



HAL
open science

Analyse de l'intelligibilité d'enfants tout venant sur la base de 3 phrases : intérêt pour le dépistage de retard/trouble de l'intelligibilité et de la fluence

Anne Menin-Sicard, Sara Collin, Etienne Sicard

► To cite this version:

Anne Menin-Sicard, Sara Collin, Etienne Sicard. Analyse de l'intelligibilité d'enfants tout venant sur la base de 3 phrases : intérêt pour le dépistage de retard/trouble de l'intelligibilité et de la fluence. Institut national des sciences appliquées de Toulouse. 2023. hal-03999850

HAL Id: hal-03999850

<https://hal.science/hal-03999850>

Submitted on 21 Feb 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Analyse de l'intelligibilité d'enfants tout venant sur la base de 3 phrases : intérêt pour le dépistage de retard/trouble de l'intelligibilité et de la fluence

Anne Menin-Sicard (1,2), Sara Collin (3), Etienne Sicard (2,4)

Orthophoniste, formatrice voix et parole (1)

Laboratoire LURCO www.unadreo.org (2)

Orthophoniste (3)

INSA-GEI, 135 Avenue de Ranguetil, 31077 Toulouse (4)

Résumé :

L'intérêt d'un bilan de l'intelligibilité de la parole sur la base de phrases courtes est d'analyser l'ensemble des phonèmes et des processus de parole de manière objective, rapide et précise, ce qui permet à l'orthophoniste de cibler les axes thérapeutiques afin d'améliorer l'efficacité de la prise en charge. L'enregistrement d'enfants de deux classes de moyenne et grande section de maternelle a été conduit dans le but de mesurer l'écart entre les phonèmes attendus et les phonèmes perçus, cumuler les scores sur trois phrases type en vue de contribuer à un dépistage précoce de retard /trouble de parole potentiel. Nous décrivons dans cette article la méthodologie et l'approche employée, le corpus des enfants, ainsi que les résultats obtenus pour trois phrases type, permettant d'identifier quelques enfants avec un score global particulièrement bas par rapport à l'âge. La maîtrise des phonèmes et des processus de parole est aussi étudiée en fonction de l'âge, et mise en parallèle des repères de référence déjà établis avec une autre base de données de plus d'une centaine de sujets de 5 à 8 ans.

Mots clé : évaluation de la parole, parole de l'enfant, acquisition des phonèmes, articulation, processus de parole, dépistage, retard de parole, phrase courte, logatomes, intelligibilité, consonnes, voyelles, cluster, diphtongues, orthophonie, DIADOLAB.

Introduction

Environ 5 % des enfants d'une tranche d'âge sont concernés par des troubles de l'évolution du langage, soit environ un enfant par classe [Has 2017]. Plus spécifiquement, le trouble du développement des sons de la parole (TDSP) affecte la production des consonnes et des voyelles, ce qui se traduit par des altérations, omissions plus fréquentes que ce qui peut être observé dans le développement normal de la parole chez l'enfant. Le TDSP affecte notamment l'intelligibilité et la fluence.

Des actions de dépistage et de diagnostic précoce sont nécessaires pour repérer des pathologies telles que la dysphasie et/ou la dyspraxie verbale. Ce dépistage précoce permettant d'accompagner dès que possible ces sujets à risque de confirmer le diagnostic en comparant les données issues de l'évaluation à plusieurs mois ou années d'intervalle. Différents acteurs de la petite enfance, éducateurs, mais aussi les professionnels de santé en lien avec les écoles tels que les médecins, infirmiers, et psychologues peuvent contribuer au repérage de ces troubles, l'orthophonie jouant un rôle clé dans l'évaluation de la gravité des difficultés, le diagnostic différentiel et la décision de prise en charge en cas de trouble avéré.

Parmi les approches de repérage classiques des troubles du langage, des questionnaires à remplir par les familles constituent selon [Calu 2003] un pré-dépistage rapide et peu onéreux. Les questionnaires à destination des enseignants tels que Dépistage et Prévention Langage à 3 ans (DLP-3) [Coquet 1997], les épreuves de repérage des troubles du langage à destination des médecins comme ERTL-4 ans et ERTL-6 ans [Roy 2000] sont des références en France. Concernant les protocoles de dépistage à destination des orthophonistes, on peut notamment citer la Batterie Rapide d'évaluation des fonctions cognitives (BREV) sur les troubles d'apprentissage [Billard 2001] des enfants de 4 à 9 ans. Le test « phonologie et articulation » issu du protocole Nouvelles Épreuves pour l'Examen du Langage (N-EEL) [Chevrie-Muller 2001], ainsi que les épreuves dédiées de Evalo 2-6 ans [Coquet 2011] sont des outils d'évaluation clinique plus complet et exhaustifs utilisés préférentiellement lors des bilans.

Une revue des différents outils disponibles au Québec est proposée dans [Monetta 2016], identifiant pas moins de quarante-six outils pour l'évaluation du langage oral à destination des enfants. La revue proposée par [Meloni 2022] évalue quant à elle la pertinence d'une dizaine d'outils selon une vingtaine de critères, mais en se focalisant sur le volant perceptif des sons de parole chez les enfants.

Différents points de repère sur l'acquisition du langage sont disponibles sur des sites spécialisés et renseignent sur le développement normal du langage entre 1 an et 6 ans. Ces repères sont indicatifs et peuvent varier selon les sources consultées. De nombreux sites tels que [Ameli 2022] [Ooreka 2022] donnent des éléments factuels pour l'identification des troubles articulatoires et des possibles retards ou troubles de parole. Pour la tranche 3-5 ans, les indices se retrouvent dans des items suivants :

- À 3 ans, l'enfant ne fait pas de phrases à trois éléments. Son articulation est limitée nuisant à son intelligibilité. Il rencontre des difficultés à trouver le bon mot pour exprimer ses idées et n'est compris que par son entourage. Il a des difficultés pour comprendre des demandes simples, des questions telles que « Où ? Qui ? Quoi ? »
- À 4 ans, l'enfant ne dispose que d'un vocabulaire restreint et imprécis. Il ne fait que des phrases courtes ou mal construites, a du mal à raconter des événements simples et récents. Il simplifie ou cherche les mots, ce qui le rend peu intelligible. Il amorce rarement la communication. Il utilise les verbes à l'infinitif, n'utilise pas de pronom. Il donne des réponses erronées aux questions par manque de compréhension. Il fait souvent répéter les questions.
- À 5 ans, il n'organise correctement ni sa parole ni son langage. Il a des difficultés pour comprendre. Il utilise peu le « je ». Il confond les genres. Il parle en phrases courtes, souvent incorrectes. Il éprouve des difficultés avec les prépositions spatiales et temporelles.

L'intérêt d'appliquer un protocole simple et rapide d'évaluation de la parole à l'échelle d'une classe d'enfants est de repérer de manière précoce des difficultés en ciblant deux macro-compétences expressives : l'intelligibilité et la fluence. Le but étant de confirmer ou d'infirmer la suspicion d'un retard ou d'un trouble au travers de bilans plus exhaustifs, et si nécessaire, de proposer un suivi pour ces enfants.

Nous proposons un protocole particulièrement court pour l'évaluation de l'intelligibilité et de la fluence de parole [Menin-Sicard 2019] basé notamment sur une phrase type */Bonjour Monsieur Tralipau/* [Sicard 2019] et une épreuve de répétition rapide de syllabes */PaTaKa/* [Sicard 2020]. En parallèle, nous avons analysé l'apport de phrases complémentaires à la phrase courte, notamment au travers des études de [Bardelang 2020] et [Grenier 2020]. La confrontation des scores et des altérations phonologiques obtenus pour une seule phrase type */Bonjour Monsieur Tralipau/* ou avec deux phrases complémentaires a révélé l'intérêt d'un test ciblant la phrase type, notamment dans la mesure où elle couvre les processus de parole fondamentaux. L'âge de notre population s'étend de 5 à 8 ans dans [Bardelang 2020], et concernait 80 enfants tout-venant.

Dans l'étude de [Grenier 2020], l'âge des enfants allait de 3 à 7 ans, dont 86 présentant des troubles des sons de la parole et 40 sans pathologie. L'enregistrement des 3 phrases types était disponible pour 45 enfants. Les résultats ont montré une spécificité de l'épreuve de répétition de phrase et de diadococinésie supérieure à 85%.

Nous avons souhaité ici faire porter notre étude sur des enfants tout-venant, mais pour un groupe d'enfants plus jeune que pour [Bardelang 2020], en faisant passer un test à deux classes d'enfants de 3 à 5 ans. Le but de cette étude est de quantifier la variabilité des scores obtenus pour chaque phrase, et d'analyser la capacité de repérage précoce des retards/troubles de la parole chez de jeunes enfants, lorsque les scores sont particulièrement bas en ciblant une tranche d'âge sensible.

Nous décrivons ci-après la méthode suivie et les outils employés, en détaillant notamment le protocole, la segmentation de la parole, l'évaluation des scores, puis nous donnons les résultats de scores d'articulation pour les trois tranches d'âge 3, 4 et 5 ans. Les cas ayant les scores les plus bas par rapport aux repères usuels sont identifiés. Les altérations les plus courantes et leur évolution de 3 à 5 ans sont aussi analysées pour chacune des phrases enregistrées.

