



Étude de l'interaction entre le développement de la parole et le développement myofonctionnel orofacial par le biais des habiletés somatosensorielles et motrices chez les enfants tout-venant d'âge préscolaire

Thèse présentée par

**Morgane WARNIER**

En vue de l'obtention d'un Doctorat en  
Sciences Psychologiques et de l'Éducation

Année académique 2022-2023

*Jury composé de C. Maillart (Promotrice), A. A. N. MacLeod (Co-promotrice), D. Morsomme (Présidente), A. Bruwier (Secrétaire), S. Raskin et P. Gatignol*



## Résumé

Les fonctions orofaciales telles que la respiration, la déglutition, la mastication et la parole partagent des éléments anatomiques, physiologiques et neurologiques communs. Ces caractéristiques communes amènent souvent au postulat qu'il existerait une interrelation directe entre ces différentes fonctions. Cependant, l'existence d'un tel lien est controversée dans la littérature scientifique. Si ce lien s'avérait exister, nous avons fait l'hypothèse qu'il ne serait pas de nature directe, mais qu'il s'exprimerait durant le développement de l'enfant et par la médiation des habiletés somatosensorielles et motrices de la langue, des lèvres, des joues, et de la mâchoire. Les résultats issus de ce travail de thèse remettent en doute l'existence de relations observables chez l'enfant tout-venant en adoptant une perspective clinique. Ces résultats supposent qu'il est nécessaire de prendre plus de précautions pour interpréter des implications cliniques liées aux fonctions orofaciales non verbales et de la parole. D'autres études sont maintenant nécessaires pour affiner la compréhension de ces processus dans le cadre de la pathologie. Les données récoltées dans le cadre de ce projet ont par ailleurs permis d'enrichir les connaissances sur les performances de la parole d'enfants francophones, mais aussi de mieux caractériser les critères d'évaluation des fonctions orofaciales et en particulier du mode de respiration. Ces dernières recherches ont abouti à la validation d'un outil clinique permettant de confirmer le mode de respiration de l'enfant d'âge préscolaire.

## **Abstract**

Orofacial functions such as breathing, swallowing, chewing and speaking share common anatomical, physiological and neurological features. These shared features often lead to the assumption that there is a direct interrelationship between these different functions. However, the hypothesis of such a link is very controversial in the scientific literature. We hypothesized that, if this link were to exist, it would not be direct but would express itself during the child's development and through the mediation of somatosensory and motor skills of the tongue, lips, cheeks, and jaw. The results of this dissertation question the existence of an observable relationship from a clinical perspective in typically developing children. These results suggest that more caution is needed in interpreting clinical implications related to nonverbal orofacial functions and speech. Further studies are now needed to refine the understanding of these processes in pathology. Data collected in this project have also allowed us to expand our knowledge on speech abilities of French-speaking children, as well as to better characterize the criteria used for the assessment of orofacial functions, especially for the breathing pattern. The findings led to the validation of a clinical tool allowing to confirm the breathing pattern of preschool children.

# Remerciements

Merci à vous, Christelle et Andrea. Christelle, je te remercie d'avoir donné une chance à ce projet qui me tenait tant à cœur. Merci d'avoir accepté de te lancer dans le domaine myofonctionnel qui n'était pas initialement au centre de tes intérêts, merci d'avoir cru en son potentiel et de lui avoir laissé une place. Je te suis reconnaissante de m'avoir donné l'impulsion qu'il me fallait dans les moments clés. Tu m'as aussi appris que le mieux est l'ennemi du bien, une vraie leçon de vie que je tâcherai de retenir pour l'avenir. Andrea, merci pour ta bienveillance, tes encouragements et tes précieux feedbacks. Je te suis infiniment reconnaissante de m'avoir accompagnée dans les moments de doutes, de t'être soucieuse de mon bien-être au-delà de la thèse et de m'avoir redonné confiance en mon travail.

Merci aux membres du comité d'accompagnement. Sylvianne, merci de croire en moi presque aveuglément. Merci de me guider fidèlement depuis mes débuts dans le monde de la logopédie, envers et contre tout. Dominique, tu as toujours été là pour m'accompagner et superviser mes travaux avec rapidité et pertinence, mais au-delà de cela j'ai pu me tourner vers toi quand j'ai eu besoin d'une oreille attentive. Merci.

Je remercie Peggy Gatignol et Annick Bruwier d'avoir accepté de rejoindre les membres du jury de cette thèse. Merci pour le temps consacré à la lecture du manuscrit et l'intérêt porté à la thématique.

Je suis extrêmement reconnaissante envers le F.R.S.-FNRS de m'avoir accordé le privilège de travailler dans des conditions

optimales, tout au long de cette thèse. Merci à l'Université de Liège, à la fédération Wallonie-Bruxelles International et à Mitacs de m'avoir permis de séjourner au Canada et ainsi d'aboutir au premier article de ma thèse dans d'excellentes conditions.

Je tiens à remercier les directeurs et directrices, instituteurs et institutrices, tous les parents et les enfants qui ont accepté de participer au projet. Merci pour la confiance que vous m'avez accordée et merci d'avoir chacun apporté votre petite pierre à l'édifice de la recherche scientifique.

Yvan, merci pour les moments de franche rigolade. Mais surtout, merci pour ta patience et ton expertise qui m'ont été indispensables lors de ce projet.

Merci à toutes celles qui ont été, pour une période plus ou moins longue, mes collègues : Estelle (mon éclaireur), Anne-Lise, Edith, Camille, Lauren, Trecy, Rochana, Pauline, Marion, Magali, Sandrine, ainsi que toutes les personnes du B38. I will also never forget my Canadian colleagues Natalie, Wendy, Negin, Carolina and my dear Catrine. Thank you so much!

Évidemment merci à toi Léonor, qui est devenue mon binôme. Parce qu'à deux, c'est tellement mieux ! Vivement tous nos projets professionnels à venir.

