatif typique et un respect des règles phonotactiques du français. Elle a également la particularité de contenir les extrêmes du triangle vocalique /a, i, u/ qui sont couramment utilisés dans les recherches liées à l'évaluation de la parole (Sicard et Menin-Sicard, 2020) et les extrêmes consonantiques /m, s/. Concernant ces derniers, une corrélation significative existe entre la réduction de leur distance fréquentielle et la perte d'intelligibilité (Mauclair et al., 2017). Enfin, la présence du logatome « Tralipau » permet de tester la programmation motrice. En effet, le patient n'ayant pas de représentation préexistante de ce mot stockée en mémoire, il le traite comme une nouvelle forme sonore (Maillart et Schelstraete, 2004).

L'enregistrement de cette phrase est alors suivi de la segmentation réalisée par l'orthophoniste. L'énoncé comporte 15 segments, un segment étant représenté par chaque phonème de manière individuelle, et par les entités à deux phonèmes qui ne font qu'un bloc : le cluster /tR/ et l'ensemble /jə/. Cette distinction a été pensée en vue de faciliter la segmentation, les frontières phonémiques étant plus difficiles à délimiter, notamment pour les glissantes ou semi-consonnes (Meunier, 2007). Ensuite, cette

segmentation donne lieu à un score d'articulation sur 30. En effet, chaque segment est évalué sur 2 points, et la sanction peut varier de -1 point en cas d'altération mineure (un seul trait distinctif manquant), et -2 points en cas d'omission ou d'altération majeure ou atypique (plus d'un trait distinctif manquant) (Menin-Sicard et Sicard, 2019b).

Ainsi, DIADOLAB3 propose un protocole étayé et singulier. A ce jour, la littérature scientifique ne présente pas de données liées au postulat des processus de parole.

#### **4 Description de l'étude envisagée : problématique et hypothèses**

Ainsi, dans le cadre du protocole DIADOLAB3, il est intéressant de mettre à l'épreuve le postulat des processus de parole, en comparant l'analyse phonologique de la phrase du protocole d'une part, avec celle d'un test composé de deux phrases supplémentaires d'autre part. Ces phrases auront comme particularité de compléter le répertoire phonologique, partiellement balayé par « Bonjour Monsieur Tralipau ».

Dans le cadre du protocole DIADOLAB3, l'ajout de deux phrases pour compléter le répertoire phonologique augmente-t-il significativement la fiabilité de l'évaluation phonologique ? Les éléments apportés par cette étude permettront ainsi d'estimer la nécessité d'ajouter officiellement les deux phrases au protocole.

Pour répondre à cette problématique, les scores obtenus aux deux tests par des enfants de 5 ans ont été comparés. Le premier test, qui cible les processus de parole avec un seul phonème, est nommé protocole ciblé, et le second, qui balaie presque exhaustivement les phonèmes de la langue française, est nommé protocole exhaustif. Au vu de la démarche étayée qui a permis d'élaborer le logiciel et son protocole, les hypothèses sont les suivantes : premièrement, l'ajout des deux phrases n'augmenterait pas la fiabilité d'évaluation de manière significative. Autrement dit, les scores globaux des protocoles ciblé et exhaustif seraient équivalents. Deuxièmement, la qualité de réalisation des processus de parole dans le test ciblé serait représentative de celle des phonèmes présents dans le test exhaustif. Autrement dit, l'altération des processus de parole détectée par le test ciblé rendrait bien compte de l'altération des phonèmes qui requièrent les mêmes processus dans le test exhaustif.

## II Méthode

### 1 Population

L'étude a été menée auprès de 92 enfants âgés entre 5 et 8 ans. Cette tranche d'âge a été choisie afin d'étudier à la fois des sujets avec un trouble spécifique de la parole (TSP) et des sujets avec une parole normale, et afin de compléter les manques de la base de données de DIADOLAB3. Ces sujets étaient issus de divers milieux socio-éducatifs et diverses régions, comme le Centre-Val de Loire, l'Auvergne-Rhône-Alpes et l'Occitanie, afin que cet échantillon soit considéré comme représentatif. Sur les 92 sujets, il y avait 46 filles et 46 garçons : 24 enfants de 5 ans, dont 14 sans trouble et 10 avec trouble, 22 enfants de 6 ans, dont 15 sans trouble et sept avec trouble, 21 enfants de 7 ans, dont 20 sans trouble et un avec trouble, et 25 enfants 8 ans qui n'avaient pas de trouble. La répartition des sujets est représentée sous forme de tableaux dans l'Annexe A.

D'une part, les 18 sujets présentant un TSP ont été recrutés par bouche à oreille ou dans des cabinets d'orthophonie. Ils présentaient tous un diagnostic orthophonique de TSP : sept d'entre eux avaient un TSP de type trouble phonologique, trois avaient un TSP de type trouble d'articulation et huit présentaient à la fois un TSP et un trouble développemental du langage (TDL). Leur trouble pouvait s'inscrire dans un contexte pathologique plus large et aucune comorbidité n'avait fait l'objet d'une exclusion du groupe. D'autre part, les 74 sujets sans TSP ne présentaient pas de diagnostic de TSP et ont été recrutés par bouche à oreille ou dans une école primaire privée. Ces derniers étaient alors en partie issus de milieux sociaux favorisés ou très favorisés (Monso, 2013).

Les critères d'exclusion de l'ensemble de l'échantillon étaient relatifs aux spectrogrammes : un fichier son tronqué à cause d'un début d'enregistrement tardif, un fichier son manquant, un élément venant perturber l'enregistrement (par exemple : un éclat de rire) et une présence trop importante de bruit empêchant de distinguer le bruit de la constriction. Initialement, 93 sujets ont été enregistrés, et l'un d'entre eux a été exclu à cause d'un fichier son manquant.

## 2 Matériel

Pour cette étude, deux protocoles d'évaluation acoustique ont été comparés. Le premier est le test ciblé, composé de la phrase présentée plus haut : « Bonjour Monsieur Tralipau ». Le second est le test exhaustif. Il a été créé pour cette étude et est composé de trois phrases : « Bonjour Monsieur Tralipau », « Est-ce que tu connais Glochin l'écureuil ? » et « Il vole des framboises ». Il a été décidé de compléter la phrase initiale du protocole DIADOLAB3 par d'autres phrases, et non une liste de mots par exemple, pour respecter la volonté des concepteurs de proposer une épreuve concise et efficace.

### 2.1 Elaboration du corpus

Une trentaine de phrases ont été étudiées avant d'aboutir à : « Est-ce que tu connais Glochin l'écureuil ? » et « Il vole des framboises ». Ces deux phrases, couplées à celle du test ciblé, ont la particularité de balayer la quasi-totalité du système phonologique du français.

**Tableau 1**

*Présence des consonnes dans les trois phrases, selon leurs processus articulatoires et leur lieu d'articulation*

Processus Lieu	Voisement	Constriction	Constriction + Voisement	Occlusion	Occlusion + Voisement	Nasalisation + Voisement + Occlusion
Bilabiales				p	b	m
Labio-dentales		f	v			
Alvéol-dentales				t	d	n
Alvéolaires	l	s	z			
Labio-palatale	ɥ					
Pré-palatale		ʃ	ʒ			
Palatales	j					ɲ
Labio-vélaire	w					
Vélaire				k	g	ŋ
Uvulaire			R			

*Remarque.* En bleu : phonème présent dans le test ciblé ; en orange : phonème complété par le test exhaustif ; en blanc : phonème non présent dans les tests.

**Tableau 2**

*Présence des voyelles dans les trois phrases, selon leur niveau d'aperture, leur mode de labialité et leur lieu d'articulation*

	Antérieure				Centrale	Postérieure	
	Orale	Nasale	Orale	Nasale		Orale	Nasale
Fermée	i		y			u	
Semi-fermée	e		ø		ə	o	
Semi-ouverte	ɛ	ẽ	œ	œ̃		ɔ	õ
Ouverte	a					ɑ	ã
	Etirée			Arrondie			

*Remarque.* En bleu : phonème présent dans le test ciblé ; en orange : phonème complété par le test exhaustif ; en blanc : phonème non présent dans les tests.

Les tableaux 1 et 2 rendent compte de la présence et de l'absence des phonèmes dans les deux tests. Parmi les 21 consonnes du français, les trois phrases en balayaient ainsi 18. Celles qui manquent sont la semi-consonne /ɥ/ et les occlusives nasales /ŋ, ɲ/. Parmi les 16 voyelles du français, les trois phrases en comptent 13. Il manque ainsi les voyelles orales /ɑ/ et /ø/ qui sont peu discriminées des voyelles /a/ et /ə/, et la voyelle nasale /œ̃/ qui est également peu discriminée de la voyelle /ã/. En tout, le test exhaustif balaya ainsi 31 phonèmes sur les 37 du système phonologique de la langue française.

Ces trois phrases contiennent également cinq entités à deux phonèmes : les clusters /tr/, /gl/ et /fr/ et les ensembles composés d'une semi-consonne (ou glissante) et d'une voyelle /wa/, /jə/ et /œj/. Le segment /œj/ permet de marquer davantage la mise en mouvement du /j/ que le segment /jə/. Notons que le cluster /fr/ est particulièrement intéressant car il combine deux lieux articulatoires extrêmes : labio-dental et uvulaire.

Ainsi, voici les liens phonologiques entre le test ciblé et le test exhaustif d'après le postulat des processus de parole (sous forme de tableau dans l'Annexe B) : les occlusives sourdes du test exhaustif /p, t, k/ sont représentées par le /p/ du test ciblé ; les occlusives sonores /b, d/ sont représentées par le /b/, les occlusives nasales /m, n/ sont représentées par le /m/, les constrictives sourdes /f, s, ʃ/ sont représentées par le /s/, les constrictives sonores /v, z, ʒ/ sont représentées par le /ʒ/, les vocaliques /l, r/ sont présentes dans les deux tests, les voyelles orales /a, e, ɛ, ə, i, o, ɔ, u, y/ sont représentées par les /a, ə, i, o, u/, les voyelles nasales /ã, ẽ, õ/ sont représentées par

le /ɔ̃/, les clusters /tʀ/ et /gl/ sont représentés par le cluster /tʀ/ et enfin les ensembles avec une glissante et une voyelle /jə/, /oej/ et /wa/ sont représentés par /jə/.

Par ailleurs, les deux phrases choisies devaient répondre à certain nombre de critères : compléter les phonèmes manquant du test ciblé, proposer un autre contour intonatif que le test ciblé (ici : contour interrogatif), présenter une structure syntaxique ainsi qu'un lexique accessible à de jeunes enfants même en situation de bilinguisme et ne favorisant pas un milieu socio-éducatif en particulier, ne pas être trop longues pour ne pas surcharger la mémoire de travail, et enfin être cohérente au niveau du sens global et facilement compréhensible hors contexte. De plus, elles devaient comporter un mot de trois syllabes (ici : « écureuil »), ainsi qu'un logatome qui ne devait pas être sensible à la lexicalisation (ici : « Glochin »).