Méthode et outils

Nous avons contacté la directrice de l'école Notre-Dame Saint-Joseph à Orthez (64) ainsi que les enseignantes référentes des classes de petite et moyenne sections de maternelle qui ont répondu positivement à notre sollicitation. Les parents des enfants concernés ont signé un accord préalable concernant la collecte des données anonymisées de leur(s) enfant(s) et ont pu se familiariser avec l'étude et son protocole grâce à un document les informant des objectifs de l'étude et de sa mise en œuvre.

Nous utilisons le logiciel DIADOLAB v3.5, version recherche. Cette version mise à disposition des membres de l'ERU 46 du LURCO/UNADREO [Eru 46] donne notamment accès au module de statistiques et de comparaisons de scores cumulés que nous utilisons dans cette étude.

Corpus utilisé

Au total 37 enfants ont été inclus dans le corpus, dont 21 en moyenne section de maternelle et 16 en petite section (table 1). Tous les enfants appartiennent à la même école.

CLASSE DE MATERNELLE	NOMBRE	AGE MOYEN	ECART TYPE
MOYENNE SECTION	21	4 ans 5 mois	6 mois
PETITE SECTION	16	3 ans 5 mois	6 mois

Table 1 : Corpus d'enfants analysés, répartition selon les 2 classes de maternelle

Protocole et consignes

Le protocole d'enregistrement consiste en l'enregistrement de 3 phrases courtes, en reproduisant pour chaque phrase le modèle proposé par Sara COLLIN, orthophoniste. Tous les enfants sont enregistrés avec le même matériel et avec la même personne, qui donne des instructions similaires pour limiter les biais. La justification du choix et de la structure des 3 phrases cible est donnée dans les mémoires de [Bardelang 2020] et [Grenier 2020].

L'objectif des phrases courtes est de couvrir un maximum de mécanismes, processus de parole, éléments de phonotactique, espaces vocaliques et consonantiques en un minimum de syllabes et de mots [Sicard 2019]. Quelques informations synthétiques sur ces phrases sont données en table 2.

Les 3 phrases enregistrées sont :

- Bonjour Monsieur Tralipau !
- Est-ce que tu connais Glochin l'écureuil ?
- Il vole des framboises

PHRASE	CODE	PHONEMES	SCORE MAXIMUM	SEGMENTATION DE REFERENCE	PARTICULARITES	REFERENCES
BONJOUR MONSIEUR TRALIPAU !	TR	15	30	b o n j o u r m e u s i e u t r a l i p a u	Phrase type. Couvre 50% des phonèmes et 100% des processus.	[Menin- Sicard 2019] [Sicard 2019]
EST-CE QUE TU CONNAIS GLOCHIN L'ECUREUIL ?	GL	20	40	è s k e t u k o n è g l a u c h i n l é k u r e i	Phrase complémentaire de la 1ère phrase concernant les phonèmes. Prosodie interrogative	[Bardelang 2020]
IL VOLE DES FRAMBOISES	FR	13	26	i l v o l d é f r a n b o u a z	Phonèmes résiduels absents des 2 autres phrases	[Bardelang 2020] [Grenier 2020]

Table 2 : Détail des 3 phrases courtes enregistrées par chaque enfant inclus dans l'étude

Le microphone utilisé est un Zoom H2N, en mode XY, qui est le plus directif possible pour isoler la voix de l'enfant et limiter le bruit ambiant. Le mode de filtrage du bruit en dessous de 200 Hz est désactivé, pour ne pas risquer d'atténuer le fondamental de la voix. L'amplificateur a été réglé pour avoir un rapport signal/bruit confortable sans risque de saturation.

Les enregistrements se sont déroulés sur deux jours. Ils ont débuté par les élèves de moyenne section et ont duré approximativement cinq heures contre trois heures pour les élèves de petite section ; la durée moyenne d'une passation est approximativement de treize minutes. L'orthophoniste a réalisé les enregistrements dans la salle de repos et d'activités de l'école, connue des enfants afin de limiter le biais de stress. Les phrases ont été préalablement présentées aux enfants par leur enseignante respective lors d'un « temps calme ». Chaque enfant a réalisé la passation du protocole à tour de rôle en l'absence des autres enfants occupés à leurs activités habituelles dans leur classe.

En amont et en aval des passations, l'orthophoniste a pu échanger avec les enseignantes afin de connaître le caractère et les potentiels difficultés de chaque enfant et ainsi adapter sa posture. Afin de rassurer les enfants et d'obtenir leur confiance, elle a donc pris un temps pour faire connaissance avec eux individuellement au moyen de jouets classiques (lunettes fantasques, marionnettes, figurines d'animaux, voitures...). Par bienveillance, l'orthophoniste n'a que peu insisté auprès des enfants les plus timorés. Pour les autres enfants, l'enregistrement du corpus se réalisait sans encombre avec une participation le plus souvent enthousiaste de leur part.

L'objectif étant de s'assurer de nouveau que les enfants de cette tranche d'âge étaient en grande majorité capables de répéter les 3 phrases sans réitérations.

Traitement informatique

Bien que l'enregistrement initial soit en stéréo, il est converti en mono en vue de l'analyse. La fréquence d'enregistrement, initialement à 44100 Hz, est ramenée à 22050 Hz pour des raisons d'optimisation de temps de calcul, dans la mesure où l'essentiel de l'analyse porte sur les bandes 100-10000 Hz. Dans quelques cas où la parole de l'enfant est faible, une égalisation du signal est effectuée pour remonter le niveau du signal à environ -12dB de la saturation. Pour quelques échantillons sonores, la présence d'un bruit ambiant relativement important a conduit à appliquer un filtrage des basses fréquences (en général en dessous de 200 Hz) pour mieux faire ressortir la parole de l'enfant et faciliter la segmentation.

Qualité des phrases

Nous retenons les 11 critères suivants pour donner une évaluation de la qualité des phrases sélectionnées [Sicard 2019] :

- La phrase est courte (nombre limité de phonèmes)
- Elle comprend les extrêmes vocaliques /a-i-ou/
- Elle comprend les extrêmes consonantiques /m,n-s/
- Elle couvre au mieux les processus de parole, tels que décrits dans [Sicard 2022]
- Elle comprend les phonèmes qui ont le plus fort taux d'occurrence
- Elle est peu redondante
- Elle comporte des accents et contours prosodiques variés
- Sa phonotactique est proche de la langue française.

Sur la base de ces critères, nous reportons ci-après un score de qualité pour chacune des 3 phrases, en listant les processus couverts. La première phrase obtient un score élevé, de 15.8/20. Elle a l'avantage d'être peu redondante, couvrant l'espace vocalique et consonantique, l'ensemble des processus et d'être proche de la phonotactique du français. Elle est peu sensible au contexte social, à la régionalisation et de n'être que peu sujette à la coarticulation.

La longueur et la redondance de la 2^{ème} phrase sont les principales raisons d'un score assez bas pour la 2^{ème} phrase qui reste intéressante cependant car elle est très complémentaire en termes de répertoire phonétique de la 1^{ère} phrase et elle est interrogative ce qui offre un modèle prosodique différent des deux autres. Elle est cependant plus sujette à coarticulation et sollicite davantage la mémoire verbale. Elle obtient un score d'efficacité de 11.6/20 Enfin, la 3^{ème} phrase couvre moins de processus, est un peu redondante et s'éloigne de la phonotactique du Français, avec cependant un score élevé du fait de son efficacité.



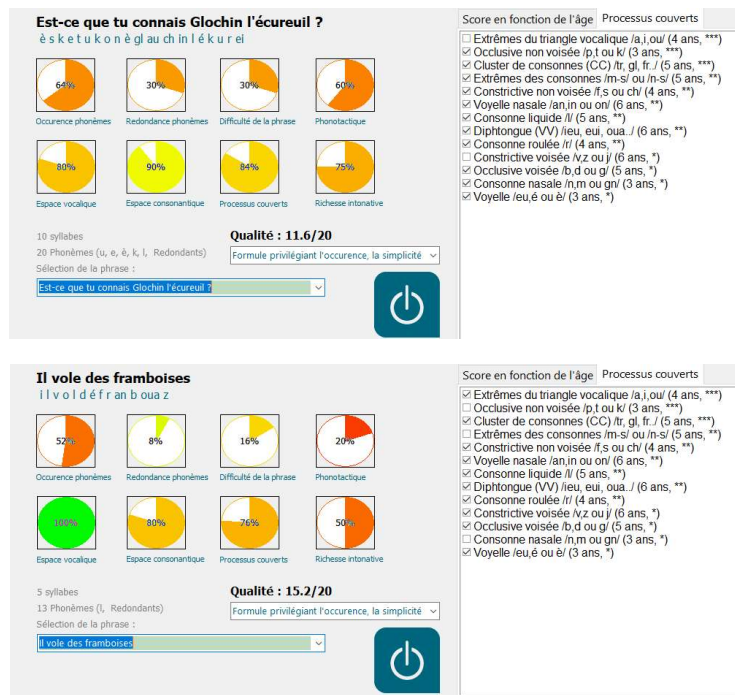


Figure 1 : Qualité des 3 phrases enregistrées et détail des processus couverts par chaque phrase

En plus de de /Bonjour Monsieur Tralipau/ qui est recommandé pour le bilan rapide de la parole [Menin-Sicard 2019], nous avons ajouté deux phrases dans le but de balayer presque tous les phonèmes de la langue française (Figure 2).