Merci aux étudiantes, maintenant pour la plupart devenues des collègues, qui se sont investies en respectant les deux maîtres mots de ce projet : rigueur et flexibilité. Laurie, Victoria, Gabrielle, Marguerite, Laure, Garance et Justine. Un merci tout spécial à Fanny.

Je vous souhaite à toutes une carrière épanouie et de nombreuses collaborations.

Merci à toutes les amies à qui je tiens et qui se reconnaîtront sans aucun doute. Celles du Barbou, celles des Guides, celles de l'Université, celles des secondaires. Sans toujours le savoir, vous m'avez apporté du courage sur le chemin de la thèse. Savoir que je vous ai dans ma vie me suffit pour me donner le sourire. Merci Audrey pour ta relecture et pour nos conversations si enrichissantes.

À Charlotte et Mathias, pour les projets que nous avons entamés et parce que j'ai manqué l'immanquable. Vive les mariés !

Merci à ma grande et exceptionnelle famille, particulièrement à tous ceux qui auront relu une partie de ce bout de papier. Merci à mon papy qui a partagé de nombreuses journées de travail à mes côtés. Être chez toi m'a permis d'avoir des journées productives et savoir que ma présence t'a apaisée au cours de ces journées est pour moi très précieux. Merci à Nenen, juste comme ça.

Merci à mon papa, Christophe, Florence et Vincent. Vous ne comprenez pas toujours la folie qui dirige mon cerveau et la souffrance que je me fais délibérément endurer, mais vous me soutenez quoi qu'il arrive. Et cela compte beaucoup pour moi.

À ma maman chérie : même un écrit aussi sérieux qu'une thèse de doctorat ne m'empêchera pas de saisir l'occasion de te dire que je t'aime. Nothing compares to you.

Beverly, merci pour la bouffée d'oxygène et la légèreté que tu apportes à mon quotidien. Merci pour tous les moments de complicité partagés dans notre petit coin de paradis et ailleurs, merci de calmer mes angoisses et merci d'être toujours là, même quand cela te demande de surmonter des montagnes. Grâce à toi, j'ai moins peur de l'arrivée de l'hiver.

Ce projet de thèse est pour toi, Antoine. Ton génie m'a manqué à chaque étape. Je suis sûre que tu aurais fait ce bout de chemin avec moi.



Dans chaque épreuve, ne cherchez pas l'ennemi, cherchez  
l'enseignement.

- Mikao Usui -

La perfection est un état de modération et de mesure.

- Jean Guitton -

# Table des matières

|   |           |
|---|-----------|
| <b>INTRODUCTION THÉORIQUE .....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>Chapitre 1. Les habiletés somatosensorielles et motrices .....</b>                               | <b>2</b>  |
| 1.1. Concepts et terminologie .....   | 2         |
| 1.1.1. Habiletés motrices orofaciales .....   | 2         |
| 1.1.2. Habiletés somatosensorielles orofaciales .....   | 8         |
| 1.2. Spécificités de la langue .....  | 11        |
| 1.3. Spécificités des lèvres.....   | 14        |
| 1.4. Spécificités de la mâchoire .....  | 15        |
| <b>Chapitre 2. Le développement typique de la parole .....</b>                                      | <b>17</b> |
| 2.1. Concepts et terminologie .....   | 17        |
| 2.2. Modèles théoriques du développement de la parole .....   | 18        |
| 2.2.1. Modèle de Redford (2019).....  | 21        |
| 2.3. Analyse des productions de la parole.....  | 25        |
| 2.3.1. Compréhensibilités vs. Intelligibilité .....   | 25        |
| 2.3.2. Contextes d'analyse de la parole.....  | 26        |
| 2.3.3. Mesures de production de la parole.....  | 28        |
| 2.4. La parole francophone .....  | 30        |
| 2.5. Les habiletés somatosensorielles et motrices dans la parole                                    | 35        |
| 2.5.1. Développement du contrôle moteur de la parole .....  | 35        |
| 2.5.2. Informations somatosensorielles dans le contrôle moteur de la parole .....                   | 42        |
| 2.5.3. Apport des données pathologiques dans la compréhension du contrôle moteur de la parole ..... | 44        |

|   |   |           |
|---|---|-----------|
| 2.6.  | Relation entre habiletés motrices orales non verbales et parole   | 49        |
| 2.6.1.  | Apport des données cliniques  | 49        |
| 2.6.2.  | Habiletés motrices orales non verbales dans le traitement des troubles du développement des sons de la parole                         | 54        |
| <b>Chapitre 3. Le développement myofonctionnel orofacial</b>  |   | <b>56</b> |
| 3.1.  | Respiration   | 57        |
| 3.2.  | Déglutition   | 59        |
| 3.3.  | Mastication   | 62        |
| 3.4.  | Évaluation clinique des fonctions orofaciales   | 65        |
| 3.5.  | Apport des données pathologiques dans la compréhension du rôle des habiletés somatosensorielles et motrices des fonctions orofaciales | 67        |
| <b>Chapitre 4. L'hypothèse d'une interaction entre le développement de la parole et le développement myofonctionnel orofacial</b> |   | <b>71</b> |
| 4.1.  | Données neurologiques   | 71        |
| 4.2.  | Données expérimentales dans le développement typique  | 73        |
| 4.3.  | Données pathologiques   | 75        |
| <b>PARTIE EXPÉRIMENTALE</b>   |   | <b>78</b> |
| Objectifs généraux  |   | 79        |
| Aperçu des études   |   | 80        |
| Étude 1   |   | 80        |
| Étude 2   |   | 81        |
| Complément à l'étude 2  |   | 82        |
| Étude 3   |   | 83        |