## 2.2 Analyse et exploitation des scores

Tous les spectrogrammes des enregistrements ont été segmentés et cotés à l'aide du logiciel DIADOLAB3 (Menin-Sicard et Sicard, 2019a). L'Annexe C contient un exemple de segmentation.

Comme le détaille la partie théorique, la phrase du protocole ciblé présentait 15 segments sur le spectrogramme : b, ɔ̃, ʒ, u, ʀ, m, ə, s, jə, tʀ, a, l, i, p, o. Un segment étant évalué sur 2 points, le test ciblé donnait un score total sur 30 points.

Les trois phrases du test exhaustif présentaient 96 segments : b, ɔ̃, ʒ, u, ʀ, m, ə, s, jə, tʀ, a, l, i, p, o / ε, s, k, ə, t, y, k, o, n, e, gl, o, ʃ, ẽ, l, e, k, y, ʀ, oej / i, l, v, ɔ, l, d, e, f, ʀ, ã, b, wa, z. Notons qu'à chaque segment du spectrogramme correspondait un phonème identifié de façon individuelle, sauf les segments /tʀ/, /gl/, /jə/, /oej/ et /wa/ qui comptaient deux phonèmes difficiles à segmenter séparément. En conséquence, les phonèmes /g/, /j/, /oe/ et /w/, qui n'apparaissent qu'au sein de ces entités à deux phonèmes, n'étaient alors pas évalués de manière isolée. En revanche, les autres phonèmes composant ces entités, /t/, /ʀ/, /l/, /ə/ et /a/, étaient évalués à la fois en tant qu'entité et isolément, car ils apparaissaient plusieurs fois au cours des trois phrases. Le score total du test exhaustif n'était pas la somme des scores obtenus à chaque phrase. En effet, chaque phonème avait une fréquence d'apparition différente (par exemple, le /p/ n'était présent qu'une seule fois alors que le /k/ revenait à trois

reprises). Alors, pour ne pas pénaliser les sujets qui avaient un trouble plus marqué sur les phonèmes redondants, le score total a été révisé de telle sorte que chaque phonème soit évalué sur 2 points, et quelle que soit sa fréquence d'apparitions (dans notre exemple : le /k/ qui apparaît trois fois est alors évalué sur 2 points, et non sur  $2 \times 3 = 6$  points). Si la qualité d'articulation n'était pas stable sur les trois occurrences, le score retenu était celui de la prononciation la plus altérée. En somme, le test exhaustif permettait d'obtenir un score sur 64 points.

Inspiré du protocole de DIADOLAB3, une sanction était attribuée selon l'altération commise. Les erreurs pénalisées d'1 point étaient les suivantes : ébauche, imprécision, ajout d'un phonème, substitution d'un trait articulatoire. Les erreurs pénalisées de 2 points étaient : substitution d'au moins deux traits articulatoires, omission, segment non identifiable. Une sanction de 3 points était attribuée en cas d'omission de syllabe, de 4 points en cas d'omission de logatome, et de 5 points en cas d'omission de mots d'au moins deux syllabes. Enfin, la coarticulation normale, la régionalisation et la répétition n'étaient pas sanctionnées. Des exemples explicitant ces sanctions sont présentés en Annexe D.

### 3 Procédure

Les enregistrements ont été réalisés par une étudiante et cinq orthophonistes formées à l'utilisation de DIADOLAB3 (Tableau 3). Les prises de sons ont toutes été effectuées à l'aide d'un microphone unidirectionnel cardioïde ou super cardioïde, relié à un ordinateur où le logiciel DIADOLAB3 était installé.

**Tableau 3**

*Nombre de sujets enregistrés par expérimentateur*

	Nombre sans trouble	Nombre avec trouble	Total par expérimentateur
Etudiante	73	4	<b>77</b>
Orthophoniste 1	0	9	<b>9</b>
Orthophoniste 2	0	3	<b>3</b>
Orthophoniste 3	1	0	<b>1</b>
Orthophoniste 4	0	1	<b>1</b>
Orthophoniste 5	0	1	<b>1</b>

Le lieu de passation dépendait de chaque expérimentateur : au domicile du patient, en cabinet d'orthophonie, ou au sein d'une école. Malgré cela, les enregistrements ont été réalisés dans les mêmes conditions pour tous les sujets.

Installé dans une pièce calme et fermée, chaque sujet était installé en position assise, devant une table où se trouvaient le microphone et l'ordinateur. Il était important que le sujet ne puisse pas voir l'écran de ce dernier afin qu'il ne soit pas distrait ou qu'il ne puisse pas lire les phrases à répéter. La passation était rapide, durant entre 5 et 10 minutes pour chaque sujet.

L'évaluation débutait par une présentation du matériel, afin que l'enfant se familiarise avec le microphone. Puis, le sujet devait répéter chaque phrase prononcée par l'expérimentateur. L'ordre de présentation des phrases était la suivante : « Bonjour Monsieur Tralipau », « Est-ce que tu connais Glochin l'écureuil ? » puis « Il vole des framboises ». La consigne était la suivante : « Ecoute bien, je vais te dire une phrase et tu vas la répéter du mieux que tu peux. ». Il était possible de faire un deuxième essai, si le sujet parlait trop fort, risquant de saturer le fichier son, ou s'il était en difficulté à cause de son trouble ou d'une émotion trop intense. Dans ce cas, un deuxième enregistrement était réalisé à la suite de la consigne suivante : « On va faire un deuxième essai. Je vais te dire la phrase une deuxième fois, et tu la répètes du mieux que tu peux ». La meilleure des deux productions a été gardée. A la fin de la passation, il convenait de remercier chaque sujet.

Afin d'assurer la confidentialité des sujets, chaque fichier son a été anonymisé selon ce modèle : Initiales de l'expérimentateur + Numéro du sujet + \_Premières lettres du prénom + \_Phrase + -p + Référence de la nomenclature du trouble + Sexe + Age. Exemple : TB001\_CLEM\_tralipau-p000F6. La référence de la nomenclature du trouble était un code, issu de DIADOLAB3, permettant de coter la présence du trouble ainsi que sa nature. Les sujets ont ainsi été répertoriés selon quatre codes : sans trouble (p000), TSP de type trouble phonologique (p310), TSP de type trouble d'articulation (p320), TSP et TDL (p400).

Enfin, la cotation des spectrogrammes de chaque sujet a été reportée sur un fichier Excel afin de calculer les scores et d'effectuer les analyses descriptives.

### III Résultats

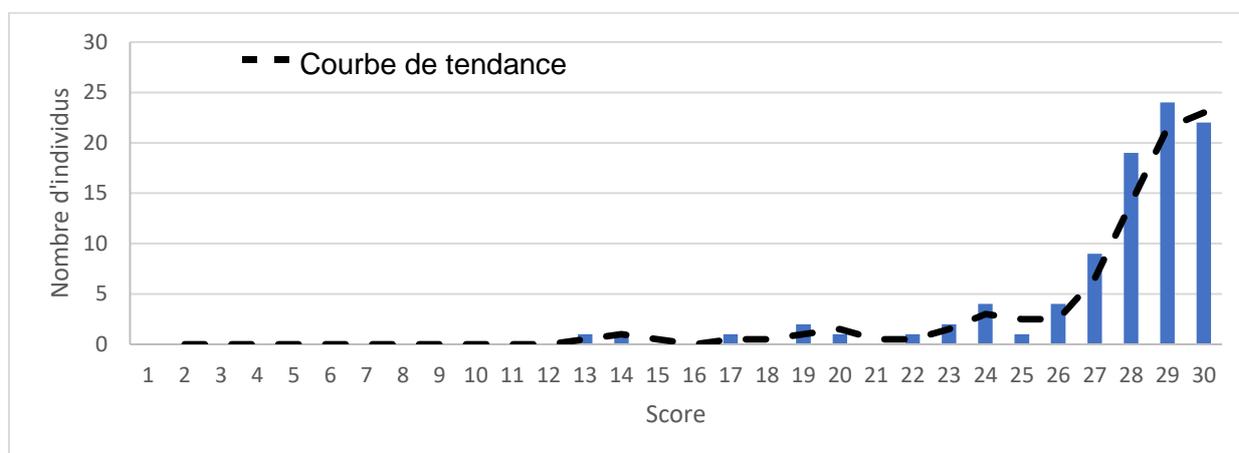
Afin d'étudier la capacité du test ciblé à évaluer les productions phonologiques, les résultats obtenus aux deux tests par tous les sujets ont été comparés. L'étude a porté sur l'ensemble de l'échantillon en tant qu'un seul et même groupe. En effet, les sujets n'ont pas été répartis dans des sous-groupes en fonction de certains paramètres, comme l'âge ou la présence de trouble, car l'objectif de l'étude n'était pas d'étudier des normes ou des seuils de pathologies, mais seulement de comparer les résultats d'un test ciblé avec ceux d'un test plus exhaustif.

#### 1 Comparaison relative aux scores obtenus

Chaque sujet a obtenu un score pour le test ciblé et un score pour le test exhaustif. Tout d'abord, voici les deux histogrammes (Figures 3 et 4) issus des deux tests, qui rendent compte de la répartition des scores, c'est-à-dire du nombre d'individus ayant obtenu le même score.