La phrase /Est-ce que tu connais Glochin l'écureuil ?/ [Bardelang 2020] inclut la majorité des phonèmes non présents dans /Bonjour Monsieur Tralipau/, elle est interrogative et présente une structure syntaxique ainsi qu'un lexique accessible à de jeunes enfants. Bien que plus complexe que /Bonjour Monsieur Tralipau/, elle reste raisonnablement longue pour ne pas surcharger la mémoire de travail et limiter la difficulté de la segmentation.

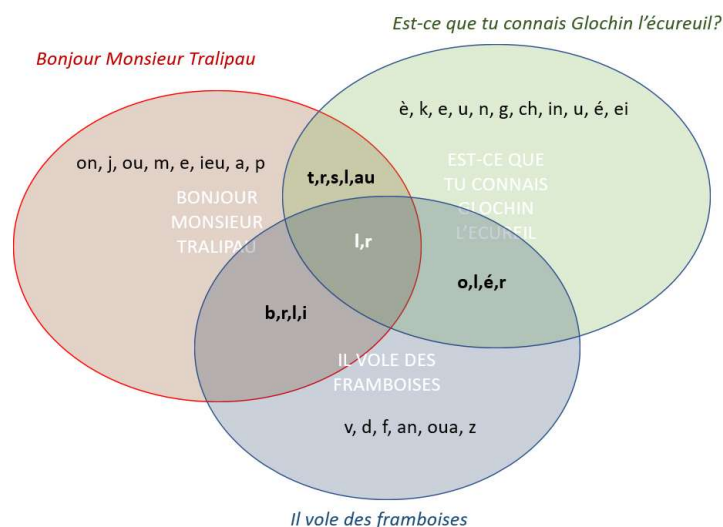


Figure 2 : illustration de la complémentarité entre les 3 phrases proposées [Menin-Sicard 2021]

La 2^{ème} phrase contient un logatome qui n'est pas sensible à la lexicalisation « Glochin » et inclut le cluster /sk/, particulièrement intéressant car il combine deux lieux articulatoires éloignés. Le logatome ne bénéficie pas de l'effet de récence et oblige l'enfant à être très attentif à cette nouvelle forme sonore. L'empan syllabique est de 10.

Enfin, une 3^{ème} phrase, */ Il vole des framboises/* couvre les phonèmes non présents dans les 2 phrases précédentes, est accessible à de jeunes enfants. Sa structure est compacte, facilement compréhensible hors contexte, en incluant le cluster /fr/ qui combine deux lieux articulatoires extrêmes, le tout avec le mot usuel « framboise » particulièrement riche en termes de cibles articulatoires. Elle est cependant un peu redondante pour le phonème « l » et un peu réduite au niveau de l'espace vocalique. L'empan syllabique est de 5 seulement et permet d'encourager l'enfant en cas d'échec à la phrase comportant 10 syllabes.

L'ensemble des trois phrases permet d'analyser la production de toutes les consonnes de la langue Française. Les 3 phrases totalisent 12 mots, soit 3 fois moins que dans l'outil de dépistage des troubles du développement des sons de la parole pour les enfants en âge préscolaire de [MacLeod 2014].

La répétition d'entités de sens courtes avec modèle impose un cadre prosodique et une contrainte de vitesse permettant de vérifier que l'enfant est capable de coordonner les différents processus de parole dans la vitesse, ce que ne permet pas la répétition de syllabes et à moindre mesure la répétition de mots hors contexte sémantique. La répétition d'un mot simple peut être réussie avec un débit plus lent et peut être altéré par le même sujet dès lors que le mot est dans une phrase même courte. L'attention de l'enfant va porter sur la structure intonativo-accentuelle et révélera alors des altérations phonologiques non repérées dans un mot unique, signes que les processus de parole sont instables, imprécis non coordonnés et surtout non automatisés à une vitesse considérée comme standard au regard de l'âge.

Segmentation

Nous segmentons les phonèmes selon l'approche décrite dans [Menin-Sicard 2021]. La segmentation de la parole enregistrée permet d'isoler chaque phonème prononcé. L'analyse spectrale corrélée à l'écoute sélective permet de préciser le phonème perçu, et par comparaison avec la liste des phonèmes attendus, dresser la liste des altérations. L'utilisation de notation telle que le point d'interrogation lorsque le phonème est imprécis et double point d'interrogation lorsque le phonème est inidentifiable évite d'avoir à faire un choix entre deux lorsque la production effective du sujet est hors cible et de coter plus sévèrement lorsque le phonème produit est trop éloigné de la cible. Cette approche permet de cerner rapidement les compétences phonologiques du patient et de calculer un âge phonologique précis. Les données temporelles, fréquentielles et le degré de constriction (en blanc dans la partie supérieure du spectrogramme de la figure 3) rendent la segmentation plus précise et objective, en limitant l'attraction de familiarité tout en renforçant la fiabilité des scores d'articulation, de l'intelligibilité et de la fluence.

La segmentation est relativement efficace car les phrases sont compactes et les phonèmes assez faciles à différencier, du fait de forts contrastes des traits articulatoires entre les phonèmes successifs.

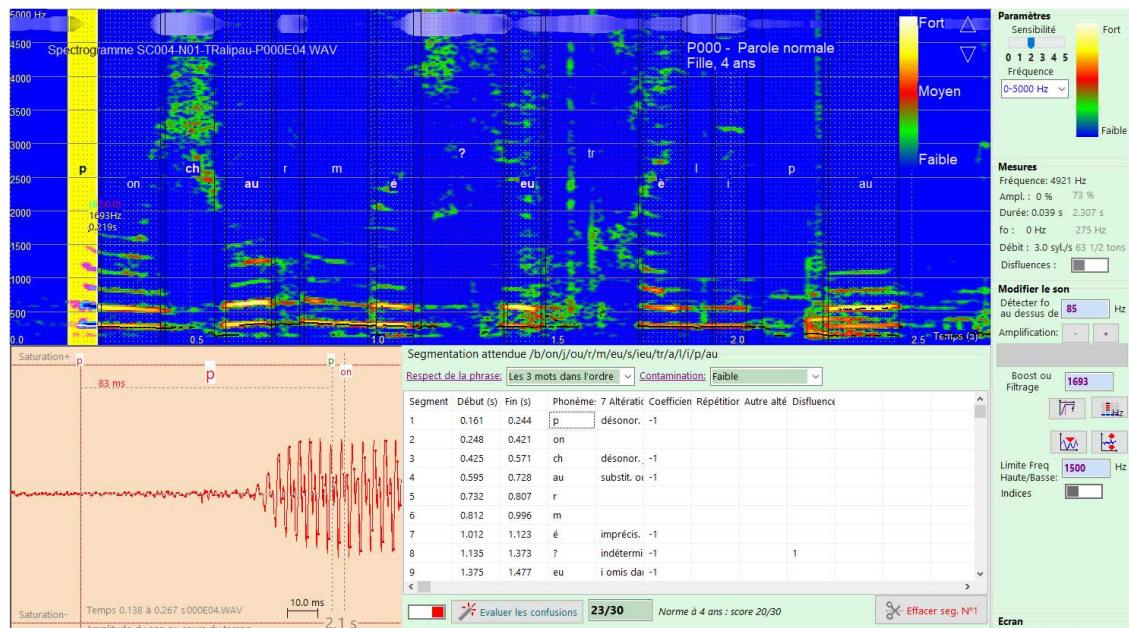


Figure 3 : Exemple de segmentation de la phrase /Bonjour Monsieur Tralipau/ ; cas SC004 (Fille 4 ans)

Le spectrogramme permet de distinguer les variations de contenu fréquentiel au cours du temps, de distinguer les harmoniques du bruit et identifier les transitions liées aux plosives [Sicard 2021]. Avec l'aide du spectrogramme, de l'indice de constriction (en haut du spectrogramme) et de l'allure temporelle, l'orthophoniste précise les frontières de chaque phonème, et sur la base de l'écoute sélective répétée en cas de doute, lui associe le phonème perçu. Un exemple de segmentation est donné figure 3, correspondant à la phrase /Bonjour Monsieur Tralipau/. Cette opération est conduite pour les 3 phrases, et ce pour l'ensemble des 37 enfants inclus dans l'étude, ce qui correspond à 111 phrases et autant de segmentations.

Le temps requis pour chaque segmentation est autour de 5 mn en moyenne. Ce temps est réduit dans le cas de parole intelligible et contrastée, ce qui facilite les segmentations, mais le temps s'allonge dans le cas de forte contamination, de cumulation d'imprécisions et d'erreurs qui rendent la tâche plus délicate et chronophage. C'est notamment le cas pour les enfants de petite section de maternelle (3-4 ans). Le travail total de segmentation est estimé à une dizaine d'heures au total pour les 37 enfants.

Evaluation du score

La détection des altérations intégrée dans DIADOLAB s'effectue par comparaison des différences entre les phonèmes attendus et les phonèmes perçus. La cotation des altérations, décrite en détail dans [Menin-Sicard 2021] repose sur une terminologie explicite et factuelle. Il s'agit principalement de substitutions, d'imprécisions et d'omissions. L'altération du score comporte deux niveaux de sanction : -1 pour des imprécisions mineures, -2 pour des omissions ou substitutions par des phonèmes éloignés en termes de traits articulatoires. Certaines différences comme le /é/ et /è/ sont considérées comme des traits de régionalisation et n'altèrent pas le score d'articulation.