|   |            |
|---|------------|
| Étude 4.....  | 84         |
| <b>Étude 1. Exploring word production in three-year-old monolingual French-speaking children.....</b>   | <b>85</b>  |
| Citation .....  | 85         |
| Acknowledgement.....  | 85         |
| Data availability statement .....   | 86         |
| Abstract.....   | 86         |
| Background.....   | 87         |
| Current reasearch .....   | 92         |
| Methods .....   | 93         |
| Results.....  | 98         |
| Discussion .....  | 105        |
| Conclusion .....  | 109        |
| References .....  | 110        |
| Appendices .....  | 117        |
| <b>Étude 2. Relationship between developmental trajectories of nonspeech orofacial functions and speech in typically developing preschool children.....</b> | <b>121</b> |
| Status .....  | 121        |
| Acknowledgment.....   | 121        |
| Data availability statement .....   | 121        |
| Abstract.....   | 122        |
| Background.....   | 123        |
| Methods .....   | 131        |

|   |            |
|---|------------|
| Results .....   | 141        |
| Discussion.....   | 148        |
| Conclusion .....  | 153        |
| References.....   | 154        |
| Appendices .....  | 169        |
| <b>Complément à l'étude 2. Trajectoires développementales et rôle des habiletés somatosensorielles orales dans le développement des fonctions orofaciales non verbales et de la parole.....</b> | <b>172</b> |
| Objectifs et hypothèses .....   | 172        |
| Méthodologie.....   | 172        |
| Résultats .....   | 174        |
| Discussion.....   | 178        |
| Références.....   | 180        |
| <b>Étude 3. Assessment of mouth breathing by Speech-Language Pathologists : An international Delphi consensus .....</b>   | <b>185</b> |
| Citation.....   | 185        |
| Acknowledgment.....   | 185        |
| Abstract.....   | 185        |
| Introduction .....  | 186        |
| Methods .....   | 190        |
| Results .....   | 197        |
| Discussion.....   | 207        |
| Conclusion .....  | 211        |
| References.....   | 212        |

|   |            |
|---|------------|
| Appendices .....  | 217        |
| <b>Étude 4. Towards a better diagnosis of mouth breathing : validity and reliability of a protocol for assessing the awake breathing pattern in preschool children.....</b> | <b>225</b> |
| Status .....  | 225        |
| Acknowledgment.....   | 225        |
| Abstract.....   | 226        |
| Introduction .....  | 227        |
| Methods .....   | 229        |
| Results.....  | 236        |
| Discussion .....  | 242        |
| References .....  | 245        |
| <b>DISCUSSION GÉNÉRALE .....</b>  | <b>252</b> |
| Rappel synthétisé des objectifs et résultats principaux.....  | 253        |
| Développement de la parole .....  | 256        |
| Développement myofonctionnel .....  | 271        |
| Développement des habiletés motrices et somatosensorielles orales   | 282        |
| Interaction entre le développement myofonctionnel et le développement de la parole .....  | 289        |
| Conclusion .....  | 293        |
| <b>RÉFÉRENCES .....</b>   | <b>296</b> |
| <b>ANNEXES .....</b>  | <b>365</b> |

## Liste des abréviations

ABPA = Awake Breathing Pattern Assessment

HMO = habiletés motrices orales (oral motor skills)

HSO = habiletés somatosensorielles orales

NSOMe = Exercices volontaires orofaciaux non verbaux (Nonspeech Orofacial Movement Exercises)

NSOMs = Mouvements volontaires orofaciaux non verbaux (Nonspeech Orofacial Movements)

PCC = Pourcentage de Consonnes Correctes (Percentage of Consonants Correct)

TDL = Trouble Développemental du Langage (Developmental Language Disorder, DLD)

TDSP = trouble du développement des sons de la parole (Speech Sound Disorders, SSD)

WWP = Whole Word Proximity (or Proportion of whole-word proximity PWP)

## Préface

Apprendre à parler comme l'adulte est un processus progressif qui repose sur les compétences multidimensionnelles des systèmes auditifs, visuels et moteurs dans un objectif communicationnel et social. Le système moteur tient une place centrale dans la production de la parole pour permettre l'enchaînement des actes moteurs complexes synchronisés qui la caractérisent (MacLeod et al., 2008). Ces actes moteurs sont sous-tendus par l'activation d'habiletés motrices et somatosensorielles fines des articulateurs (Hickok, 2012; McAllister Byun et al., 2016; Redford, 2019) et nécessitent la coordination respiratoire et l'intégrité d'un système musculaire extrêmement étendu (Rvachew & Brosseau-Lapré, 2018)

Par extension, il est souvent postulé que le contrôle moteur de la parole se développerait en étroite relation avec d'autres fonctions orofaciales non spécifiques à la parole, comme la respiration, la déglutition ou la mastication (Coquet, 2017; Couly, 2017; MacNeilage, 1998; Smith, 2010). Ce postulat est pourtant loin de faire l'unanimité auprès de chercheurs (Lancheros et al., 2020; Maas, 2017; Steeve & Moore, 2009). Certains auteurs postulent que le développement du contrôle moteur de la parole partagerait, outre une anatomie commune, un réseau neuronal commun avec ces fonctions orofaciales non verbales (Lund & Kolta, 2006; Smith, 2010; Barlow, Lund, Estep, & Kolta, 2010) tandis que d'autres auteurs argumentent dans le sens d'une totale indépendance (Connaghan et al., 2004; Ruark & Moore, 1997). Les données neurologiques, pathologiques et expérimentales comportent des éléments en faveur et en défaveur des uns et des autres dans ce débat.



L'objectif principal de ce travail de thèse est d'investiguer l'hypothèse selon laquelle le développement de la parole et le développement myofonctionnel seraient sous-tendus par des habiletés somatosensorielles et motrices orales communes. Le développement de la parole en contexte de bilinguisme suivant une trajectoire développementale particulière (Bhatia & Ritchie, 2006), nous ne traiterons ici que le développement d'enfants monolingues. Ce travail sera également centré sur la tranche d'âge préscolaire (3 à 5 ans), puisque c'est durant cette période que l'enfant apprend à produire avec précision la majeure partie des consonnes en français (MacLeod et al., 2011).