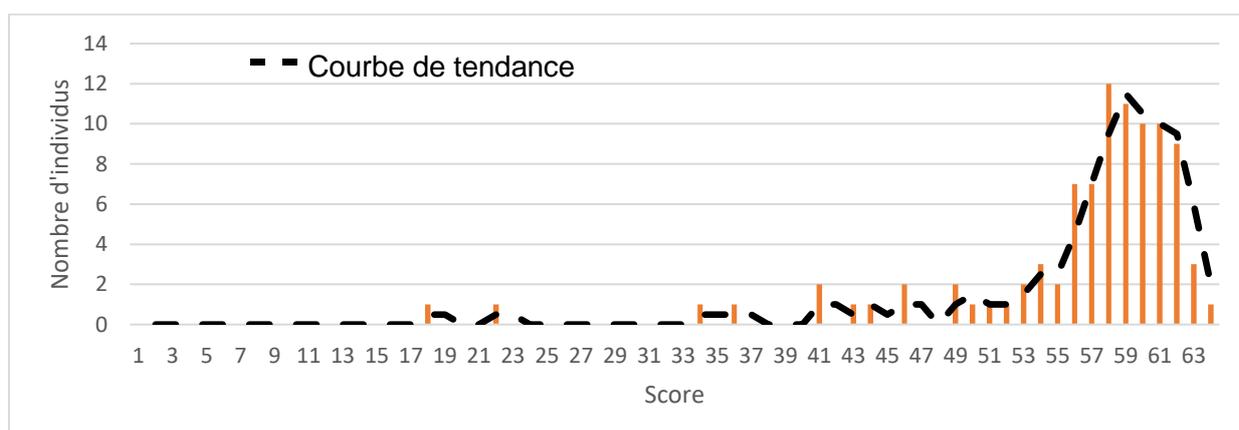
**Figure 3**

*Nombre d'individus par score pour le test ciblé*



**Figure 4**

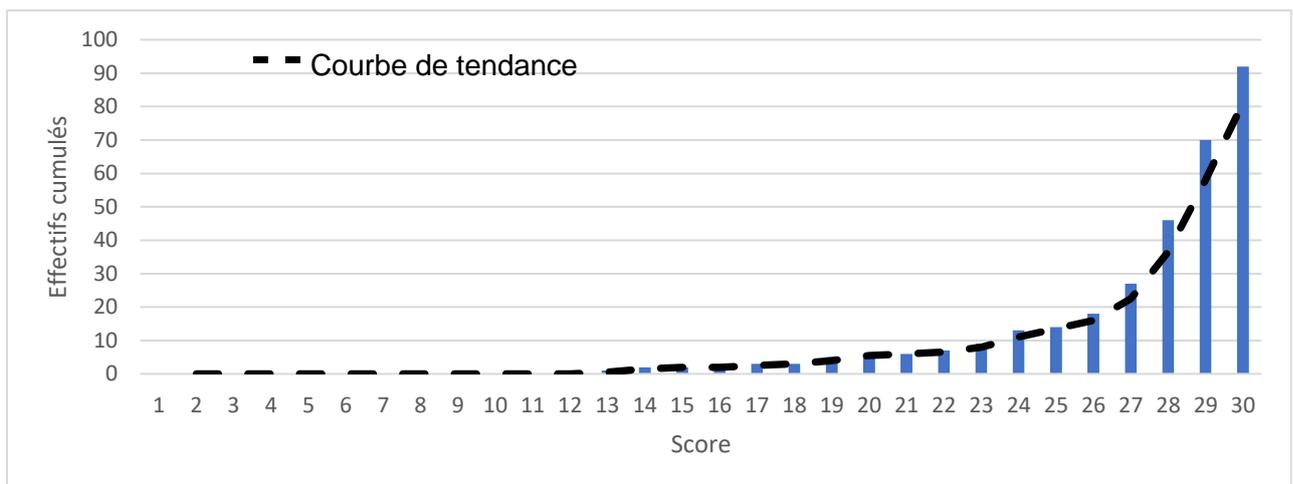
*Nombre d'individus par score pour le test exhaustif*



Les courbes de tendance, en pointillé, dessinent l'allure des histogrammes et permettent de constater une similitude entre les deux distributions. Néanmoins, les courbes présentent une allure finale différente : celle du test ciblé indique que la note maximale de 30/30 a été obtenue par 23 individus, ce qui est un grand effectif, tandis que celle du test exhaustif indique que le score maximal de 64/64 n'a été obtenu que par un seul individu. Cela s'explique par le fait que l'éventail de notes était plus large pour le test exhaustif (de 0 à 64) que pour le test ciblé (de 0 à 30). Ainsi, le test exhaustif a pu évaluer les sujets avec davantage de nuances. En effet, les 23 meilleurs individus qui ont eu 30/30 au test ciblé sont répartis sur les quatre meilleures notes du test exhaustif : un individu à 64/64, trois à 63/64, neuf à 62/64 et 10 à 61/64. D'ailleurs, ce phénomène est gommé lorsque les histogrammes rendent compte des effectifs cumulés des individus par score (Figures 5 et 6) :

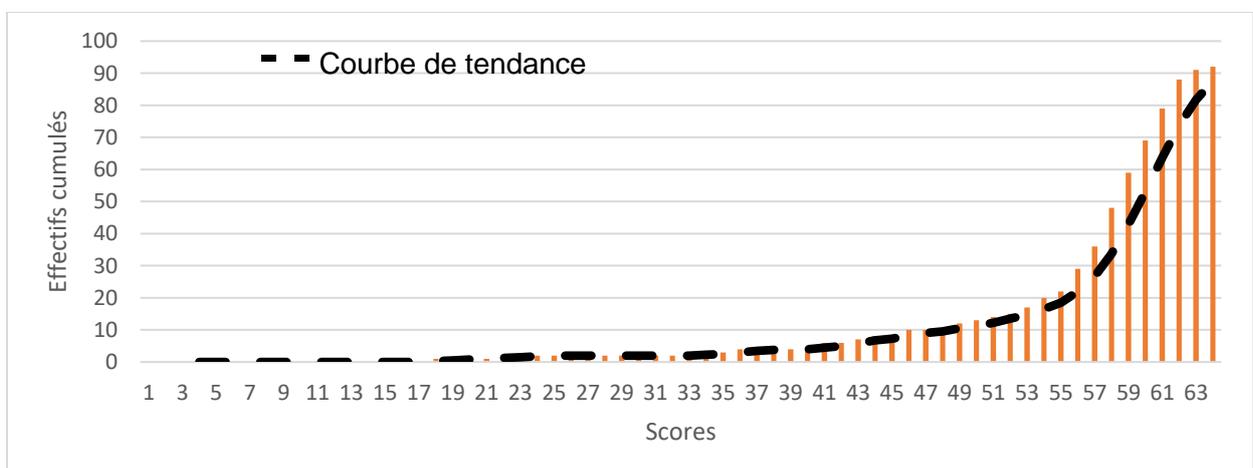
**Figure 5**

*Effectifs cumulés par score pour le test ciblé*



**Figure 6**

*Effectifs cumulés par score pour le test exhaustif*



Les courbes de tendance de ces deux histogrammes sont à nouveau très similaires. Cela confirme l'équivalence des distributions entre les deux tests.

### 1.1 Etude approfondie des sujets les moins performants

Puis, il était intéressant de vérifier que les tests montraient les mêmes tendances pour les mêmes individus, autrement dit, que les sujets les moins performants au test ciblé étaient les mêmes qu'au test exhaustif. Il s'agissait en effet de vérifier que le test ciblé n'ait pas sous-estimé ou surestimé les performances des sujets, bien qu'il les ait évalués sur moins de phonèmes que le test exhaustif.

Pour cela, il convenait d'étudier plus précisément les scores des individus se situant en-dessous d'un seuil arbitraire et calculé de la même manière pour les deux tests. La valeur de ce seuil était la différence de la moyenne (M) et de l'écart-type (ET) des scores. Pour rappel, l'ET correspond à la moyenne des distances de chaque score à la moyenne des scores. Notons que la distribution des scores ayant été semblable pour les deux tests, cette valeur (M-ET) a eu la même signification discriminatoire pour les deux tests : correspondant au 10<sup>e</sup> percentile, elle a distingué la même proportion d'individus. Le tableau 4 présente les calculs effectués :

**Tableau 4**

*Calcul de la valeur discriminatoire pour les deux tests*

Test ciblé			Test exhaustif		
Moyenne des scores M	Ecart-type des scores ET	Valeur discriminatoire : M - ET	Moyenne des scores M	Ecart-type des scores ET	Valeur discriminatoire : M - ET
27,46	3,38	24,08	56,05	7,95	48,10

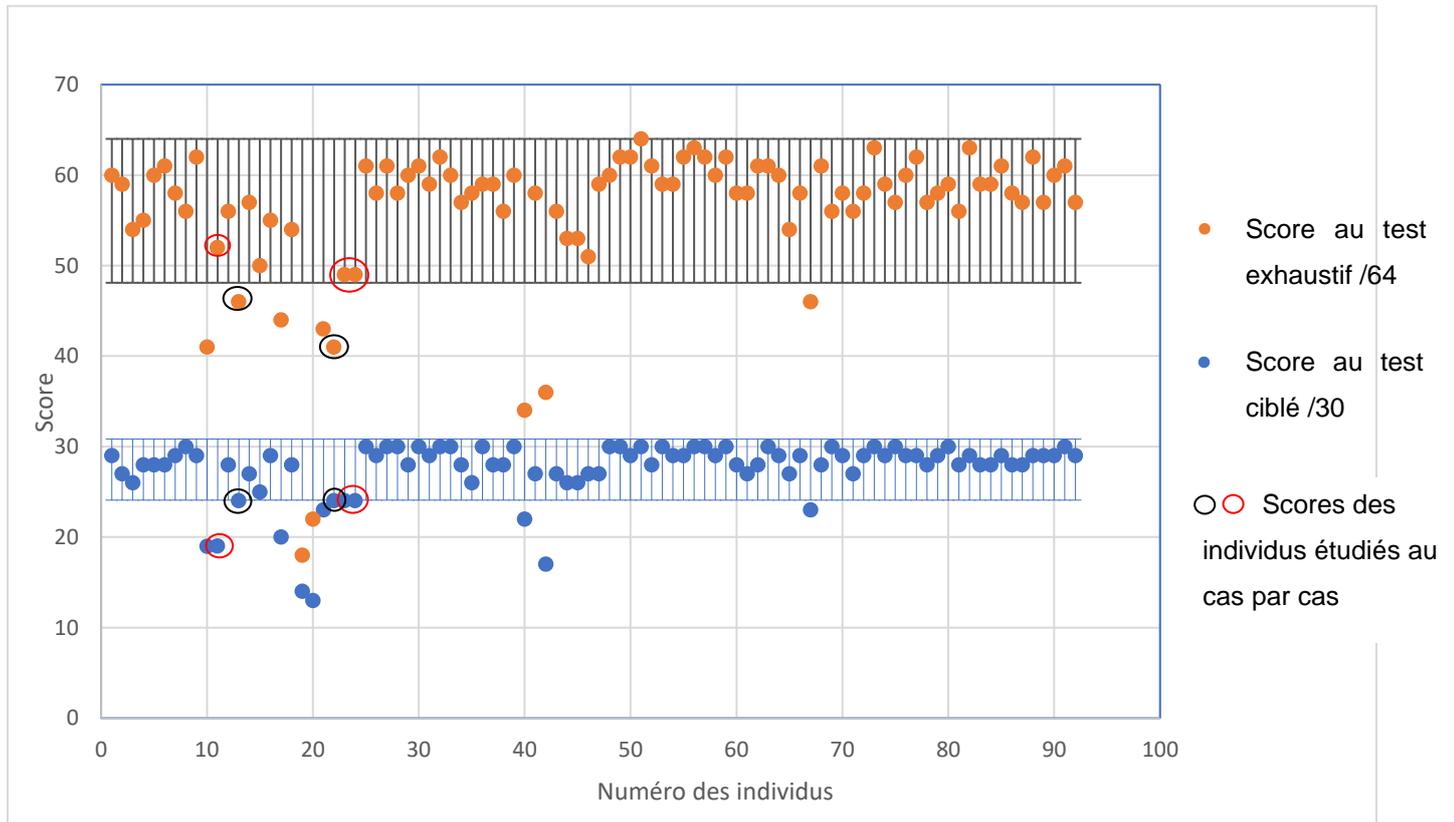
D'après le tableau 4, la valeur discriminatoire du test ciblé est de 24,08 et celle du test exhaustif est de 48,10. Ainsi, l'étude approfondie a concerné les sujets dont le score était inférieur à 24,08 pour le test ciblé, et inférieur à 48,10 pour le test exhaustif.