Dans l'exemple de la figure 4, correspondant au cas SC004 (4 ans), nous identifions plusieurs désonorisations, substitutions, imprécisions et simplifications. Le score d'articulation est évalué à 23/30, supérieur à la limite normal/altérée fixée à 20/30 à 4 ans. L'analyse des altérations permet aussi de dresser la liste des processus non maîtrisés : extrêmes consonantiques, diphtongues, constrictives voisées et occlusives voisées, dont l'âge de maîtrise normal est à 5-6 ans.

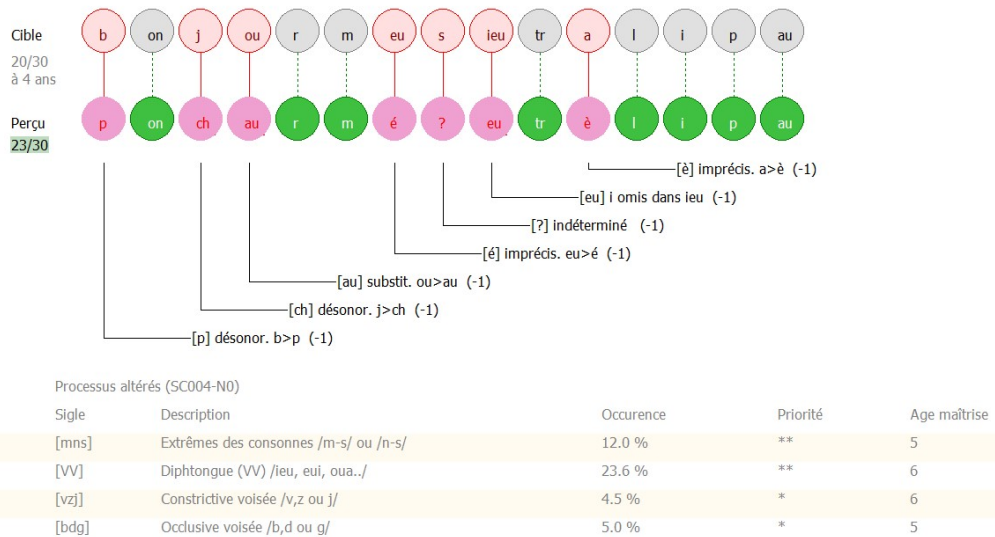


Figure 4 : Liste des altérations pour le cas SC004 /Bonjour Monsieur Talipau/, et processus associés non maîtrisés

Limites de score normal/altéré

Nous nous basons tout d'abord sur l'âge de maîtrise des phonèmes de la langue Française, sur la base de moins de 15% de taux d'erreur, d'après la revue de littérature publiée dans [Sicard 2022] dont nous reportons le tableau de synthèse. De ces repères, croisés avec nos propres analyses des phrases type sur un grand nombre d'enfants [Bardelang 2020][Grenier 2020], nous évaluons pour chaque phrase le score qui définit la limite entre parole normale, altérée et pathologique en fonction de l'âge, comme indiqué figure 6.



Figure 5 : Age de maîtrise de l'acquisition des phonèmes de la langue Française [Sicard 2022]

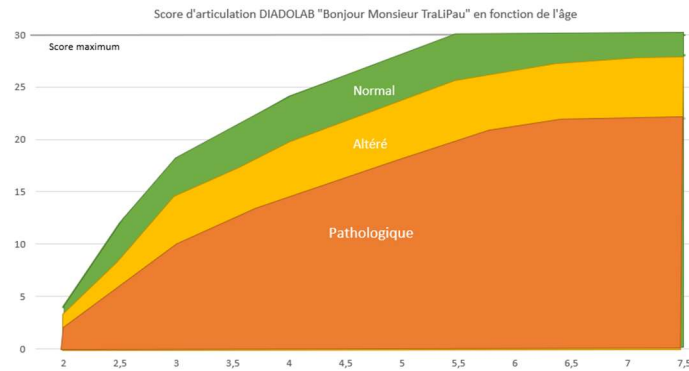


Figure 6 : limites de score normal, limite et altéré utilisé dans DIADOLAB, pour la phrase /Bonjour Monsieur TraIipau/

Calculs statistiques

Nous séparons les enfants par groupes d'âge (3, 4 et 5 ans). Nous regroupons les 3 phrases segmentées, qui seront évaluées successivement en termes de score d'articulation et de processus couverts. Comme chaque phrase a un nombre de phonèmes et un score maximum différents, nous évaluons le score relatif en pourcentage de la limite normal/altéré. Ainsi, le score de 23/30, norme à 20/30 correspond à 115%. La figure 7 décrit l'interface utilisateur et le calcul des données primaires. L'étape suivante est alors de placer les scores en % des 3 phrases pour un même patient, afin de situer ses performances globales par rapport à la limite parole normale/altérée (score de 100%) et d'analyser la dispersion des résultats selon les phrases considérées.

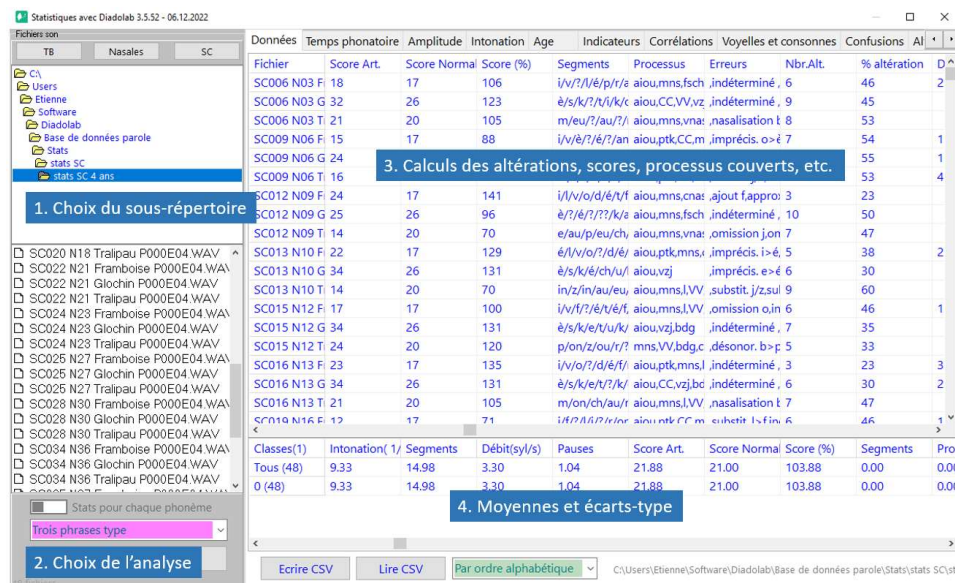


Figure 7 : Calcul des données primaires incluant les scores d'articulation, le score normé, l'analyse des altérations et les processus non couverts à l'aide de l'outil statistique de DIADOLAB [Sicard 2023]

Résultats

Analyse initiale

L'analyse initiale porte sur l'ensemble des enfants, pour lesquels les 3 phrases courtes sont exploitables, segmentées et dont on évalue le score d'articulation. Le score est exprimé en pourcentage par rapport à la norme selon l'âge.

Analyse initiale, corpus 3 ans

Le calcul des scores pour les phrases /Bonjour Monsieur Tralipau/ (TR), /Est-ce que tu connais Glochin l'écureuil ?/ (GL) et /Il vole des framboises/ (FR) est reporté figure 8 pour le groupe 3 ans. On note par exemple de bonnes performances pour SC027 (Cas le plus à gauche), mais des performances faibles concernant SC029 (Cas suivant). Le pourcentage figurant dans chaque groupe TR, GL, FR correspond à la dispersion des résultats pour un même enfant, selon les scores des 3 phrases. Elle est de 26% pour SC027 et 16% pour SC029.

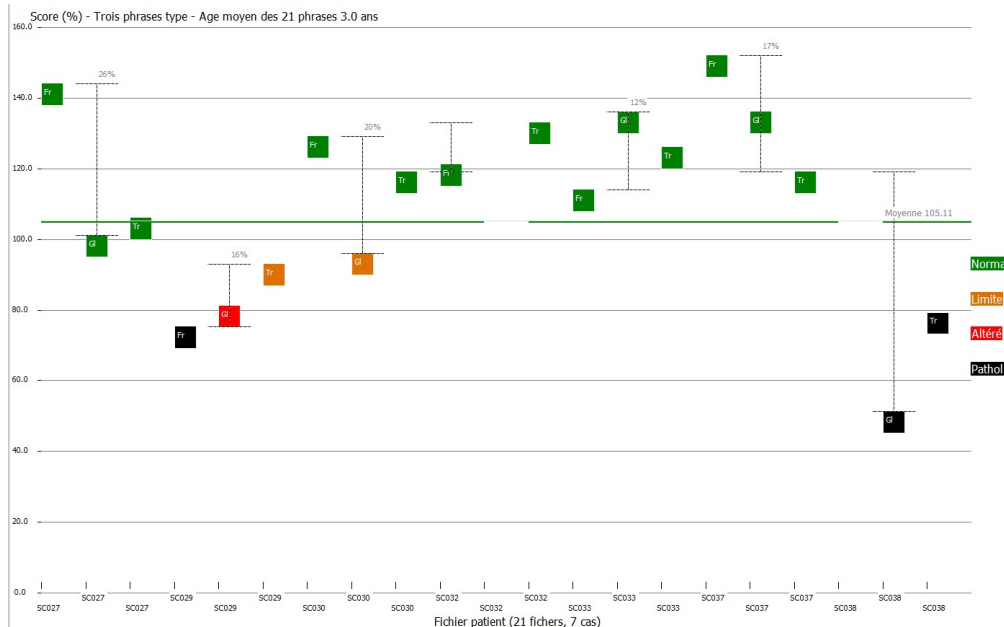


Figure 8 : Calcul des scores normalisés pour les 3 phrases prononcées par 7 enfants (Groupe d'âge 3 ans)

Pour SC030, seul GL est en dessous de la moyenne. Pour SC038, même s'il manque la segmentation de FR (l'enfant n'a prononcé que « des framboises »), les scores pour GL et TR sont très bas. En conclusion, les scores des enfants SC029 et SC038 sont considérés comme insuffisants. La variabilité cumulée du score d'articulation selon les 3 phrases est de 18% sur les 5 cas où nous avons les 3 phrases complètes segmentées.