La première partie de ce projet exposera le contexte théorique autour duquel s'articule cette hypothèse. Cette partie sera composée de quatre chapitres. Le premier chapitre sera une introduction aux concepts et à la terminologie relative aux habiletés somatosensorielles et motrices propres à la sphère orofaciale. Le deuxième chapitre présentera le développement de la parole chez l'enfant typique, avec une emphase sur le développement du contrôle moteur ainsi que sur les particularités de la parole francophone. Dans le troisième chapitre, il sera question du développement des fonctions de respiration, déglutition et mastication et de leur interaction constante avec les habiletés somatosensorielles et motrices. Enfin, le quatrième et dernier chapitre exposera les études portant sur l'hypothèse controversée d'un lien direct entre les fonctions orofaciales non verbales et la parole.

La partie expérimentale traitera dans un premier temps des objectifs principaux de cette thèse, relatifs à la description, aux trajectoires et aux interactions développementales des concepts abordés lors de l'introduction théorique. Ensuite, les objectifs

secondaires, liés aux critères d'évaluation de la respiration, seront exposés. Nous présenterons les quatre études réalisées dans le cadre de cette thèse pour répondre à ces objectifs. Pour finir, les résultats de ces études seront discutés au regard de la littérature existante et les perspectives en recherche et en clinique seront abordées.

# **INTRODUCTION THÉORIQUE**

# Chapitre 1.

## Les habiletés somatosensorielles et motrices orofaciales

### 1.1. Concepts et terminologie

Le système nerveux humain, responsable des systèmes somatosensoriel et moteur, est extrêmement complexe à appréhender. Ce chapitre se veut être une introduction brève et non exhaustive à la terminologie et aux concepts qui seront employés dans le corps de ce travail.

Au siècle dernier, deux illustres neurochirurgiens (Penfield & Boldrey, 1937) cartographient les nerfs et les régions cérébrales qui sont liées aux fonctions somatosensorielles et motrices. Cette cartographie montre que les articulateurs, en particulier la langue et les lèvres, dénotent avec le reste du corps. Elle reflète l'importance particulière de la zone orofaciale dans les systèmes somatosensoriel et moteur (Haggard & de Boer, 2014). Les systèmes somatosensoriel et moteur de la région orofaciale sont singuliers tant au niveau neurologique que physiologique, ce qui rend leur développement unique (pour une revue approfondie, voir : Avivi-Arber et al., 2011; Cattaneo & Pavesi, 2014; Dubner et al., 1978; Sessle, 2006; Traurig, 2008).

#### 1.1.1. Habiletés motrices orofaciales

Les muscles de la face, principalement innervés par le nerf facial et le nerf trijumeau (Vacher & Cyna-Gorse, 2015), sont impliqués dans de nombreuses fonctions en ce compris la respiration, la mastication, la déglutition et la parole (Barlow et al., 2010). L'activation motrice

dépend de circuits neuronaux relativement généraux à la fois pour la planification et l'exécution des mouvements (Roland, 1984), néanmoins ce système moteur se spécifie en fonction des différents contextes/tâches (Whalen, 2019) et dans la réalisation de leur(s) fonction(s) respective(s) (Sessle, 2006).

La plupart de ces fonctions sont le résultat d'un apprentissage en termes de justesse (correct/incorrect), de durée, d'amplitude et de précision, qui est généralement stocké avec une composante temporelle permettant la planification et la coordination des mouvements. C'est ce qu'on appelle le contrôle moteur (Weismer & Cariski, 1984). Le contrôle moteur de la sphère orofaciale dépend bien sûr des réflexes moteurs, de la maturation neurologique et de la croissance des structures craniofaciales (Delaney & Arvedson, 2008; Green et al., 1997; Sampallo-Pedroza et al., 2014), mais il est donc également le fruit d'un apprentissage tout comme c'est le cas pour la motricité globale (Manno et al., 2005). Cet apprentissage est soutenu par des expériences motrices et sensorielles qui évoluent tout au long du développement (Stevenson & Allaire, 1991).

D'un point de vue relatif à la logopédie/orthophonie, le contrôle moteur orofacial est abordé de manière simplifiée et résumée par les termes anglais « oral motor skills » ou « oro-motor skills », qui seront traduits dans ce travail par « habiletés motrices orales » ou « orofaciales » (abrégé sous l'acronyme HMO dans le texte). De cette perspective (qui est donc schématisée et relativement spécifique au domaine), les HMO réfèrent à la motricité de la langue, des lèvres, des joues, et des mâchoires dans la réalisation des fonctions orofaciales (Sampallo-Pedroza et al., 2014).

Historiquement, les HMO sont majoritairement étudiées au regard de la pathologie pédiatrique dans le domaine de la

logopédie/orthophonie. D'une part, elles sont couramment envisagées par le prisme des troubles alimentaires et de la déglutition pédiatriques (ASHA, n.d.-c). Ce terme inclut les troubles de l'alimentation<sup>1</sup>, liés ou non à des troubles des habiletés sensori-motrices, et peu inclure ou non un trouble dysphagique (Goday et al., 2019). Dans ce contexte, les HMO peuvent faire référence à un continuum extrêmement vaste, incluant entre autres l'ouverture de la bouche, la gestion du bolus par la langue ou les mouvements masticatoires. Mais l'utilisation de ce terme dans ce contexte fait également référence à des compétences hors de la thématique de ce travail (ex. : manipulation des instruments nécessaires à l'alimentation). D'autre part, les HMO sont également étudiées du point de vue des troubles du développement des sons de la parole (TDSP), en particulier dans le contexte des troubles moteurs de la parole tels que la dyspraxie verbale (en anglais Childhood Apraxia of Speech, CAS). Ce sont probablement ces deux principaux contextes d'étude qui expliquent pourquoi les HMO sont envisagés selon une dichotomie : les habiletés motrices spécifiquement liées à la parole, qu'on appelle contrôle moteur de la parole (celui-ci sera décrit au Chapitre 2) *versus* les habiletés motrices dites « non verbales » (comprendre non liées à la parole, « nonspeech » en anglais).

Les habiletés propres aux mouvements des articulateurs durant parole seront décrites au cours du Chapitre 2. Comme nous aurons l'occasion de le voir, elles sont plutôt évaluées par le biais d'outils de laboratoires.