Il est important de comprendre que la valeur limite (M-ET) ne correspond pas à un seuil de pathologie, mais à une valeur discriminante des sujets les moins performants aux tests. Son étude a permis de regarder si le test ciblé était bien représentatif du test exhaustif.

Pour repérer les sujets situés en-dessous de la valeur seuil, les scores obtenus par chaque individu aux deux tests ont été reportés sur ce diagramme en nuage de points (Figure 7) :

**Figure 7**

*Score obtenu aux deux tests, par individu*



*Remarque.* Voici quelques éléments pour aider à la lecture du diagramme : les individus sont représentés par des numéros, de 1 à 92. Deux points sont attribués à chaque sujet : un bleu qui correspond à son score au test ciblé et un orange qui correspond à son score au test exhaustif. La bande hachurée qui encadre une partie des points bleus délimite la zone de scores [M-ET ; M+ET] du test ciblé, et celle qui encadre les points orange représente la zone de scores [M-ET ; M+ET] du test exhaustif. Ainsi, les points qui ne se situent pas dans les zones hachurées représentent les individus dont les scores sont inférieurs à la valeur seuil sus citée : 24,08 pour le test ciblé, et 48,10 pour le test exhaustif.

D'après le test ciblé, 13 individus ont un score significativement éloigné de la moyenne. Voici leur numéro : 10, 11, 13, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 40, 42, 67.

D'après le test exhaustif, 10 individus ont un score significativement éloigné de la moyenne. Voici leur numéro : 10, 13, 17, 19, 20, 21, 22, 40, 42, 67. Ils sont tous également discriminés par le test ciblé.

Les deux tests ont donc été en désaccord pour trois individus, que le test ciblé a évalués plus sévèrement : n°11, 23 et 24 (entourés en rouge sur le diagramme). Il était ensuite intéressant de comprendre les raisons de cette discordance.

### 1.1.1 Individu n°11

Ce sujet a obtenu le score de 19/30 (63,33% de réussite) au test ciblé et 52/64 (81,25% de réussite) au test exhaustif. L'écart de pourcentage de réussite est sensible (17,92%) et montre que le test exhaustif a estimé que ce sujet était bien plus performant que ne l'a estimé le test ciblé. Le détail de ses scores a aidé à comprendre cette différence (Tableau 5) :

**Tableau 5**

*Scores obtenus par l'individu n°11*

	Tralipau	Glochin	Framboises	3 phrases
Individu n°11	19/30 = 63,33%	40/40 = 100%	25/26 = 96,15%	52/64 = 81,25%

Le sujet a obtenu la note maximale pour « Est-ce que tu connais Glochin l'écureuil ? », ce qui signifie qu'il n'a pas déformé de phonèmes. Puis il a obtenu 25/26 pour « Il vole des framboises ». Voici sa production : [ilvɔldefrɔbwas]. Il a ainsi perdu un unique point pour la désonorisation du /z/ en /s/. Il y a donc une réelle discordance entre la prononciation de ces deux phrases et de « Bonjour Monsieur Tralipau », à laquelle il a obtenu le score de 19/30. Voici sa production : [bɛfjuesjetɾɛipo]. Il a donc commis de nombreuses altérations : substitutions de voyelles (/ɔ̃/ par /ə/, /jə/ par /je/, /a/ par /ɛ/), désonorisation du /z/ et des omissions de trois consonnes (/R, m, l/). Notons par ailleurs qu'il s'agissait d'un enfant de 5 ans qui n'avait pas de diagnostic orthophonique.

### 1.1.2 Individus n°23 et 24

Ces sujets ont tous deux obtenu 24/30 (80% de réussite) au test ciblé, et 49/64 (76,56% de réussite) au test exhaustif. L'écart de pourcentage de réussite n'étant pas sensible (3,44%), les deux tests ont donc évalué les performances de ces individus de manière équivalente. Notons par ailleurs qu'un écart de pourcentage de réussite était

inévitables pour chaque sujet. En effet, le test exhaustif proposant un éventail de notes plus large, son évaluation était plus fine que celle du test ciblé et a ainsi attribué des scores légèrement au-dessus ou en-dessous des scores du test ciblé. En revanche, cette légère différence de nuance a impacté la discrimination de ces sujets limites : le test ciblé les a situés juste en-dessous de la valeur discriminatoire (0,8 points en-dessous), ce qui, sur le diagramme, les place quasiment sur cette valeur, alors que le test exhaustif les a clairement situés au-dessus de cette valeur (1,90 points au-dessus).

Cette différence de nuance s'est aussi retrouvée chez les individus 13 et 22 (entourés en noir sur le diagramme). En effet, ces sujets ont été discriminés en-dessous de la valeur limite par les deux tests, mais tandis que le test ciblé les a situés juste en-dessous (0,8 points en-dessous), le test exhaustif leur a attribué un score qui les a éloignés davantage de la valeur seuil (respectivement 2,10 points et 7 points en-dessous).

## **2 Comparaison relative aux altérations commises**

Ensuite, il était intéressant de regarder si la qualité de réalisation des processus de parole du test ciblé était représentative de celle des phonèmes du test exhaustif. Pour cela, l'altération des processus de parole du test ciblé a été comparée à celle des phonèmes du test exhaustif, selon le postulat des processus explicités plus haut. Pour mieux comprendre, voici un exemple avec les occlusives sourdes /p, t, k/ du test exhaustif, représentées par le /p/ du test ciblé : si le /p/ du test ciblé n'était pas altéré, les phonèmes /p, t, k/ du test exhaustif devaient également être bien réalisés, et inversement.

Par souci du temps requis par cette analyse, cette étude a été effectuée uniquement sur les sujets discriminés. Les tableaux d'analyse des sujets étudiés sont en Annexe E.

### **2.1 Etude des productions des individus exclus par les deux tests**

Cette comparaison a tout d'abord été réalisée pour les 10 individus exclus par les deux tests (n° 10, 13, 17, 19, 20, 21, 22, 40, 42, 67) afin de voir si les deux tests avaient exclu les mêmes individus pour les mêmes difficultés phonologiques.

**Tableau 6**

*Pourcentage de cohérence d'altérations phonologiques entre les deux tests, pour les 10 individus discriminés par les deux tests.*

Occlusion sourde	Occlusion sonore	Occlusion nasale	Constriction sourde	Constriction sonore	Vocaliques	Voyelles orales	Voyelles nasales	Clusters	Glissante + voyelle
80%	80%	100%	100%	80%	90%	80%	60%	80%	90%

D'après le tableau 6, l'extrapolation des résultats du test ciblé était alors représentative à 100% pour les occlusives nasales et les constrictives sourdes, à 90% pour les vocaliques et les glissantes, et à 80% pour les occlusives sourdes et sonores, les constrictives sonores, les voyelles orales et les clusters. Le processus qui a été le moins bien représenté est celui des voyelles nasales, avec 60% de fiabilité. Globalement, le test ciblé est représentatif du test exhaustif à 83,75% pour les 8 processus, à 85% pour les entités à deux phonèmes, et à 84% en général.

## 2.2 Etude des productions de tous les individus exclus

La même comparaison a été effectuée auprès de l'ensemble des sujets discriminés, afin de voir si les tests ont repéré des altérations pour les mêmes familles de phonèmes, malgré leur désaccord quant à leur discrimination. Le sujet n°11 ayant eu des résultats discordants à cause de facteurs externes (voir Discussion), il a été exclu de cette étude. Cette analyse a alors porté sur les 10 individus exclus par les deux tests, ainsi que sur les sujets n° 23 et 24, discriminés par le test ciblé.

**Tableau 7**

*Pourcentage de cohérence d'altérations phonologiques entre les deux tests, pour les 12 individus en tout*

Occlusion sourde	Occlusion sonore	Occlusion nasale	Constriction sourde	Constriction sonore	Vocaliques	Voyelles orales	Voyelles nasales	Clusters	Glissante + voyelle
83,33%	83,33%	100%	100%	83,33%	83,33%	83,33%	66,67%	83,33%	91,67%

Le tableau 7 montre que le pourcentage de cohérence est toujours à 100% pour les occlusives nasales et les constrictives sourdes, qu'il a augmenté de 6,67% pour les voyelles nasales, de 3,33% pour les occlusives sourdes, les occlusives sonores, les constrictives sonores, les voyelles orales et les clusters, de 1,67% pour les glissantes, et qu'il a diminué de 6,77% pour les vocaliques. En somme, le pourcentage de cohérence a augmenté pour chaque groupe de phonèmes, hormis pour celui des vocaliques.

## **IV Discussion et conclusion**

Dans le cadre du protocole du logiciel DIADOLAB3, le test phonologique du logiciel, composé d'une phrase, a été comparé à un test plus exhaustif, composé de trois phrases et créé pour cette étude. L'objectif de ce travail a été d'évaluer, en comparaison avec le test exhaustif, la capacité du test ciblé à discriminer les sujets les moins performants malgré sa concision et à extrapoler les altérations des processus de parole avec justesse. Ces éléments auront pour finalité d'estimer la nécessité de rajouter les deux phrases créées au protocole du logiciel DIADOLAB3.

Les résultats sont analysés et discutés au regard du postulat du logiciel DIADOLAB3, relatif aux processus de parole, qui à ce jour ne fait pas l'objet d'autres études dans la littérature scientifique. Ainsi, ces résultats n'ont pas pu être comparés à ceux d'autres travaux de recherche.

### **1 Validation des hypothèses**

#### **1.1 Fiabilité de discrimination des sujets les moins performants**

Tout d'abord, la comparaison des diagrammes des deux tests, représentant le nombre d'individus ou les effectifs cumulés d'individus par score, montre que la distribution des scores est similaire pour les deux tests. Autrement dit, cela suggère que chaque sujet a eu une réussite équivalente aux deux tests et qu'ainsi, le test ciblé rend aussi bien compte de la qualité de production phonologique que le test exhaustif. Ce premier aperçu tend à confirmer le postulat du logiciel DIADOLAB3, qui attribue à « Bonjour Monsieur Tralipau » une pertinence suffisante à l'évaluation acoustique de la phonologie (Sicard et Menin-Sicard, 2019). Ainsi, malgré sa concision, cette phrase est à première vue aussi efficace que le test exhaustif.

Ensuite, le diagramme en nuage de points permet d'identifier les sujets discriminés par les deux tests, c'est-à-dire ceux qui ont obtenu des scores trop éloignés de la moyenne. Sur l'ensemble des individus, les deux tests sont en désaccord pour seulement trois d'entre eux : les individus n°11, 23 et 24.