Analyse initiale, corpus 4 ans

Tous les enfants du groupe 4 ans, soit 16 enfants, ont prononcé des phrases exploitables, qui ont toutes été segmentées. Nous notons que le cas SC028 a les trois scores très bas. Pour le cas SC035, les phrases TR, GL ont un score très bas, et FR limite. On note que TR est souvent associé au score le plus bas. En conclusion, les scores des enfants SC028 et SC035 sont considérés comme insuffisants. La variabilité cumulée du score est de 27% sur les 16 enfants.

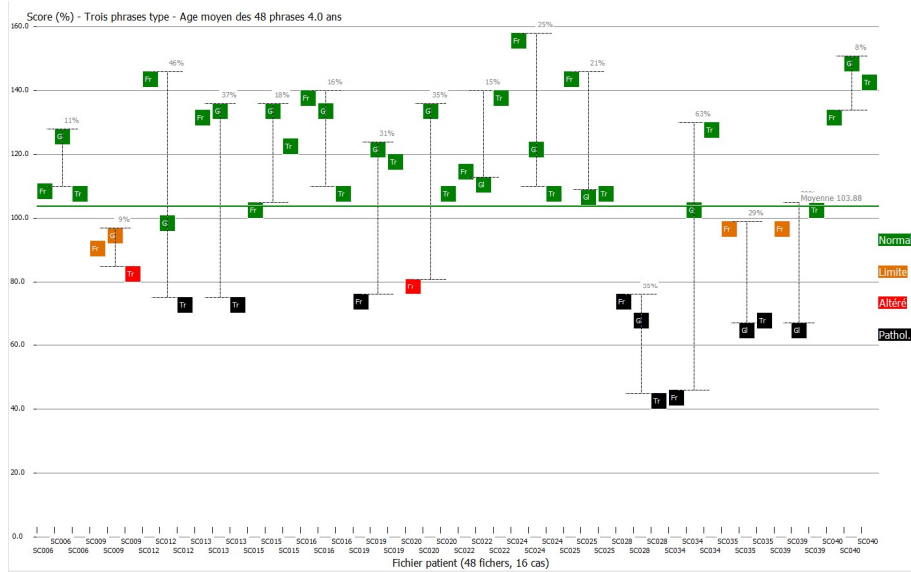


Figure 9 : Calcul des scores normalisés pour les 3 phrases prononcées par 16 enfants (Groupe d'âge 4 ans)

Analyse initiale, corpus 5 ans

Tous les enfants du groupe 5 ans, soit 10 enfants, ont prononcé des phrases exploitables, qui ont toutes été segmentées. D'après la figure 10, nous identifions 2 cas où le score est significativement inférieur à la norme : SC010 : TR patho, GL altéré, ainsi que SC023 : GL pathologique, TR altéré. La variabilité du score est de 16% sur 10 patients, significativement plus faible que pour 4 et 3 ans. En conclusion, les scores des enfants SC010 et SC023 sont considérés comme insuffisants.

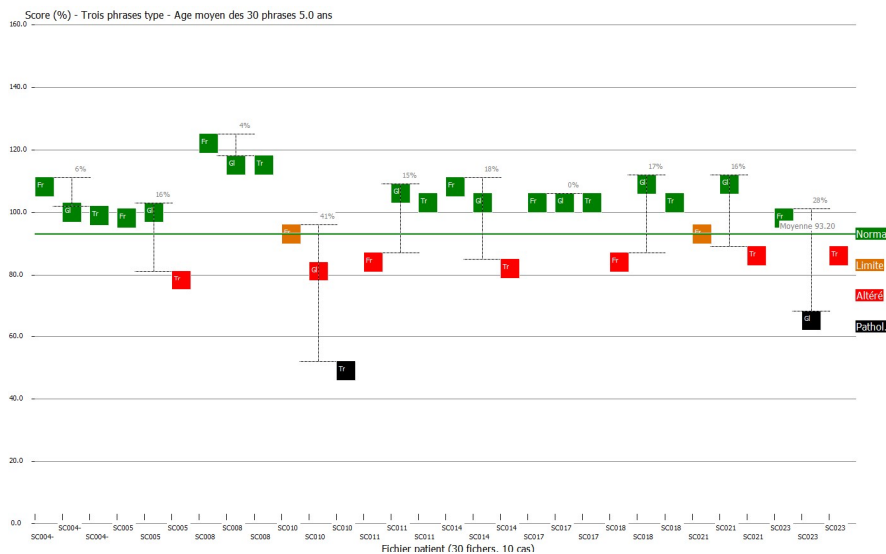


Figure 10 : Calcul des scores normalisés pour les 3 phrases prononcées par 10 enfants (Groupe d'âge 5 ans)

Dépistage d'un possible retard/trouble de parole

Nous identifions plusieurs enfants dont deux scores sur trois sont dans la catégorie pathologique ou altéré, avec un score cumulé significativement en dessous de la limite normal/altéré. Nous listons en table 1 au total 6 cas, dont 2 de 3 ans, 2 de 4 ans et 2 de 5 ans, pour lesquels des bilans complémentaires pourraient être prescrits en vue du dépistage d'un possible retard/trouble de parole, en vue d'une prise en charge orthophonique. L'âge phonologique correspond à l'âge pour lequel la moyenne obtenue correspond au score limite normal/altéré.

CAS	ALTERATIONS	SCORE (N=100%)	AGE	AGE PHONOLOGIQUE
SC029	FR, GL	77 %	3 ans	1,4 ans
SC038	GL, TR	88 %	3 ans	2,2 ans
SC028	GL, TR, FR	59 %	4 ans	< 2 ans
SC035	GL, TR	74 %	4 ans	2,3 ans
SC010	TR, GL	71 %	5 ans	2,8 ans
SC023	GL, TR	80 %	5 ans	3,5 ans

Table 1 : Cas ayant un score cumulé significativement inférieur à la norme pour l'âge. GL = Phrase « Est-ce que tu connais Glochin l'écureuil ? » ; TR = Phrase « Bonjour Monsieur Tralipau » ; FR = Phrase « Il vole des framboises »

Phrases les plus difficiles

La table 2 précise quelle phrase correspond au score le plus bas, autrement dit quelle est la phrase la plus difficile à prononcer selon l'âge. On note qu'à 3 ans, /Il vole des framboises/ est majoritairement la plus difficile en raison de la présence du phonème /l/ de la transition /ld/ particulièrement échouée, du cluster /fr/ et de la diphtongue /oa/. Elle ne comporte pas de logatomes. Pour les enfants de 4 et 5 ans, curieusement, c'est la phrase /Bonjour Monsieur Tralipau/ qui donne le score le plus bas. Le mot /Bonjour/ pourtant usuel étant le mot le plus altéré.

AGE	N	TR (%)	GL (%)	FR (%)	DISPERSION (%)
3 ANS	7	14	29	57	18
4 ANS	16	44	25	31	27
5 ANS	10	50	10	40	16

Table 2 : Phrase la plus difficile à prononcer (score d'articulation en moyenne le plus bas) selon l'âge

Analyse des altérations

Nous avons exclu de l'analyse ci-dessous les enfants repérés comme ayant des scores significativement inférieurs à la norme, dont nous avons donné la liste au tableau 1. Le but de notre étude est de mettre en avant, pour chaque phrase et pour chaque groupe d'âge, les altérations les plus fréquentes.

Phrase TR - Bonjour Monsieur Tralipau !

Parmi les phonèmes les mieux réussis à 3 ans, on trouve /a/, /p/, /au/ et en moindre mesure, le /eu/, /au/. Aucun enfant de 3 ans n'a prononcé correctement le /b/, /on/, /j/, /r/ dans /Bonjour/. Même constat pour le /ieu/ de /monsieur/ et le /tr/ de /Tralipau/. Le taux de réussite sur le /on/ augmente significativement à 4 puis 5 ans. Même constat pour le /r/ et le /tr/. Curieusement, le /ou/ est difficilement prononcé, de même que le /s/. La diphtongue /ieu/ est souvent simplifiée en /eu/. Sur la figure 11, il est observé un taux d'erreur assez faible sur le logatome /tralipau/ traité par l'enfant comme une nouvelle forme sonore. Le sujet se concentre sur ce non-mot comportant pourtant des difficultés et semble s'appliquer davantage à le prononcer, tandis qu'il semble peu précis sur les mots usuels qui le précèdent. La position finale du logatome dans la phrase peut aussi avoir le bénéfice de la récence sur le plan mnésique, ce qui ne serait pas le cas du deuxième logatome « Glochin » de la 2^{ème} phrase étudiée à la section suivante.