---

<sup>1</sup> Ici, « alimentation » correspond à « feeding » en anglais, autrement dit « se nourrir ». Il inclut, outre le comportement autour du repas, le placement de la nourriture dans la bouche, la gestion du bolus, la déglutition et la mastication (Logemann, 1998)

Les HMO non verbales pour leur part regroupent un ensemble hétéroclite d'actions qui sont souvent largement confondues dans les évaluations prévues à cet effet. Kent (2015) a tenté de les catégoriser. Dans le Tableau 1, nous reprenons une partie de cette catégorisation en conservant les termes anglophones lorsqu'il n'existe pas d'équivalent francophone. Au sein des HMO non verbales, on recense les mouvements volontaires orofaciaux non verbaux (NSOMs), souvent appelées praxies orofaciales en français. Les NSOMs correspondent à des actes moteurs des muscles orofaciaux réalisés pour « *accomplir des mouvements ou des objectifs posturaux spécifiques qui ne sont pas suffisants en eux-mêmes pour avoir une identité phonétique* » (Kent, 2015, p.765). Cette terminologie regroupe un ensemble extrêmement variable de mouvements isolés ou réalisés en combinaison avec d'autres mouvements dépourvus de sens phonétique. Lorsque ces mouvements sont combinés et séquencés (ex. : mouvements rapides de latéralisation de la langue), ils sont parfois appelés « diadococinésies silencieuses ». La répétition de syllabes diadococinétiques a quant à elle souvent été catégorisée de différentes manières, tantôt référant à du matériel verbal, tantôt à du matériel non verbal. Lancheros et al. (2022), en congruence avec la classification de Kent, les considèrent appartenant à la catégorie « quasispeech ». Selon leurs recherches, il existe un continuum où les diadococinésies hétérogènes (/pataka/) se situeraient plus proches de la parole que la répétition de syllabes homogènes (/papapa/), ce qui est congruent avec d'autres études (Rong, 2020).

**Tableau 1.***Catégorisation des habiletés motrices orales non verbales*

| Catégorie   | Description de la tâche  | Structure phonétique et signification  | Exemple  |
|-------------|--|--|--|
| NSOMs       | Englobe un large éventail de mouvements orofaciaux, exécutés isolément ou en séquence avec d'autres mouvements | Aucune, car les tâches sont décrites en termes de mouvements ou de positions.<br>Aucune signification.   | Mouvements isolés ou séquencés des lèvres, langue, mâchoire ou joues |
| Speechlike  | Fredonnement   | Aucune.<br>Aucune signification (excepté quand le fredonnement signifie oui ou non)  | Production vocale soutenue   |
| Quasispeech | Production soutenue de voyelles et/ou syllabes diadococinésiques.  | Oui généralement d'une variété limitée et normalisée en vue d'une utilisation clinique.<br>Aucune signification, excepté quand de vrais mots sont employés | Répétitions de syllabes telles que /papapa/ ou /pataka/              |

*Note.* Traduit et adapté de « *Nonspeech oral movements and oral motor disorders: A narrative review* » par Kent, R., 2015, *American Journal of Speech-Language Pathology*, 24(4), p. 764

L'évaluation des NSOMs sur injonction verbale est une composante très fréquemment ajoutée à l'évaluation de la production de la parole. Elle viserait à identifier la nature oromotrice liée aux compétences de l'enfant (Pam Williams & Stackhouse, 2000) et à déterminer si les structures musculaires orales sont suffisamment fonctionnelles pour la parole (Waite et al., 2012). Des batteries cliniques sont généralement employées pour l'évaluation des NSOMs au regard de la parole. En anglais, on retrouve par exemple le Verbal Motor Production Assessment for Children, le Dynamic Evaluation of Motor Speech Skill, le DEAP oral motor screen, le Orofacial Praxis Test, the Robbins &



Klee Oral Speech Motor Protocol ou le Kaufman Speech Praxis. En français par contre, extrêmement peu d'outils sont disponibles pour évaluer l'aspect moteur de la parole (Monetta et al., 2016; Pernon et al., 2020) et les qualités psychométriques de ces outils n'ont généralement pas été étudiées. Parmi ceux-ci, on retrouve les praxies bucco-faciales et linguales de l'Evalo (Coquet et al., 2007), les praxies bucco-faciales de la grille publiée par Henin (1980), les praxies articulatoires de l'Isadye (Piérart et al., 2012) et celles de la BEPL-A (Chevrie-Müller et al., 1988). Malgré l'utilisation courante de ces tests, le lien entre les NSOMs et la parole est pourtant très contesté (Gadesmann & Miller, 2008; Maas, 2017) (voir le point 2.6). Généralement, ces tâches servent à différencier la dyspraxie de la dysarthrie et des autres TDSP pour adapter le plan de prise en soin (Keske-Soares et al., 2018). Les NSOMs sont également employés pour évaluer les HMO en dehors du contexte de la parole. On les retrouve notamment dans l'Orofacial Myofunctional Évaluation with Scores (OMES) (de Felício & Ferreira, 2008) qui évalue les fonctions orofaciales ou dans le protocole de Motricité Bucco-Linguo-Faciale (MBLF) (Picard et al., 2021) qui a récemment été validé pour évaluer la symétrie des mouvements chez une population adulte présentant une paralysie faciale. Malgré la définition de Kent (2015) sans équivoque concernant l'absence de structure phonétique qui caractérise les NSOMs, nombre d'épreuves citées ci-dessus incluent des productions vocales (ex. : le bruit d'un animal). Aussi, l'évaluation d'autres mouvements orofaciaux, par exemple les mouvements des yeux, est parfois incluse. Si de tels mouvements peuvent être informatifs dans l'évaluation des HMO au regard par exemple d'une paralysie, tout porte à penser qu'ils n'ont pas d'utilité directe dans le contexte de la parole. En bref, le mélange hétéroclite sous-tendant les

NSOMs complexifie l'évaluation et donc son interprétation dans les contextes dans lesquels ils sont utilisés.