Le sujet n°11 présente des résultats très discordants aux trois phrases. Le détail de ses productions montre de nombreuses altérations pour « Bonjour Monsieur Tralipau » tandis qu'il n'altère qu'un seul phonème lorsqu'il prononce l'ensemble « Est-ce que tu connais Glochin l'écureuil ? » et « Il vole des framboises ». Cela interroge, d'autant plus que cet enfant de 5 ans ne présente pas de diagnostic orthophonique.

Une interprétation possible est que ce jeune enfant ait été impressionné par les conditions de passation et que cette émotion ait compromis sa performance, d'autant plus que « Bonjour Monsieur Tralipau » est la première phrase du protocole à répéter. D'après Prodan (2019), l'état émotif peut en effet conduire à une variabilité intra-locuteur sur la parole.

L'étude du cas n° 11 montre ainsi que l'ajout de deux phrases au protocole ciblé permet de dépenaliser le sujet, si sa performance est compromise à cause de son stress. Cet ajout permet ainsi de diminuer le risque d'analyser des altérations ponctuelles de la parole, liées au contexte d'évaluation qui peut générer des émotions plus ou moins intenses chez les patients. Cela ne concerne néanmoins qu'un sujet sur 92 : il s'agit donc d'un cas isolé.

Ensuite, les sujets n°23 et 24, qui ont été discriminés en-dessous de la valeur seuil par le test ciblé, mais au-dessus par le test exhaustif, ont une caractéristique : leur score au test ciblé avoisine la valeur limite. Cette caractéristique a aussi été retrouvée chez les individus n°13 et 22. Alors que le test ciblé situe le score de ces quatre sujets tout juste sur la valeur discriminatoire, le test exhaustif leur a donné un score qui les discrimine sans ambiguïté : soit clairement au-dessus, soit clairement en-dessous. Cela peut être expliqué par la cotation extrapolée du test ciblé. En effet, lorsque le test ciblé repère l'altération d'un processus de parole, il estime que les autres phonèmes qui ont recours à ce processus le sont aussi, alors que ce n'est pas forcément le cas. Inversement, lorsque le processus de parole est bien réalisé, le test ciblé considère que les autres phonèmes qui ont recours à ce processus le sont aussi, alors que ce n'est pas forcément le cas. Par exemple, dans le cas de l'altération du /p/, le test ciblé considère que toute la famille des occlusives sourdes (/p, t, k/) est altérée, alors qu'il est possible que seuls le /p/ et le /k/ soient échoués au test exhaustif. Ainsi, l'extrapolation de la cotation du test ciblé évalue soit plus sévèrement, soit moins sévèrement les sujets limites que le test exhaustif. C'est pourquoi le test ciblé attribue un score plus cohérent avec le test exhaustif pour les sujets très peu performants (qui altèrent beaucoup de phonèmes) et les sujets très performants (qui font peu d'erreurs) que pour les sujets limites, qui nécessitent un test complémentaire pour les discriminer.

Ainsi, l'étude des cas n° 23, 24, 13 et 22 montre que les sujets qui ont un score qui avoisine la limite discriminatoire du test ciblé ont besoin de l'examen complémentaire du test exhaustif pour être évalués plus finement. Lorsque le test fait

ressortir des scores limites, il est donc nécessaire de tester aussi les patients sur les deux phrases créées.

En somme, sur les 92 sujets, le test exhaustif et le test ciblé concordent pour 89 d'entre eux. Cela signifie que, bien que le test exhaustif apporte une évaluation plus fine grâce à son éventail de notes plus large, les deux tests discriminent les sujets les moins performants avec la même fiabilité et la même efficacité. Néanmoins, l'étude des trois autres sujets indique que le test exhaustif augmente la fiabilité d'évaluation dans deux cas de figure : si l'émotivité liée au contexte d'évaluation compromet la production de « Bonjour Monsieur Tralipau », ou si le score obtenu au test ciblé se situe trop près de la valeur limite. La première hypothèse est donc validée, avec des précautions à prendre pour les deux cas de figure cités.

## **1.2 Fiabilité de représentativité des processus de parole**

Pour les 10 individus discriminés par les deux tests, la réalisation des processus de parole du test ciblé et celle des phonèmes du test exhaustif ont été comparées. Cela a permis de calculer des pourcentages de cohérence d'altérations phonologiques entre les deux tests.

Ces pourcentages montrent que l'extrapolation des résultats du test ciblé est représentative à 84% du test exhaustif : à 100% pour les occlusives nasales et les constrictives sourdes, à 90% pour les vocaliques et les glissantes, et à 80% pour les occlusives sourdes et sonores, les constrictives sonores, les voyelles orales et les clusters. Le processus qui est le moins bien représenté est celui des voyelles nasales, avec 60% de cohérence. Ainsi, lorsque le /ɔ̃/ du test ciblé est bien réalisé, ce n'est pas forcément le cas des autres voyelles nasales. Ce manque de représentativité peut être expliqué par le fait qu'il s'agit de la voyelle nasale dont la production requiert le flux nasal le plus important (Rousteau et Talmant, 2017; Tourmel, 2012). En effet, plus l'air passe dans la cavité nasale, plus le mouvement vélaire est stabilisé, ce qui rend la production de la voyelle plus facile à contrôler (Amelot et al., 2004). Ainsi, les caractéristiques facilitatrices de la production /ɔ̃/ ne permettent pas d'extrapoler sa réalisation aux deux autres voyelles nasales /ã, ẽ/.

Ensuite, les mêmes calculs de pourcentage ont été réalisés pour les 12 individus discriminés par le test ciblé, comprenant ainsi les sujets n° 23 et 24 que le test exhaustif a situé au-dessus de la valeur discriminatoire. Les résultats montrent

que les pourcentages ont augmenté pour tous les groupes de phonèmes, hormis les vocaliques. L'ajout des deux individus a alors augmenté le pourcentage de cohérence d'altération phonémique entre les deux tests. Cela signifie que tandis que les deux tests n'ont pas discriminé les individus n° 23 et 24 de la même manière, ils ont tout de même repéré de façon très fiable des altérations dans les mêmes groupes de phonèmes.

En somme, sauf pour les voyelles nasales, la réalisation des processus de parole du test ciblé est bien représentative de la réalisation des phonèmes du test exhaustif. Néanmoins, pour que l'extrapolation des résultats du test ciblé soit totalement satisfaisante, il faudrait que ce dernier balaie davantage de voyelles nasales. La deuxième hypothèse est donc validée dans son ensemble.

### **1.3 Bilan**

L'étude de ces deux hypothèses apportent ainsi de nouveaux éléments qui confirme l'efficacité du test ciblé, proposé par le logiciel DIADOLAB3. Bien que la phrase « Bonjour Monsieur Tralipau » apporte une évaluation moins fine que le test exhaustif, elle est en effet en pleine cohérence avec ce dernier pour évaluer la production phonologique. Elle ne requiert l'évaluation nuancée du test exhaustif que pour les sujets dont le score avoisine la valeur limite. Elle est donc fiable. Par ailleurs, afin d'être encore plus abouti, le protocole aurait deux pistes d'amélioration. Tout d'abord, le test ciblé composé d'une seule phrase serait en effet plus fin si cette phrase contenait davantage de voyelles nasales. Puis, pour palier le fait qu'un état émotionnel peut compromettre la réalisation phonologique, ce qui est arrivé une seule fois dans cette étude, le protocole du logiciel DIADOLAB3 pourrait éventuellement être complété par la répétition d'une phrase lambda, qui n'aurait pas besoin d'être segmentée, en guise de familiarisation.

## **2 Limites et perspectives**

### **2.1 Limites**

Malgré le soin qui a été apporté à l'élaboration et la mise en pratique de cette étude, certains éléments liés à la méthodologie du protocole peuvent être critiqués.

Deux limites concernant l'échantillon de l'étude peuvent tout d'abord être relevées. En effet, sur les 92 sujets, seulement 17 présentent un diagnostic de TSP.

Si l'échantillon avait comporté plus de sujets avec un trouble, l'analyse des résultats aurait peut-être montré plus de discordances entre le test ciblé et le test exhaustif. Ainsi, les conclusions tirées des analyses réalisées auraient été plus sensibles. Ensuite, un effet plafond ayant été observé à partir de 7 ans dans les deux tests, il aurait été plus pertinent de cibler l'étude sur des sujets entre 4 à 6 ans. En effet, beaucoup de patients présentant un TSP sont dans cette tranche d'âge, et notons que 5 ans est un âge charnière dans le développement de la parole.

Puis, il existe un biais inter-expérimentateur au moment de la passation. En effet, le protocole DIADOLAB3 contient un enregistrement audio de « Bonjour Monsieur Tralipau » qui est présenté à tous les patients, afin que la répétition qui leur est demandée se fasse selon le même modèle. Seulement, cela n'a pas pu se mettre en place pour cette étude à cause de contraintes logistiques. Ainsi, chaque sujet a dû répéter les phrases prononcées par chaque expérimentateur.

Ensuite, l'élaboration des deux phrases complémentaires peut faire l'objet de deux critiques. La première concerne le manque d'exhaustivité phonémique du test exhaustif. En effet, ensemble, les trois phrases ne testent pas la totalité des phonèmes, notamment les consonnes /ɲ, ŋ/ et la semi-consonne /ɥ/. La seconde se rapporte aux phonèmes /g/ et /oe/. En effet, ces derniers n'apparaissant qu'au sein des entités à deux phonèmes, ils ne sont pas évalués individuellement. Ainsi, l'étude de la représentativité de l'altération des processus n'a pas pu être évaluées sur ces deux phonèmes.

Enfin, l'étude de la cohérence d'altérations phonologiques entre les deux tests aurait été plus rigoureuse si elle avait été effectuée sur l'ensemble de l'échantillon. En effet, elle aurait pu rendre compte de la représentativité de la réalisation des processus de parole de manière plus exacte.

## **2.2 Perspectives et implications cliniques**

Ce travail de recherche a été passionnant et son élaboration ainsi que son aboutissement ont soulevé des éléments qui pourraient faire l'objet d'études ultérieures.

Tout d'abord, il serait pertinent de prolonger le travail d'analyse qui a été effectué, en étendant l'étude de la cohérence d'altérations phonologiques à l'ensemble des sujets. Peut-être que cette analyse pourrait être informatisée afin de faciliter cette

opération. Cela apporterait des éléments qui viendraient préciser la qualité d'extrapolation du test ciblé.

Ensuite, cette étude pourrait être réalisée auprès de sujets d'autres tranches d'âges. En effet, pour s'assurer que le test ciblé est suffisant pour évaluer l'ensemble des patients concernés par les troubles de la parole, il faudrait étendre ce travail aux jeunes enfants, en-dessous de 5 ans, et aux adultes.