Si l'on se place sous l'angle des processus (figure 12), les processus maîtrisés dès l'âge de 3 ans sont les plosives sourdes et les variantes du /eu/, suivi à 4 ans du cluster /TR/, des fricatives sourdes et du /r/, enfin, le /l/ à 5 ans. Les processus non encore maîtrisés sont les extrêmes consonantiques, les voyelles nasales, la diphtongue /ieu/, les fricatives voisées, les plosives voisées et les consonnes nasales.

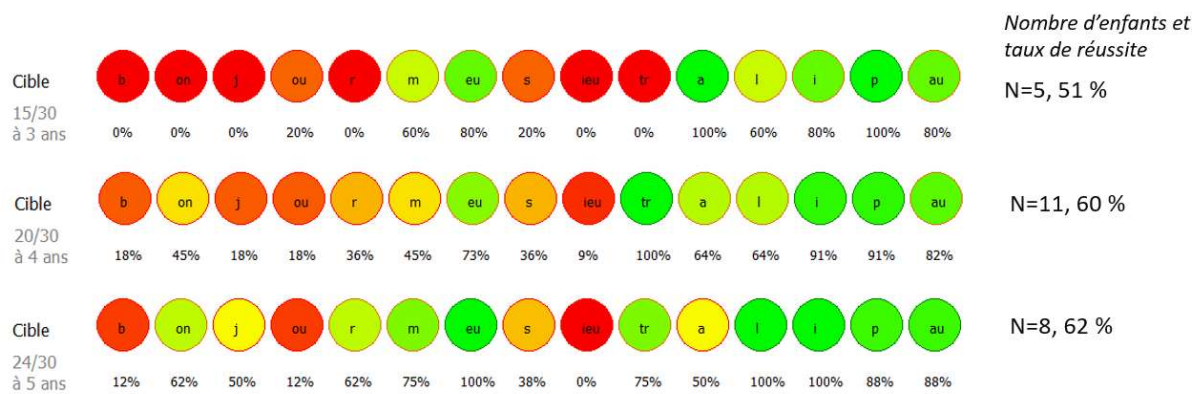


Figure 11 : Taux de réussite des phonèmes, phrase /Bonjour Monsieur Tralipau/, groupe d'âge 3, 4 et 5 ans

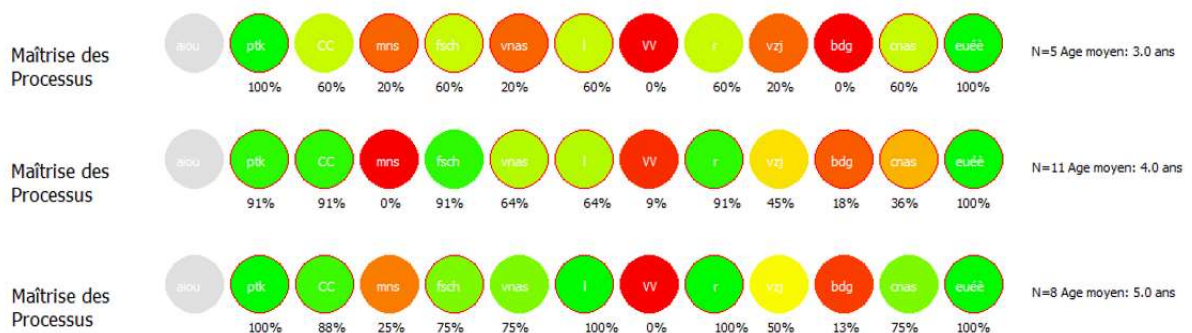


Figure 12 : Taux de réussite des processus, phrase /Bonjour Monsieur Tralipau !/, groupe d'âge 3, 4 et 5 ans

Ces résultats montrent que les sujets témoins ne maîtrisent pas tous les processus à 5 ans lorsque ceux-ci s'inscrivent dans une unité de sens à répéter. Celle-ci est donnée à une vitesse moyenne de 5 syllabes par seconde environ. Le sujet peut répéter la syllabe ou le mot correctement mais le « simplifier » en étant soumis à un cadre rythmique. Cela pose la question de l'intérêt de faire répéter des syllabes (épreuve dite « phonétique » présente dans toutes les batteries d'évaluation) voire des mots. La réussite à ces items n'étant pas forcément prédictive d'une réussite à la répétition d'une unité de sens. L'effet longueur de cette unité étant un facteur important à prendre en compte.

Globalement, on constate un taux de réussite des phonèmes de 50% environ à 3 ans, score qui s'élève à 60% à 4 ans puis 62% à 5 ans. La similarité des scores entre 4 et 5 ans est relativement inattendue.

Phrase GL – Est-ce que tu connais Glochin l'écureuil ?

Sur la phrase plus complexe /Est-ce que tu connais Glochin l'écureuil ?/, incluant 18 phonèmes, un cluster /gl/ et une diphtongue /ei/, les phonèmes les plus difficiles à maîtriser incluent /u/ et /è/ (régionalisation). Les phonèmes bien réussis incluent /è/, /k/, /r/. La diphtongue /ei/ n'est pas maîtrisée à 5 ans, sur la base d'un taux de moins de 15% d'erreur, mais en voie d'acquisition, de même que le cluster de consonnes /gl/. L'évolution des taux de réussite globaux est conforme aux observations sur d'autres corpus : proche de 50% à 3 ans, 60% à 4 ans et 70% à 5 ans.

Concernant la maîtrise des processus (figure 14), on retrouve à 3 ans les plosives, les variantes du /eu/, ainsi que le /r/, puis à 4 ans les fricatives et les consonnes nasales, et à 5 ans le cluster /gl/. Les processus non encore maîtrisés sont les extrêmes consonantiques, les voyelles nasales, la diphtongue /eui/ et les plosives voisées.



Figure 13 : Taux de réussite des phonèmes, phrase /Est-ce que tu connais Glochin l'écureuil ?/, groupe d'âge 3, 4 et 5 ans

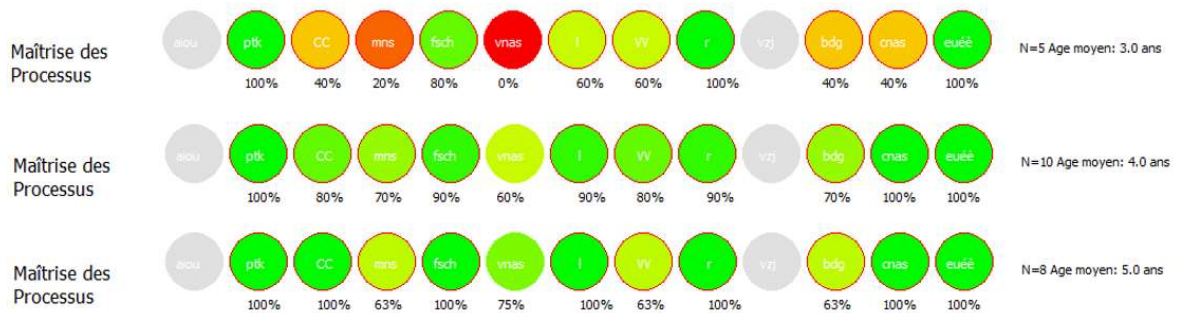


Figure 14 : Taux de réussite des processus, phrase /Est-ce que tu connais Glochin l'écureuil ?/, groupe d'âge 3, 4 et 5 ans

Phrase FR – Il vole des framboises

La phrase /Il vole des framboises/ inclut 12 phonèmes et une diphtongue. La succession /fr/ n'est pas traitée comme un cluster mais comme deux phonèmes successifs. Le taux de réussite global est plus élevé que pour /Bonjour Monsieur Tralipau/. On note un taux élevé sur /i/ à partir de 4 ans, /o/ à partir de 5 ans, /f/ et /an/ dès 3 ans. En revanche, la diphtongue /oua/ et le phonème /z/ ont des scores de réussite très bas, même à 5 ans (Figure 15). De manière globale, les scores de réussite évoluent peu entre 3 et 5 ans, une tendance qui serait à confirmer sur un nombre plus grand de cas et pourrait limiter l'intérêt de cette phrase pour le dépistage.



Figure 15 : Taux de réussite des phonèmes, phrase /Il vole des framboises/, groupe d'âge 3, 4 et 5 ans

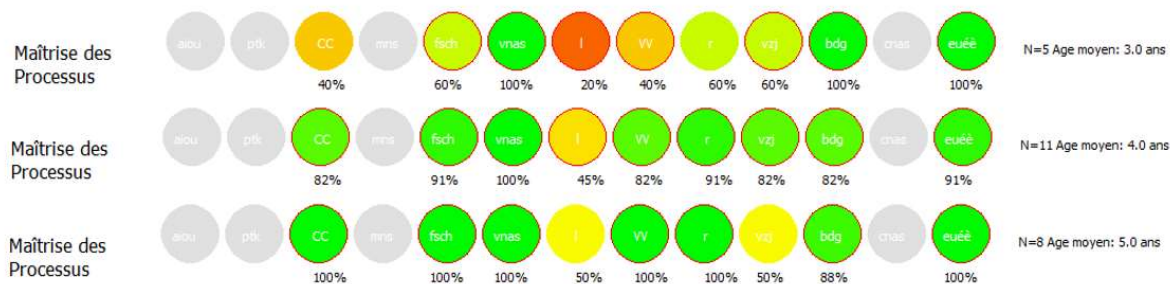


Figure 16 : Taux de réussite des processus, phrase //Il vole des framboises//, groupe d'âge 3, 4 et 5 ans

Les processus de voyelles nasales, plosives voisée et voyelles centrales sont maîtrisés à 3 ans, sur la base d'un taux de réussite de 85%. Viennent ensuite les diphtongues, clusters, fricatives, consonne roulée /r/. A 5 ans, les processus non couverts sont la consonne liquide /l/ et les fricatives voisées.