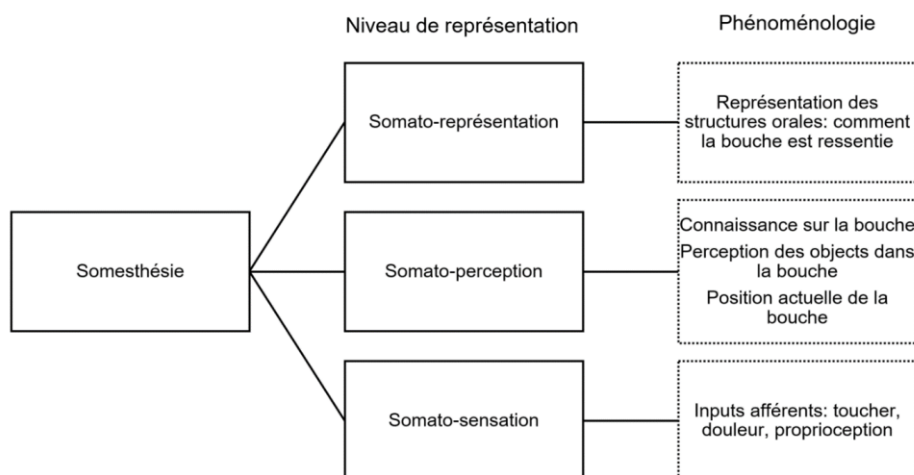
### 1.1.2. Habiletés somatosensorielles orofaciales

Le contrôle moteur en développement repose en grande partie sur les habiletés somatosensorielles orales/orofaciales (abrévié sous l'acronyme HSO dans le texte) (Barlow et al., 2010; Stillman, 2002). Le système somatosensoriel, c'est-à-dire relatif aux sensations corporelles, est l'un des premiers systèmes sensoriels à être fonctionnel lors de la vie fœtale, bien avant les systèmes auditif ou visuel (Cree, 2014; Lund & Kolta, 2006). L'innervation sensitive de la bouche et des muscles masticateurs se fait majoritairement par le nerf trijumeau (Darian-Smith, 1973). Comme le montre la Figure 1, elle suit le schéma de représentation classique des autres sens : les récepteurs sensitifs de notre corps transmettent un ensemble de stimuli internes et externes qui sont d'abord perçus puis intégrés par le cerveau (Kaas, 2012). Ces récepteurs sont de deux sortes. Les premiers, les récepteurs cutanés, relayent l'information extéroceptive c'est-à-dire de l'environnement extérieur. Ils sont sensibles au chaud et au froid, aux vibrations et à la douleur, mais ils permettent aussi une discrimination tactile fine du toucher, des textures, des formes ou de la pression par exemple. Les seconds sont situés dans les muscles, tendons et articulations, où ils saisissent les informations sensorielles profondes internes appelées proprioceptives (Stillman, 2002). La proprioception, souvent considérée comme le « *sixième sens* » intègre une composante statique ainsi qu'une composante dynamique (Tuthill & Azim, 2018). Du point de vue statique, la proprioception renseigne sur le tonus musculaire et intègre les sensations de la localisation des parties du corps les unes par rapport aux autres. La proprioception

dynamique, ou kinesthésie, renseigne spécifiquement sur des mouvements des différentes parties du corps (Stillman, 2002). La proprioception est « *fondamentalement personnelle et généralement absente de la perception consciente* » (Tuthill & Azim, 2018, p. R194), bien qu'elle puisse être conscientisée en y prêtant une attention particulière (Haggard & de Boer, 2014).

**Figure 1.**

*Les différents niveaux de représentation du système somatosensoriel oral*



*Note.* Traduit et adapté de « *Oral somatosensory awareness* » par Haggard, P., de Boer, L., 2014, *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 47, p. 471.

La distinction entre les différents types de sensations somesthésiques (extéroceptive et proprioceptive) n'est dans la réalité pas si évidente puisque les deux types d'information s'imbriquent dans la réalisation d'une fonction. La discrimination tactile d'un objet par exemple, qui implique a priori les récepteurs superficiels, intègre également les sensations proprioceptives (Kalaska, 1994). En outre, elles interagissent constamment avec le système moteur puisque les neurones propriocepteurs envoient des feedbacks directs aux





neurones moteurs, leur permettant de réguler non seulement la posture, mais également les mouvements du corps (Tuthill & Azim, 2018). Les informations proprioceptives sont primordiales lors de l'apprentissage de nouvelles compétences motrices, en particulier s'il s'agit de mouvements volontaires (Gert Holstege, 1996).

Toutes les techniques d'évaluation des habiletés somatosensorielles ne sont pas applicables à la sphère orale, en particulier à la langue (Zhou et al., 2018). Certaines techniques sont uniquement applicables en laboratoire. Par exemple, il est possible de modifier les informations somatosensorielles par un stimulus externe et d'en interpréter les réponses par électromyographie (Abbs & Gracco, 1984) ou par IRM (Zhou et al., 2018). Il est également possible de mesurer le seuil de réponse à un stimulus vibrotactile (Fucci et al., 1991). Mais la plupart des mesures utilisées sont davantage cliniques et sont généralement basées sur la perception tactile (Minato et al., 2009), pour une question de faisabilité. Une revue des méthodes a été menée par Liu et al. (2022). Les plus fréquemment employées pour la sphère orale sont présentées dans le Tableau 2. Comme indiqué dans ce dernier, chaque tâche évalue une habileté spécifique liée aux HSO.

Toutes les mesures de sensibilité orale varient avec l'âge (Calhoun et al., 1992), excepté le test d'orientation de grilles qui ne montrerait pas d'évolution chez l'enfant (Lee et al., 2022). Une étude menée chez l'adulte (Boliek et al., 2007) a démontré que le test le plus fiable pour la mesure de la sensibilité linguale tactile fine est le monofilament tactile Semmes-Weinstein. Il s'agit d'un fil de nylon dont le grammage est calibré lorsqu'on applique une pression sur la langue.