Puis, les données contenues dans le fichier Excel pourraient permettre d'établir des normes par âge, et ainsi d'étudier les seuils de pathologie. Les normes concerneraient le score obtenu à « Bonjour Monsieur Tralipau » et éventuellement celui obtenu au test exhaustif si cela peut répondre à une certaine problématique, et elles concerneraient aussi le type d'altérations commises par les sujets. En effet, la cotation des erreurs (substitution d'un trait acoustique, substitution de traits acoustiques, ébauche, omission, ajout etc) peut permettre d'étudier l'occurrence des erreurs pour chaque phonème, par âge et par trouble.

Maintenant que l'efficacité de « Monsieur Tralipau » a été attestée, en comparaison avec le test exhaustif, l'accomplissement de ce travail serait de comparer le diagnostic du logiciel DIADOLAB3 avec celui d'une batterie d'évaluation utilisée dans la pratique clinique. Cette comparaison serait intéressante pour déterminer l'efficacité de cette phrase à évaluer les troubles de la parole, mais aussi pour comparer la réalisation des phonèmes du test clinique avec la réalisation des processus de parole. Cela permettrait de qualifier plus précisément les apports du postulat des processus.

Enfin, ce travail a mis en lumière des pistes d'amélioration du protocole ainsi que du logiciel DIADOLAB3. Tout d'abord, comme il a été explicité plus haut, le protocole de passation pourrait éventuellement commencer par la répétition d'une phrase lambda dans le microphone, afin de réduire les biais d'émotivité qui pourraient compromettre la performance de certains patients. Ensuite, le travail de segmentation qui a été effectué a soulevé des points relatifs au logiciel qu'il serait intéressant d'étudier. En effet, le système de cotation des spectrogrammes ne permet pas, pour l'instant, de qualifier tous les types d'altération, tels que l'ébauche, l'imprécision, la répétition de phonème, l'omission de syllabe, de mot ou de logatome. Compléter ce système de cotation pourrait affiner le calcul automatique des scores ainsi que le calcul de l'occurrence des erreurs. Enfin, l'étude du postulat des processus a fait naître une réflexion. En effet, l'élaboration de ce postulat a aussi été pensée en vue de la

rééducation des patients. Effectivement, plutôt que de donner la liste des phonèmes altérés à l'orthophoniste à l'issue du bilan, comme cela peut être le cas avec l'évaluation clinique du répertoire phonétique, le protocole DIADOLAB3 indique quels processus de parole ne sont pas réalisés avec précision par le patient. Ainsi, la démarche de prise de soin ne s'axerait pas sur les phonèmes déformés, mais sur la réalisation de ces processus et leur synchronisation. La réflexion sus citée est ainsi la suivante : les processus retenus par le logiciel DIADOLAB3, qui font références aux traits articulatoires, sont au nombre de quatre : voisement, nasalité, occlusion et constriction. Il manque alors notamment le lieu articulatoire, qui sert pourtant à qualifier les déformations par les orthophonistes, lorsque le patient antériorise ou postériorise des phonèmes. Ce trait, qui est commun aux voyelles et aux consonnes, pourrait ainsi être qualifié par le logiciel. Puis, grâce à l'outil informatique qui permet d'automatiser des calculs, il serait possible de savoir quel processus est majoritairement échoué par le patient : est-ce que le patient rate le plus souvent sa cible car il ne parvient pas à réaliser un mode articulatoire en particulier ? A atteindre le bon lieu articulatoire ? A gérer le voisement et la nasalité ? A combiner et synchroniser deux processus de parole ? Ces éléments apporteraient des informations nouvelles à l'orthophoniste, et l'aideraient à établir des objectifs précis pour la prise en soin des patients.

### **3 Conclusion**

Dans le cadre de l'évaluation acoustique de la parole, cette étude a permis de confirmer l'efficacité du protocole ciblé DIADOLAB3, par rapport à un protocole plus exhaustif. En effet, la comparaison des résultats des deux tests a montré que le test ciblé était représentatif du test exhaustif, quant aux scores des sujets, mais aussi quant à la qualité de réalisation phonologique. Ainsi, la phrase « Bonjour Monsieur Tralipau » ne nécessite pas d'être complétée par deux autres phrases qui permettent de balayer l'ensemble des phonèmes, sauf pour évaluer plus finement les sujets dont le score est limite, et pour vérifier la réalisation de la nasalisation.

Ce travail de recherche ouvre de nombreuses perspectives d'études futures, afin d'apprécier les apports de cette nouvelle forme d'évaluation de la parole. L'outil spectral est en effet un support précieux qui, maintenant qu'il a fait ses preuves dans le domaine de la recherche, apporterait beaucoup à la pratique clinique des orthophonistes.

## Références

- Amelot, A., Roubeau, B., Crevier-Buchman, L., & Maeda, S. (2004). Prise de données simultanées aérodynamiques et fibroscopiques durant la production des voyelles nasales : comparaison avec des données prises séparément. *Proceedings of the Journées d'Etude de la Parole*.
- Baken, R. J., & Orlikoff, R. F. (2000). Clinical measurement of speech and voice. Cengage Learning.
- Boersma, P. & Weenink, D. (2019). Praat: doing phonetics by computer [Computer program]. Version 6.0.50. <http://www.praat.org/>
- Canault, M. (2017). La phonétique articulatoire du français. De Boeck Supérieur.
- Chafcouloff, M. (2004). Voir la parole. Travaux Interdisciplinaires du Laboratoire Parole et Langage d'Aix-en-Provence (TIPA), Laboratoire Parole et Langage < hal-00285553>
- Claude, C. (2012). Impact d'un entraînement prosodique sur l'intelligibilité de sujets dysarthriques chroniques d'étiologie non dégénérative (Doctoral dissertation, Université Claude Bernard Lyon 1).
- Cychosz, M., Edwards, J. R., Munson, B., & Johnson, K. (2019). Spectral and temporal measures of coarticulation in child speech. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 146(6), EL516-EL522. <https://doi.org/10.1121/1.5139201>
- Coquet F., Ferrand P. et Roustit J. (2009). Batterie EVALO 2-6. Isbergues : Ortho-Edition.
- Di Cristo, A. (2013). La prosodie de la parole. De Boeck Supérieur.
- Ganong, W. F. (1980). Phonetic categorization in auditory word perception. *Journal of experimental psychology: Human perception and performance*, 6(1), 110. <https://doi/10.1037/0096-1523.6.1.110>
- Ghio, A., Lalain, M., Giusti, L., Pouchoulin, G., Robert, D., Rebourg, M., ... & Woisard, V. (2018). Une mesure d'intelligibilité par décodage acoustico-phonétique de pseudo-mots dans le cas de parole atypique. In XXXII éme Journées d'Etudes sur la Parole. <https://dx.doi.org/10.21437/jep.2018-33>

- Harrington, J., & Cassidy, S. (2012). *Techniques in speech acoustics* (Vol. 8). Springer Science & Business Media.
- Hirsch, F. (2019). *Fonctionnement et dysfonctionnements en parole* (Doctoral dissertation, Université Sorbonne Nouvelle Paris 3). <hal-02422023>
- Hirsch, F., Ferbach-Hecker, V., Fauvet, F., & Vaxelaire, B. (2006). Étude de la structure formantique des voyelles produites par des locuteurs bègues en vitesses d'élocution normale et rapide. *Jep*, 093-11.
- International Phonetic Association, & International Phonetic Association Staff. (1999). *Handbook of the International Phonetic Association : A guide to the use of the International Phonetic Alphabet*. Cambridge University Press.
- Kamiyama, T., & Vaissière, J. (2017). La prononciation des apprenants de FLE et la phonétique expérimentale. <hal-01437059>
- Kent, R. D., & Vorperian, H. K. (2018). Static measurements of vowel formant frequencies and bandwidths: A review. *Journal of communication disorders*, 74, 74-97. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2018.05.004>
- Laaridh, I., Fredouille, C., Ghio, A., Lalain, M., & Woisard, V. (2018). Evaluation automatique de l'intelligibilité de la parole dans le contexte de cancers de la tête et du cou. <https://dx.doi.org/10.21437/jep.2018-22>
- Lévêque, N., Laganaro, M., Fougeron, C., Delvaux, V., Pernon, M., Borel, S., & Catalano, S. (2016). MonPaGe: un protocole informatisé d'évaluation de la parole pathologique en langue française. *Revue Neurologique*, 172, A162-A163. <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2016.01.386>
- Maeda, S. (1992). Modélisation articulatoire du conduit vocal. *Le Journal de Physique IV*, 2(C1), C1-307. <https://doi.org/10.1051/jp4:1992166>
- Maillart, C., & Schelstraete, M. A. (2004). L'évaluation des troubles phonologiques : illustration de la démarche linguistique par la présentation d'épreuves qualitatives. *Les troubles du langage et du calcul chez l'enfant.*, 113-147.
- Maillart, C. (2006). Le bilan articulatoire et phonologique. L'évaluation du langage et de la voix., 26-51. <http://hdl.handle.net/2268/5886>

- Marchal, M. A. (2011). Précis de physiologie de la production de la parole. Solal. <hal-01476212>
- Martin, P. (2008). Phonétique acoustique : introduction à l'analyse acoustique de la parole. Paris : Armand Colin.
- Mauclair, J., Sicard, E. & Woisard, V. (2017). Etude de paramètres acoustiques des voix de patients traités pour un cancer ORL dans le cadre du projet C2SI. <hal-01510418>
- Menin-Sicard, A., & Sicard, E. (2019a). DIADOLAB 3-Logiciel d'évaluation et de rééducation de la parole-Manuel d'utilisation. Lieu d'édition : GERIP. <hal-02073314>
- Menin-Sicard, A., & Sicard, E. (2019b). Méthodologie d'évaluation objective de la phonologie, de la fluence et de la prosodie-Vers un bilan rapide à destination des orthophonistes. <hal-02127039>
- Meunier, C. (2007). Phonétique acoustique. Auzou P. Les dysarthries, Solal, pp.164-173. <hal-00250272>
- Miller, N., & Lowit, A. (Eds.). (2014). Motor speech disorders : A cross-language perspective (Vol. 12). Multilingual Matters.
- Monso, O. (2013). École publique, école privée. Un éclairage par les statistiques.
- Meynadier, Y. (2013). Éléments de phonétique acoustique. Noël Nguyen, Martine Adda-Decker. Méthodes et outils pour l'analyse phonétique des grands corpus oraux, Hermès, pp.25-83. <hal-01212693>
- Morsomme, D., & Estienne, F. (2006). Le bilan de voix. *Les bilans de langage et de voix*, 300. <http://hdl.handle.net/2268/32246>
- Munot, P., & Neve, F.-X. (2002). Une introduction à la phonétique : manuel à l'intention des linguistes, orthophonistes et logopèdes. Liège : Éd. du CEFAL.
- Prodan, I. C. (2019). Signes, sons et lettres—une lecture actuelle. *ANADISS*, 1(27), 239-242. <https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=775316>
- Rousteau, G., & Talmant, J. C. (2017). L'évaluation des insuffisances vélo-pharyngées par l'aérophonoscope: essai de classification et incidences thérapeutiques. *REV LARYNGOL OTOL RHINOL*, 138(4), 143-156.