Discussion

La passation des enregistrements auprès des enfants de petite section s'est avérée relativement compliquée du fait de leur jeune âge et de leur timidité devant le microphone. En effet, le temps nécessaire à les rassurer était plus important en comparaison aux élèves de grande section. Malgré une confiance instaurée, certains sont restés mutiques lors de la répétition des énoncés. D'autres ont présenté une hypo-articulation en lien avec leur inconfort face à l'enregistrement ; ceci a pu être retrouvé dans une moindre mesure auprès de quelques enfants de moyenne section.

Ces observations nous conduisent à penser que si un enfant de 3 ans est capable en première intention de répéter ces 3 phrases, c'est déjà de très bonne augure. Par contre, à partir de 4 ans, passée la phase de familiarisation indispensable où l'enfant est mis à l'aise, une excessive timidité ou un mutisme peut mettre en évidence une difficulté. L'enfant anticipe que le fait de répéter une phrase va lui être difficile et peut ne pas être coopératif.

Le regroupement des scores des trois phrases significativement en dessous de la limite normal/altéré nous a servi de critère d'alerte sur un possible retard/trouble de parole, pouvant justifier un bilan et/ou une prise en charge orthophonique. Nous avons pu observer 6 cas d'enfants avec des concordances de scores particulièrement bas sur 2 ou sur les 3 phrases. Pour atteindre ce résultat, la principale difficulté a été la segmentation des trois phrases, qui, multipliée par le nombre d'enfants analysés, représente un volume horaire conséquent.

L'analyse statistique du corpus par tranche d'âge est peu significative du fait du nombre réduit d'enfants (moins de 10 pour la tranche 3 ans par exemple). Elle permet cependant de conforter les repères d'acquisition des phonèmes et des processus, en mettant notamment en avant la difficulté inhérente aux processus combinés tels que les plosives voisées, fricatives voisées, ou les diphtongues. En effet, la coordination des différents paramètres en un laps de temps très court tels que la mise en pression liée à l'occlusion avec la mise en vibration des plis vocaux se révèle être difficile et donc acquise plus tardivement. Nous trouvons de nombreuses similitudes avec les repères publiés dans [Sicard 2022] sur les imprécisions phonémiques et altérations des processus de parole normales selon l'âge.

La dispersion des scores impacte la fiabilité de classification des performances de l'enfant en termes d'imprécisions phonémiques par rapport à des seuils de parole normale, altérée ou pathologique.

Le bilan de la parole proposé dans [Menin-Sicard 2019] est basé sur */Bonjour Monsieur Tralipau/* qui donne majoritairement le score le plus bas, donc le plus pessimiste pour les tranches d'âge 4-5 ans. Cette phrase pourrait être considérée comme la plus « coûteuse » en termes d'efforts articulatoires si l'on analyse les mouvements et coordination des articulateurs. L'analyse des performances de l'enfant sur l'ensemble des 3 phrases donne un panorama plus précis car il couvre tous les phonèmes et inclut une variété de situations phonotactiques, prosodiques et enchaînements articulatoires notamment pour les clusters et diphtongues. Au prix d'un travail supplémentaire d'enregistrement et de segmentation, la classification des performances de l'enfant sera plus précise. La dispersion globale observée sur les 33 cas est autour de 20%, ce qui reste une dispersion acceptable mais encourage à enregistrer au moins deux phrases pour réduire les erreurs de classification. Les 2 premières phrases combinées semblent les plus intéressantes dans un objectif de dépistage, d'autant qu'elles sont complémentaires au niveau de l'inventaire phonétique. La phrase */Il vole des framboises/* semble la moins porteuse d'information, avec notamment peu d'évolution des altérations phonologiques avec l'âge.

Cette étude sur une population témoin permet de dégager des observations pertinentes. La phrase */Bonjour Monsieur Tralipau/* serait un bon choix du fait de sa difficulté intrinsèque mais de son apparente simplicité. Les 3 phrases sont complémentaires, réduisent les risques d'erreur de classification, permettent en cumulant les scores de nous conforter dans nos observations et nous permettent d'évaluer l'effet longueur.

Les processus combinés sont acquis plus tard que les processus simples, la difficulté de coordonner le vibrateur avec la constriction ou l'occlusion est une explication plausible à l'acquisition/stabilisation tardive. Les fréquentes confusions sourdes/sonores auxquelles sont confrontés les orthophonistes en sont le témoin direct. Les clusters peuvent apparaître plus tôt que ce que l'on pouvait penser mais mettent du temps à se stabiliser, la consonne occlusive douce /l/ est acquise tardivement ainsi que la capacité d'enchaîner deux voyelles surtout si leurs positions sont dites extrêmes et si les postures de chaque voyelle est déjà instable de façon isolée.

Le raisonnement par processus semble plus cohérent au regard de ces résultats que l'analyse par phonème et permet de cibler plus rapidement les axes thérapeutiques. L'analyse par segmentation spectrale est une avancée majeure dans le domaine de l'orthophonie permettant de repérer, analyser et diagnostiquer de façon beaucoup plus précise les pathologies de la parole. La caractérisation des altérations en fonction des pathologies permet déjà d'aider au diagnostic différentiel dysphasie/dyspraxie ; dysarthrie/apraxie que ce soit pour les sujets jeunes ou âgés.

La possibilité qui est offerte aux orthophonistes d'utiliser des points d'interrogation lorsque le phonème est dit « intermédiaire », imprécis permet de ne pas avoir à choisir arbitrairement entre l'un et l'autre et la cotation en double point d'interrogation permet de sanctionner plus sévèrement un phonème trop écarté de la cible, très atypique, ou ne faisant pas partie des cibles (ronflement, coup de glotte, schlintement). Ce caractère atypique et rare d'une altération pouvant être caractéristique d'une pathologie donnée (insuffisance vélo-pharyngée, défaut majeur de posture de langue). Cette approche de l'analyse non plus par phonèmes, syllabes ou mot mais par unités de sens permet de comprendre que si un phonème peut être réalisé isolément ou en syllabe, il peut ne pas être produit correctement à l'échelle d'une phrase même courte.

La question est donc de savoir si l'on juge la production en contexte sémantique à une vitesse considérée comme normale pour l'âge ou si l'on juge la production sans contraintes, de façon isolée ou dans une syllabe. Cette approche par processus de parole rebat les cartes et remet en question la terminologie phonétique versus phonologie, articulation/parole.

Il n'y a pas d'altération phonétique au sens théorique mais bel et bien une altération phonologique contextuelle nuisant ou non à l'intelligibilité. Certains phonèmes telles que les occlusives n'existent que par leur résolution dans la voyelle qui suit, ce qui l'enchaîne naturellement à un phonème vocalique. Il est donc dans ce cas difficile de parler de phonétique puisqu'il s'agit intrinsèquement d'un mouvement, d'une cinétique avec fermeture/mise en pression et relâchement. Les constrictives peuvent être produites isolément sans voyelles apposées puisqu'il s'agit d'un rétrécissement du conduit. Les doubles ou triples voyelles et consonnes s'inscrivent dans une cinétique complexe acquise assez tardivement car nécessitant des mouvements fins et rapides.

Conclusion

Dans cet article, nous avons analysé les scores d'articulation d'enfants de petite et moyenne section de maternelle, par le biais de trois phrases courtes, complémentaires, couvrant l'ensemble des phonèmes, et représentatives de la phonotactique et des processus de parole principaux en langue Française. La segmentation des phrases et l'évaluation automatisée des altérations par rapport à un enchaînement de phonèmes de référence a permis de dégager 3 scores pour chaque enfant. Ces scores ont permis d'identifier 6 cas sur les 37 cas inclus dans l'étude, soit 16%, dont les performances sont significativement inférieures à la limite normal/altéré. Nous avons aussi étudié le niveau de maîtrise des phonèmes et processus en fonction de l'âge, en distinguant les tranches 3, 4 et 5 ans. Le nombre limité de cas par tranche d'âge ne permet pas de dégager des tendances ayant une force statistique significative, mais donnent des indications intéressantes, concordantes pour la plupart avec les publications en lien avec les repères d'acquisition des phonèmes et des processus de parole avec l'âge. Cette étude montre la faisabilité et l'intérêt d'une action de dépistage de possibles retards phonologiques à l'échelle d'une classe, sur la base d'un protocole de passation court et d'une tâche d'analyse de durée raisonnable.

Remerciements

Nous remercions en premier lieu la direction de l'école Notre-Dame à Orthez (64) et les parents qui ont accepté que leurs enfants fassent l'objet d'enregistrement.