**Tableau 2.**

*Méthodes d'évaluation de la sensibilité tactile fine*

| Méthode                                 | Explication de l'épreuve  | de   | Habilité évaluée                                      | Exemple d'outil  |
|---|---|------|---|--|
| Discrimination de deux points           | Le sujet doit déterminer si l'objet utilisé est composé de deux points ou d'un seul (dont les distances sont calibrées) | doit | Résolution spatiale tactile                           |    |
| Test d'orientation de grilles           | Le sujet doit déterminer le sens d'écartement des grilles sur l'outil   | doit | Résolution spatiale tactile                           |    |
| Test de reconnaissance de lettre/formes | Le sujet doit reconnaître la forme ou la lettre proposée  | doit | Stéréognosie fine tactile avec une composante motrice |   |
| Détection de points de pression légers  | Le sujet doit détecter si l'objet le touche ou non (dont la pression est calibrée)                                      | doit | Sensibilité à la pression tactile légère              |  |

*Note.* Traduit et adapté de « *A review on oral tactile sensitivity: measurement techniques, influencing factors and its relation to food perception and preference* » par Liu, J. Cattaneo, C., Papavasileiou, M., Methven, L., Bredie, W. L. P., 2022, *Food Quality and Preference*, 100, p. 104624.

## 1.2. Spécificités de la langue

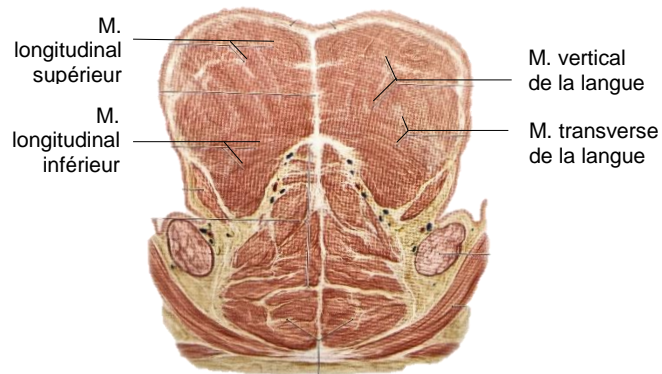
La langue est un organe largement étudié, car ses propriétés sensibles et motrices sont très différentes du reste du corps. Les compétences fonctionnelles de la langue se situent dans un continuum d'extrêmes : d'un côté elle est capable de réaliser « *des fonctions*

*quasi végétatives (par exemple son implication dans la déglutition réflexe) » et en même temps elle permet de réaliser « des mouvements nécessitant le plus haut degré d'habileté cognitive de planification motrice » comme la parole (Bono et al., 2022, p. 2). Sa composition histologique permet à la fois cette sensibilité extrêmement fine en plus d'être résistante à des forces puissantes, par exemple lors de la mastication. Le palais a également un rôle d'importance primordiale dans les habiletés somatosensorielles de la langue puisque cette dernière ne serait pas capable de reproduire seule des mouvements liés à la production de certains phonèmes (ex. : apico-alvéolaires) sans contact référentiel (Stone, 1991).*

D'un point de vue musculaire, la langue est composée des muscles intrinsèques et extrinsèques innervés par l'hypoglosse (à l'exception du styloglosse, innervé par le glosso-pharyngien) (Vacher & Cyna-Gorse, 2015). La Figure 2 représente la vue antérieure d'une coupe frontale de la langue, idéale pour visualiser les muscles intrinsèques de la langue, tandis que la Figure 3. représente une coupe sagittale gauche de la langue, idéale pour visualiser les muscles extrinsèques. Les fibres musculaires de la langue permettent la réalisation de mouvements et de fonctions particulières. Elles évoluent en fonction de l'âge en se spécialisant et en perdant une partie des connexions à l'âge adulte (Sanders et al., 2013). Certaines fibres (type II), liées aux muscles intrinsèques, permettent des changements de position et de forme rapides et flexibles, utiles dans la mastication, la déglutition, la respiration et la parole (Stål et al., 2003). La présence de fibres lentes (type I) dans la langue serait propre à l'être humain, ce qui laisse hypothétiquement penser qu'elles jouent un rôle dans la parole (Sanders et al., 2013).

## Figure 2.

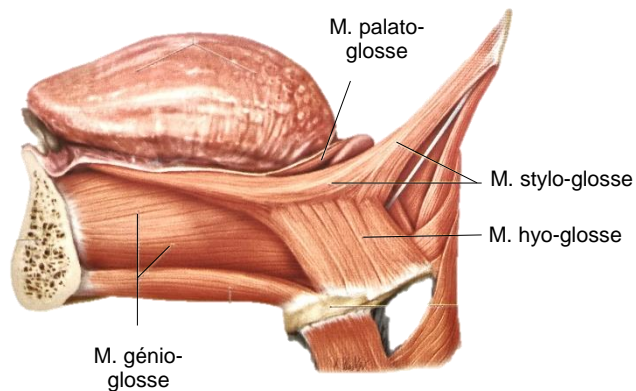
*Coupe frontale antérieure de la langue recensant les muscles intrinsèques*



*Note.* Reproduit à partir de « *Atlas d'anatomie Prométhée. Tête, cou et neuro-anatomie* », par Schünke, M., Schulte, E., Schumacher, U., 2016, p. 179. Copyright 2016 de Boeck Supérieur.

## Figure 3.

*Coupe sagittale gauche de la langue recensant les muscles extrinsèques*



*Note.* Reproduit à partir de « *Atlas d'anatomie Prométhée. Tête, cou et neuro-anatomie* », par Schünke, M., Schulte, E., Schumacher, U., 2016, p. 179. Copyright 2016 de Boeck Supérieur.