- Rusz, J., Bonnet, C., Klempíř, J., Tykalová, T., Baborová, E., Novotný, M., ... & Růžička, E. (2015). Speech disorders reflect differing pathophysiology in Parkinson's disease, progressive supranuclear palsy and multiple system atrophy. *Journal of neurology*, 262(4), 992-1001. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00415-015-7671-1>
- Sicard, E., & Menin-Sicard, A. (2020). Le triangle vocalique et son application en contexte orthophonique (Doctoral dissertation, INSA Toulouse). <hal-02504513>
- Sicard, E., & Menin-Sicard, A. (2019). Analyse de la qualité des phrases pour un bilan objectif de la parole. <hal-02389764, version 2>
- Sicard, E., & Menin-Sicard, A. (2013). Implémentation dans VOCALAB d'indicateurs objectifs de la qualité de la voix dans le cadre de l'évaluation de la voix. *Rééducation orthophonique*, (254), 23-27. <hal-00836912>
- Tourmel, M. (2012). Etablissement de normes de nasalance sur une population adulte de langue maternelle française ne présentant pas de rhinolalie (Doctoral dissertation, University of Geneva). <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:23484>
- Warren, R. M., & Warren, R. P. (1970). Auditory illusions and confusions (Vol. 441). WH Freeman.
- Wioland, F. (1991). Prononcer les mots du français : des sons et des rythmes. Hachette.

## Annexes

### Annexe A : Description de l'échantillon

**Tableau 1 de l'Annexe A**

*Nombre de sujets par âge*

5 ans	24
6 ans	22
7 ans	21
8 ans	25
<b>Nombre total de sujets</b>	<b>92</b>

**Tableau 2 de l'Annexe A**

*Nombre de sujets par âge et par sexe*

	5 ans	6 ans	7 ans	8 ans	<b>Total par sexe</b>
Filles	15	7	12	12	<b>46</b>
Garçons	9	15	9	13	<b>46</b>

**Tableau 3 de l'Annexe A**

*Nombre de sujets par âge et par présence de trouble de la parole*

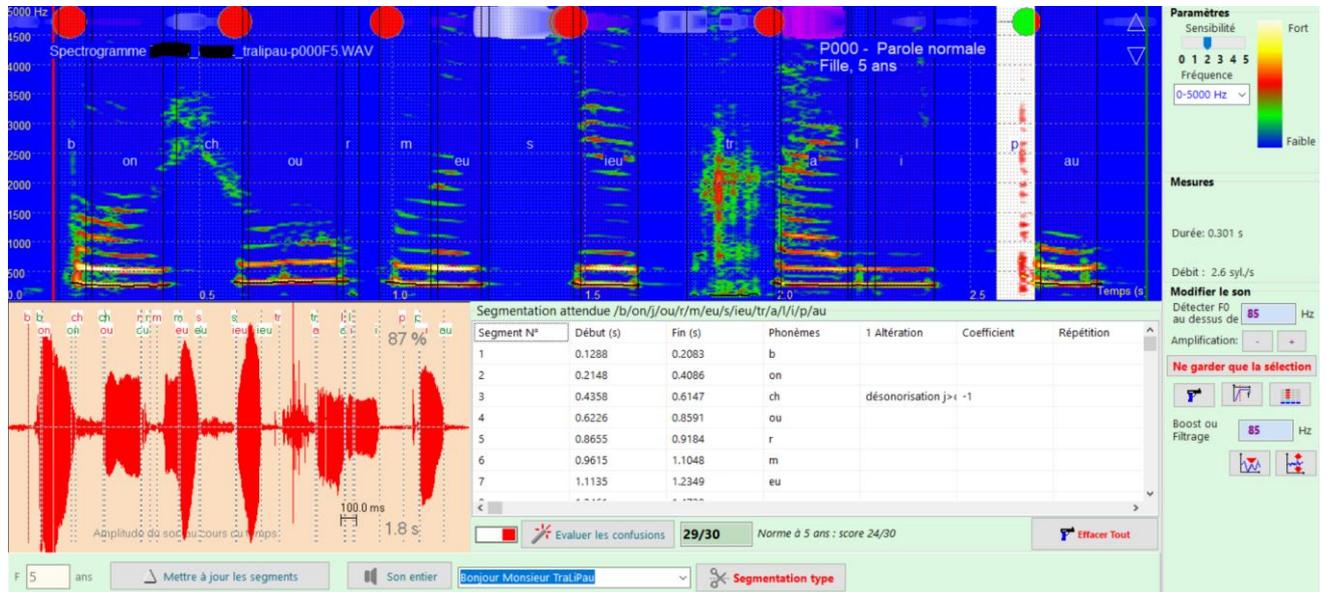
	5 ans	6 ans	7 ans	8 ans	<b>Total par présence de trouble</b>
Sans trouble	14	15	20	25	<b>74</b>
Avec trouble	10	7	1	0	<b>18</b>

## Annexe B : Présence des phonèmes dans chaque test

			Test ciblé	Test exhaustif	
Occlusive	Sourde	/p/			
		/t/			
		/k/			
	Sonore	/b/			
		/d/			
	Nasale	/m/			
		/n/			
Constrictive	Sourde	/f/			
		/s/			
		/ʃ/			
	Sonore	/v/			
		/z/			
		/ʒ/			
Vocalique	Latérale	/l/			
	Vibrante	/ʀ/			
Voyelles	Orales	/a/			
		/e/			
		/ɛ/			
		/ə/			
		/i/			
		/o/			
		/ɔ/			
		/u/			
		/y/			
			Nasales	/ɑ̃/	
			/ɛ̃/		
			/ɔ̃/		
	5 entités	Clusters	/tr/		
/gl/					
	Glissante + voyelle	/wa/			
		/oej/			
		/jə/			

*Remarque.* En gris : présence du phonème dans le test ; en blanc : absence du phonème dans le test.

## Annexe C : Exemple de segmentation issue du logiciel DIADOLAB3



## Annexe D : Tableau des altérations

Type d'altérations	Perception auditive	Spectrogramme	Cotation	Exemples
<b>Omission</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Voyelle</li> <li>- Consonne</li> <li>- Cluster</li> </ul>	Phonème auditivement non perceptible	Phonème invisible spectralement	-2	Onjour Tralip Alipau
<b>Phonème impossible à identifier</b>	Perceptible mais non catégorisable ni identifiable	Visible et segmentable	-2	Click, bruit singulier, coup de glotte ou autre
<b>Substitution 2 traits</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Consonne</li> <li>- Voyelle</li> <li>- Entité à deux phonèmes : cluster et glissante</li> </ul>	Aisément perceptible en réécoute sélective	Bien visible et segmentable sur le spectre	-2	Bonsour Glocha Kalipau
<b>Ajout de phonème</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Voyelle (<i>hors régionalisation</i>)</li> <li>- Consonne</li> </ul>	Aisément perceptible en réécoute sélective	Visible et segmentable sur le spectre	-1	Golochin Tralkipau
<b>Substitution 1 trait</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sonorisation</li> <li>- Assourdissement</li> <li>- Nasalisation</li> <li>- Dénasalisation</li> <li>- Assimilation</li> </ul>	Moins facile à percevoir Plusieurs réécoutes nécessaires	A rapprocher des profils types standards pour valider + allure temporelle	-1	Bonchour Tralimau Tonnais
<b>Imprécision</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Voyelle</li> <li>- Consonne</li> <li>- Sigmatisme</li> <li>- Schlintement</li> <li>- Glissante</li> </ul>	Difficile à percevoir auditivement Plusieurs réécoutes nécessaires	A rapprocher des profils types Standard pour valider + allure temporelle	-1	
<b>Ebauche</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Voyelles</li> <li>- Consonnes</li> </ul>	A peine perceptible	Bout de segment visible sur le spectre	-1	

<b>Répétition</b> - Phonèmes - Syllabes - Mots	Facile à percevoir auditivement	Bout de segment visible sur le spectre	0 Sanctionnée dans la fluence uniquement	
<b>Régionalisation</b>	A peine perceptible	A peine visible	0	é/è o/au eu/e in/un ajout d'un e final
<b>Coarticulation normale</b>	Déformation visible chez la grande majorité des tout-venants	Visible sur le spectre + réécoute sélective	0	-/t/ de « tu » fricativé -/o/ de « glochin » et de « connais » transformés en /ə/

## Annexe E : Tableaux d'analyse phonologique des 12 sujets discriminés

Individu n°10 (TB022)

			Test ciblé	Test exhaustif	Respect de l'extrapolation
Occlusive	Sourde	/p/			<b>NON</b>
		/t/			
		/k/			
	Sonore	/b/			OUI
		/d/			
	Nasale	/m/			OUI
		/n/			
Constrictive	Sourde	/f/			OUI
		/s/			
		/ʃ/			
	Sonore	/v/			OUI
		/z/			
		/ʒ/			
Vocalique	Latérale	/l/			OUI
	Vibrante	/R/			
Voyelles	Orales	/a/			OUI
		/e/			
		/ɛ/			
		/ə/			
		/i/			
		/o/			
		/ɔ/			
		/u/			
		/ʏ/			
	Nasales	/ã/			OUI
		/ɛ̃/			
		/õ/			
		/ɔ̃/			
5 entités	Clusters	/tr/			OUI
		/ql/			
	Glissante + voyelle	/wa/			OUI
		/oej/			
		/jə/			

*Remarque.* Case verte : phonème bien réalisé par le sujet ; case rouge : phonème altéré par le sujet.

Individu n°13 (TB025)

			Test ciblé	Test exhaustif	Respect de l'extrapolation
Occlusive	Sourde	/p/			OUI
		/t/			
		/k/			
	Sonore	/b/			NON
		/d/			
	Nasale	/m/			OUI
		/n/			
Constrictive	Sourde	/f/			OUI
		/s/			
		/ʃ/			
	Sonore	/v/			OUI
		/z/			
		/ʒ/			
Vocalique	Latérale	/l/			OUI
	Vibrante	/r/			
Voyelles	Orales	/a/			NON
		/e/			
		/ɛ/			
		/ə/			
		/i/			
		/o/			
		/ɔ/			
		/u/			
		/ʏ/			
	Nasales	/ã/			OUI
		/ẽ/			
		/õ/			
5 entités	Clusters	/tr/			NON
		/ql/			
	Glissante + voyelle	/wa/			OUI
		/oej/			
		/jə/			

*Remarque.* Case verte : phonème bien réalisé par le sujet ; case rouge : phonème altéré par le sujet.