Nous tenons à remercier les orthophonistes contributrices à l'ERU 46 du laboratoire LURCO de l'UNADREO ainsi que les orthophonistes qui ont accepté d'enregistrer des témoins et des patients ou de co-encadrer des mémoires en lien avec la parole et ses pathologies. Nous tenons tout particulièrement à saluer le travail de Tiphaine Bardelang et Caroline Grenier concernant la parole de l'enfant et la mise au point des phrases courtes, dans le cadre de leur mémoire.

Nous saluons une fois de plus les efforts de mise en archives ouvertes d'un très grand nombre de résultats scientifiques, en particulier dans le domaine de la parole, ce qui permet une diffusion de la connaissance large, simple et sans droit d'accès. Cette base de connaissances facilite les analyses comparatives et méta-analyses qui accélèrent la mise en application clinique des résultats de recherche les plus probants. Enfin, nous remercions l'ensemble des orthophonistes, étudiants et chercheurs qui nous ont accordé leur confiance en utilisant nos méthodologies, approches et outils dans le cadre de leur pratique clinique ou de leurs travaux scientifiques.

Informations additionnelles

Financement

Cette étude ne fait l'objet d'aucun financement institutionnel ou privé.

Conflits d'intérêts

Etienne SICARD & Anne MENIN-SICARD sont co-auteurs des logiciels VOCALAB & DIADOLAB.

A propos des auteurs



Etienne SICARD est professeur à l'INSA Toulouse en électronique, informatique et traitement du signal. Il est directeur de recherches de l'équipe ERU 46 sur la parole pathologique au Laboratoire LURCO. Il a été chercheur associé à l'IRIT dans le cadre des projets ANR C2SI sur la voix de patients ayant eu un

cancer ORL et Voice4PD sur le diagnostic différentiel des syndromes Parkinsoniens. Etienne SICARD est co-auteur des logiciels VOCALAB et DIADOLAB pour le bilan et la rééducation orthophonique de la voix et la parole, ainsi que MICROWIND et IC-EMC en lien avec les circuits intégrés. Il a co-écrit une vingtaine d'ouvrages et plus de 250 publications scientifiques dans le domaine de l'analyse de la voix et parole, des circuits intégrés, et de la compatibilité électromagnétique. Il a été nommé en 2006 *Distinguished Lecturer* de la société savante IEEE.

Site : <https://cv.science/etienne-sicard>

Email : etienne.sicard@insa-toulouse.fr



Anne MENIN-SICARD est orthophoniste et titulaire d'un master recherche en Sciences du langage de l'université de Grenoble. Elle a exercé en libéral à Toulouse de 1994 à 2015. Anne MENIN-SICARD est co-auteur des logiciels VOCALAB et DIADOLAB.

Dans le cadre de AMS Formation,

elle organise et anime des formations aux orthophonistes sur le bilan et la prise en charge de la voix et parole pathologique. Elle a fondé en 2019 Opop, pour la formation en ligne personnalisée à destination des orthophonistes. Chercheuse associée à l'ERU 46 du LURCO, elle développe des outils de mesures objectives et de rééducation de la parole en lien avec le logiciel DIADOLAB. Elle est autrice d'un ouvrage sur l'évaluation objective de la voix (DeBoeck, 2017) ainsi que de nombreuses publications dans le domaine de la voix et de la parole pathologique. Elle exerce à mi-temps en salariat au CESDA d'Albi auprès d'enfants porteurs de handicaps sensoriels et neuro-développementaux.

Site : <https://www.formationsvoixparole.fr>

Email : anne.sicard2@orange.fr



Sara COLLIN est orthophoniste, diplômée de l'école de Paris en 2020 et exerçant à Orthez (Pyrénées-Atlantiques, Aquitaine). Elle est en phase de labellisation AMCO parcours Voix.

Email : sara.collin64@gmail.com

Références

[Ameli 2022] Bégaiement, trouble articulaire, retard de parole, dysphasie de l'enfant : comment reconnaître ? <https://www.ameli.fr>

[Bardelang 2020] Bardelang T. (2020), L'apport d'une phrase supplémentaire au protocole de DIADOLAB3. Mémoire d'orthophonie. Université de Lyon. Encadré par A. Menin-Sicard.

[Billard 2001] Billard, C., (2001). La BREV: une batterie clinique d'évaluation des fonctions cognitives chez les enfants d'âges scolaire et préscolaire. *Archives de pédiatrie*, 8(5), 545-552.

[Billard 2004] Billard, C. (2004). Dépistage des troubles du langage oral chez l'enfant et leur classification. *EMC-Oto-rhino-laryngologie*, 1(2), 126-131.

[Callu 2003] Callu, D., (2003). Pertinence du repérage par les parents des retards de langage chez l'enfant entre quatre et six ans. *Archives de pédiatrie*, 10(12), 1061-1067.

[Chevrie-Muller 2001] Chevrie-Muller, C., & Plaza, M. (2001). Nouvelles épreuves pour l'examen du langage. ECPA.

[Coquet 1997] Coquet, F., & Maetz, B. (1997). Le DPL 3 dépistage langage et prévention à 3 ans: Un nouvel outil de repérage des troubles du langage oral chez l'enfant de 3 ans 6 mois. *Rééducation orthophonique*, 35(190), 153-162.

[Coquet 2011] Coquet, F. EVALO 2-6 et EVALO BB: nouvelles propositions de méthodologie diagnostique. *Inter-Actions, Langage & pratiques*, 2011, 47, 71-87

[Eru 46] <https://www.unadreo.org/lurco/les-erus-en-detail/eru-46-parole/eru-46-presentation-generale/>

[Grenier 2020] Grenier C. (2020), Etude comparative de tests phonologiques existants et du protocole d'analyse objective de la parole avec Diadolab : intérêt et limites d'un test court et des mesures objectives d'intelligibilité et de fluence. Mémoire de Master d'orthophonie. Université de Toulouse. Co-encadrement : S. Michel, E. Sicard.

[HAS 2017] Comment améliorer le parcours de santé d'un enfant avec troubles spécifiques du langage et des apprentissages ? Haute Autorité de Santé, 2017 <https://www.has-sante.fr>

[MacLeod 2014] MacLeod, A. A., (2014). Outil de dépistage des troubles du développement des sons de la parole: bases théoriques et données préliminaires. *Canadian Journal of Speech-Language Pathology & Audiology*, 38(1).

[McLeod 2017] McLeod, S., & Verdon, S. International Expert Panel on Multilingual Children's Speech.(2017). Tutorial: Speech assessment for multilingual children who do not speak the same language (s) as the speech-language pathologist. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 26(3), 691-708.

[Maeder 2000] Maeder, C., & Roy, B. (2000). Detecting language disorders in 4-year-old French children. An application of the ERTL-4. *Child: Care, Health and Development*, 26(2), 129-136.

[Meloni 2022] Meloni, G. (2022). Evaluation des troubles du développement des sons de parole dans le cadre d'un modèle psycholinguistique chez l'enfant francophone, Thèse de doctorat de l'Université Grenoble Alpes

[Meloni 2022] Meloni, G., (2022). Évaluation de la perception des sons de parole chez les populations pédiatriques: réflexion sur les épreuves existantes. *Glossa*, 132, 1-27.

[Menin-Sicard 2019] Menin-Sicard, A, Sicard, E. (2019). Méthodologie d'évaluation objective de la phonologie, de la fluence et de la prosodie - Vers un bilan rapide à destination des orthophonistes. Journées de Phonétique Clinique JPC 2019, May 2019, Mons, Belgique. <https://hal.science/hal-02127039>

[Menin-Sicard 2021] Menin-Sicard, A., Sicard, E., Grenier, C., Bardelang, T., & Michel, S. (2021). Méthodologie de la segmentation pour l'évaluation objective des compétences phonologiques avec DIADOLAB3. <https://hal.science/hal-03149560/>

[Monetta 2016] Monetta, L., (2016). Recension des outils franco-québécois pour l'évaluation des troubles du langage et de la parole. *Revue canadienne d'orthophonie et d'audiologie*, 40(2), 165-175.

[Ooreka 2022] Retard de langage et de parole <https://orthophonie.ooreka.fr>

[Roy 2000] Roy, B., (2000). ERTL4 et ERTLA6, des outils de repérage à l'usage des médecins. *Rééducation orthophonique*, 38(204), 65-92.

[Sicard 2019] Sicard, E., Menin–Sicard, A. (2019) Analyse de la qualité des phrases pour un bilan objectif de la parole. [Rapport de recherche] INSA Toulouse. 2019. <https://hal.science/hal-02389764>

[Sicard 2020] Sicard, E., & Menin-Sicard, A. (2020). La diadococinésie et son application en orthophonie clinique. Rapport de recherches en archives ouvertes. INSA Toulouse, LURCO/UNADREO, <https://hal.science/hal-02512856/>

[Sicard 2021] Sicard, E., & Menin-Sicard, A. (2021). Le spectrogramme et son application en clinique orthophonique. Rapport de recherches LURCO/UNADREO, INSA Toulouse. <https://hal.science/hal-03107434>

[Sicard 2022] Sicard, E., Menin-Sicard, A. (2022). Imprécision phonémique et altération des processus de parole : repères en lien avec la prise en charge orthophonique. Rapport de recherches INSA Toulouse, LURCO/UNADREO. <https://hal.science/hal-03648514>

[Sicard 2023] Sicard, E., Menin-Sicard, A. (2023). DIADOLAB 3.5, GERIP, Septembre 2023 <http://www.diadolab.org>