Individu n°17 (SM070)

			Test ciblé	Test exhaustif	Respect de l'extrapolation	
Occlusive	Sourde	/p/			OUI	
		/t/				
		/k/				
	Sonore	/b/			OUI	
		/d/				
	Nasale	/m/			OUI	
		/n/				
Constrictive	Sourde	/f/			OUI	
		/s/				
		/ʃ/				
	Sonore	/v/			OUI	
		/z/				
		/ʒ/				
Vocalique	Latérale	/l/			OUI	
	Vibrante	/ʀ/				
Voyelles	Orales	/a/			OUI	
		/e/				
		/ɛ/				
		/ə/				
		/i/				
		/o/				
		/ɔ/				
		/u/				
		/y/				
			Nasales	/ã/		
		/ẽ/				
		/ĩ/				
	5 entités	Clusters	/tr/			<b>NON</b>
/ql/						
	Glissante + voyelle	/wa/			OUI	
		/oej/				
		/jə/				

*Remarque.* Case verte : phonème bien réalisé par le sujet ; case rouge : phonème altéré par le sujet.

Individu n°19 (MB002)

			Test ciblé	Test exhaustif	Respect de l'extrapolation
Occlusive	Sourde	/p/			OUI
		/t/			
		/k/			
	Sonore	/b/			
		/d/			
	Nasale	/m/			
/n/					
Constrictive	Sourde	/f/			OUI
		/s/			
		/ʃ/			
	Sonore	/v/			
		/z/			
		/ʒ/			
Vocalique	Latérale	/l/			OUI
	Vibrante	/r/			
Voyelles	Orales	/a/			OUI
		/e/			
		/ɛ/			
		/ə/			
		/i/			
		/o/			
		/ɔ/			
		/u/			
		/ʊ/			
		Nasales	/ã/		
	/ẽ/				
	/õ/				
	/õ/				
	5 entités	Clusters	/tr/		
/ql/					
Glissante + voyelle		/wa/			OUI
		/oej/			
		/jə/			

*Remarque.* Case verte : phonème bien réalisé par le sujet ; case rouge : phonème altéré par le sujet.

Individu n°20 (MB003)

			Test ciblé	Test exhaustif	Respect de l'extrapolation
Occlusive	Sourde	/p/	Red	Red	OUI
		/t/	White	Red	
		/k/	White	Red	
	Sonore	/b/	Red	Red	OUI
		/d/	White	Red	
	Nasale	/m/	Red	Red	OUI
		/n/	White	Red	
Constrictive	Sourde	/f/	White	Green	OUI
		/s/	Red	Red	
		/ʃ/	Red	Red	
	Sonore	/v/	White	Green	OUI
		/z/	White	Red	
		/ʒ/	Green	Green	
Vocalique	Latérale	/l/	Red	Red	OUI
	Vibrante	/r/	Red	Red	
Voyelles	Orales	/a/	Red	Red	OUI
		/e/	White	Red	
		/ɛ/	White	Red	
		/ə/	Green	Green	
		/i/	Red	Red	
		/o/	Green	Red	
		/ɔ/	White	Green	
		/u/	Red	Red	
		/y/	White	Red	
		Nasales	/ã/	White	
	/ẽ/		White	Red	
	/õ/		Red	Red	
	5 entités	Clusters	/tr/	Red	
/ql/			White	Red	
Glissante + voyelle		/wa/	White	Red	OUI
		/oej/	White	Green	
		/jə/	Red	Red	

Remarque. Case verte : phonème bien réalisé par le sujet ; case rouge : phonème altéré par le sujet.

Individu n°21 (SH011)

			Test ciblé	Test exhaustif	Respect de l'extrapolation	
Occlusive	Sourde	/p/			OUI	
		/t/				
		/k/				
	Sonore	/b/			OUI	
		/d/				
	Nasale	/m/			OUI	
		/n/				
Constrictive	Sourde	/f/			OUI	
		/s/				
		/ʃ/				
	Sonore	/v/			OUI	
		/z/				
		/ʒ/				
Vocalique	Latérale	/l/			OUI	
	Vibrante	/r/				
Voyelles	Orales	/a/			<b>NON</b>	
		/e/				
		/ɛ/				
		/ə/				
		/i/				
		/o/				
		/ɔ/				
		/u/				
		/y/				
		Nasales	/ã/			
			/ẽ/			
			/õ/			
5 entités	Clusters	/tr/			OUI	
		/ql/				
	Glissante + voyelle		/wa/			OUI
		/oej/				
		/jə/				

*Remarque.* Case verte : phonème bien réalisé par le sujet ; case rouge : phonème altéré par le sujet.

Individu n°22 (SH005)

			Test ciblé	Test exhaustif	Respect de l'extrapolation
Occlusive	Sourde	/p/			OUI
		/t/			
		/k/			
	Sonore	/b/			OUI
		/d/			
	Nasale	/m/			OUI
/n/					
Constrictive	Sourde	/f/			OUI
		/s/			
		/ʃ/			
	Sonore	/v/			<b>NON</b>
		/z/			
		/ʒ/			
Vocalique	Latérale	/l/			<b>NON</b>
	Vibrante	/R/			
Voyelles	Orales	/a/			OUI
		/e/			
		/ɛ/			
		/ə/			
		/i/			
		/o/			
		/ɔ/			
		/u/			
		/ʏ/			
		Nasales	/ã/		
	/ẽ/				
	/õ/				
	/ũ/				
	5 entités	Clusters	/tr/		
/ql/					
Glissante + voyelle	/wa/			OUI	
	/oej/				
	/jə/				

*Remarque.* Case verte : phonème bien réalisé par le sujet ; case rouge : phonème altéré par le sujet.

Individu n°23 (SH009)

			Test ciblé	Test exhaustif	Respect de l'extrapolation
Occlusive	Sourde	/p/			OUI
		/t/			
		/k/			
	Sonore	/b/			OUI
		/d/			
	Nasale		/m/		
/n/					
Constrictive	Sourde	/f/			OUI
		/s/			
		/ʃ/			
	Sonore	/v/			OUI
		/z/			
		/ʒ/			
Vocalique	Latérale	/l/			OUI
	Vibrante	/r/			
Voyelles	Orales	/a/			OUI
		/e/			
		/ɛ/			
		/ə/			
		/i/			
		/o/			
		/ɔ/			
		/u/			
		/ʏ/			
		Nasales	/ã/		
	/ẽ/				
	/õ/				
	/õ/				
	5 entités	Clusters	/tr/		
/ql/					
Glissante + voyelle		/wa/			OUI
	/oej/				
	/jə/				

*Remarque.* Case verte : phonème bien réalisé par le sujet ; case rouge : phonème altéré par le sujet.

Individu n°24 (SH010)

			Test ciblé	Test exhaustif	Respect de l'extrapolation		
Occlusive	Sourde	/p/			OUI		
		/t/					
		/k/					
	Sonore	/b/				OUI	
		/d/					
	Nasale		/m/				OUI
/n/							
Constrictive	Sourde	/f/			OUI		
		/s/					
		/ʃ/					
	Sonore	/v/				OUI	
		/z/					
		/ʒ/					
Vocalique	Latérale	/l/			<b>NON</b>		
	Vibrante	/ʀ/					
Voyelles	Orales	/a/			OUI		
		/e/					
		/ɛ/					
		/ə/					
		/i/					
		/o/					
		/ɔ/					
		/u/					
		/ʊ/					
	Nasales	/ã/				OUI	
		/ẽ/					
		/õ/					
	5 entités	Clusters	/tr/				OUI
			/ql/				
	Glissante + voyelle		/wa/				OUI
/oej/							
/jə/							

Remarque. Case verte : phonème bien réalisé par le sujet ; case rouge : phonème altéré par le sujet.

Individu n°40 (TB003)

			Test ciblé	Test exhaustif	Respect de l'extrapolation			
Occlusive	Sourde	/p/			<b>NON</b>			
		/t/						
		/k/						
	Sonore	/b/			OUI			
		/d/						
	Nasale	/m/			OUI			
		/n/						
Constrictive	Sourde	/f/			OUI			
		/s/						
		/ʃ/						
	Sonore	/v/			OUI			
		/z/						
		/ʒ/						
Vocalique	Latérale	/l/			OUI			
	Vibrante	/R/						
Voyelles	Orales	/a/			OUI			
		/e/						
		/ɛ/						
		/ə/						
		/i/						
		/o/						
		/ɔ/						
		/u/						
		/y/						
			Nasales	/ã/				<b>NON</b>
				/ẽ/				
	/õ/							
5 entités	Clusters	/tr/			OUI			
		/ql/						
	Glissante + voyelle	/wa/			OUI			
		/oej/						
		/jə/						

*Remarque.* Case verte : phonème bien réalisé par le sujet ; case rouge : phonème altéré par le sujet.

Individu n°42 (MB001)

			Test ciblé	Test exhaustif	Respect de l'extrapolation	
Occlusive	Sourde	/p/			OUI	
		/t/				
		/k/				
	Sonore	/b/			<b>NON</b>	
		/d/				
	Nasale	/m/			OUI	
		/n/				
Constrictive	Sourde	/f/			OUI	
		/s/				
		/ʃ/				
	Sonore	/v/			<b>NON</b>	
		/z/				
		/ʒ/				
Vocalique	Latérale	/l/			OUI	
	Vibrante	/r/				
Voyelles	Orales	/a/			OUI	
		/e/				
		/ɛ/				
		/ə/				
		/i/				
		/o/				
		/ɔ/				
		/u/				
		/ʊ/				
			Nasales	/ã/		
		/ẽ/				
	/õ/					
5 entités	Clusters	/tr/			OUI	
		/ql/				
	Glissante + voyelle	/wa/			OUI	
		/oej/				
		/jə/				

*Remarque.* Case verte : phonème bien réalisé par le sujet ; case rouge : phonème altéré par le sujet.

Individu n°67 (SH004)

			Test ciblé	Test exhaustif	Respect de l'extrapolation	
Occlusive	Sourde	/p/			OUI	
		/t/				
		/k/				
	Sonore	/b/			OUI	
		/d/				
	Nasale	/m/			OUI	
		/n/				
Constrictive	Sourde	/f/			OUI	
		/s/				
		/ʃ/				
	Sonore	/v/			OUI	
		/z/				
		/ʒ/				
Vocalique	Latérale	/l/			OUI	
	Vibrante	/R/				
Voyelles	Orales	/a/			OUI	
		/e/				
		/ɛ/				
		/ə/				
		/i/				
		/o/				
		/ɔ/				
		/u/				
		/y/				
		Nasales	/ã/			NON
			/ẽ/			
			/õ/			
5 entités	Clusters	/tr/			OUI	
		/ql/				
		Glissante + voyelle	/wa/			NON
	/oej/					
	/jə/					

*Remarque.* Case verte : phonème bien réalisé par le sujet ; case rouge : phonème altéré par le sujet.