Les muscles extrinsèques sont impliqués dans la motricité, notamment les mouvements de propulsion et le recul de la langue à l'intérieur et à l'extérieur de la bouche (Bono et al., 2022; Mu & Sanders, 2010). Parmi ceux-ci figure le gényoglosse, composé de nombreuses fibres qui suivent une distribution transverse et qui deviennent davantage larges à la base de langue. Il est supposé avoir un grand rôle à jouer dans la formation du bolus alimentaire. Le styloglosse est également un muscle extrinsèque. Ses fibres sont davantage présentes dans l'apex et sont importantes pour le déplacement du bolus pour la déglutition. Son rôle serait également important dans l'émergence de la production parole (Bono et al., 2022; Gaige et al., 2007). Les muscles extrinsèques permettraient une position postérieure de la langue et joueraient ainsi un rôle dans la respiration (Hiemae & Palmer, 2003). Le contrôle volontaire de la langue n'apparaîtrait que vers dix mois environ et continue d'évoluer par la suite (Smith, 2010).

La langue est un des principaux centres de sensibilité du corps humain. Elle présente une haute concentration de récepteurs sensitifs qui permettent une très fine détection aux changements de pression et de texture, mais aussi une détection de stimuli variés au toucher et une bonne résolution spatiale tactile (Bono et al., 2022; Capra, 1995). Les récepteurs sont à la fois partagés par la peau, mais aussi propres aux viscères (Haggard & de Boer, 2014). Étant donné que nous ne recevons pas de feedback visuel de la langue, le contrôle se fait essentiellement par le toucher et la proprioception.

### **1.3. Spécificités des lèvres**

Le muscle orbiculaire, innervé par le nerf facial, est le principal muscle qui compose les lèvres et sert également du point principal d'attache des muscles entourant la région orale (Singh, 2020). Malgré le fait qu'il



forme une entité anatomique, certaines parties du muscle peuvent être sollicitées de façon indépendante ou complémentaire à d'autres muscles faciaux. Les fibres les plus profondes de ce muscle jouent un rôle de sphincter et permettent de maintenir le bolus alimentaire lors de la mastication et la déglutition, tandis que les fibres superficielles permettent les mouvements précis nécessaires à la parole (Jain & Rathee, 2021). La pression de la lèvre inférieure contre la lèvre supérieure au repos serait extrêmement faible, serait dépendante du tonus (Thüer et al., 1985) et de l'âge (Di Fazio et al., 2011). La pression augmenterait en activité, pour la parole la déglutition et la mastication (Urs Thüer et al., 1999). Contrairement à une idée largement répandue, il semblerait qu'il n'existe pas de relation entre le tonus des lèvres et la force des lèvres (Thüer & Ingervall, 1986, 1990).

Même si on sait que les lèvres sont un haut centre sensitif, on retrouve étonnamment peu de données sur la sensibilité des lèvres en particulier chez l'enfant (Fogel & Stranc, 1984).

#### **1.4. Spécificités de la mâchoire**

Les muscles de la mâchoire (incluant la mandibule et le maxillaire), souvent appelés muscles masticateurs, incluent le temporal, les ptérygoïdiens et le masséter. Ces muscles, innervés par le nerf trijumeau, permettent le déplacement de la mandibule d'ouverture/fermeture, propulsion et diduction lors de la mastication, la déglutition, la parole et leur intégration avec la respiration (Avivi-Arber & Sessle, 2018; Nordstrom et al., 1999). Au vu de l'importante croissance maxillo-mandibulaire au cours de l'enfance, l'intégration de nouvelles informations somatosensorielles est quasi constante pour l'adaptation du contrôle moteur (Moore, 2004). C'est particulièrement les informations kinesthésiques qui sont au centre des habiletés

somatosensorielles de la mâchoire (Ringel et al., 1967). La coordination des muscles de la mâchoire serait spécifique à la fonction cible (Moore et al., 1988). C'est pourquoi le contrôle moteur est largement étudié spécifiquement au regard de la production de la parole et de la mastication. Ces points seront abordés respectivement dans les chapitres 2 et 3.

#### Synthèse

- Les habiletés somatosensorielles et motrices sont cruciales dans le développement du contrôle moteur de la langue, des lèvres, des joues et de la mâchoire.
- En logopédie/orthophonie, les habiletés motrices orofaciales sont souvent envisagées d'un point de vue dichotomique, qui oppose les habiletés motrices non verbales et celles liées à la parole.
- Les habiletés motrices orofaciales non verbales incluent les mouvements volontaires non-verbaux.
- La catégorie à laquelle appartiennent les diadococinésies syllabiques se situe entre les habiletés motrices non verbales et la parole.

# Chapitre 2.

## Le développement typique de la parole

### 2.1. Concepts et terminologie

L'apprentissage de la production de la parole repose sur le développement de compétences cognitives, perceptives, visuelles, linguistiques et physiologiques dans un objectif communicationnel et social (McAllister Byun et al., 2016; Moore, 2004; Weatherhead & White, 2017). Cela crée donc de nombreuses portes d'entrée pour étudier la parole et autant de définitions propres à chaque domaine d'étude. L'intérêt de ce travail de thèse se situe plus particulièrement à la croisée des dimensions linguistiques et physiologiques de la parole, autour desquelles Kent propose cette définition : « *La parole est définie comme des mouvements ou la planification de mouvements qui résultent en des patrons acoustiques en adéquation avec la structure phonétique de la langue* » (Kent, 2015, p.765). Cette définition voit donc converger les concepts de phonétique et phonologie décrits originellement par Jakobson et Halle en 1956. La première considère les propriétés physiques des sons et dans ce contexte, leur réalisation concrète qui peut être qualifiée de *phonétique articulatoire* ; tandis que la seconde envisage l'organisation des sons en systèmes (avec comme unité de base le phonème) et les relations qu'ils entretiennent entre eux sur les versants réceptif et productif (Davenport & Hannahs, 2010). L'organisation des sons entre eux est souvent qualifiée de *coarticulation*, bien que la coarticulation réfère plus fréquemment au chevauchement articulatoire de sons adjacents dans la parole (Hardcastle & Hewlett, 2006). Comme il le sera décrit ci-dessous, les modèles théoriques sensibles au développement de la

parole considèrent les concepts de phonétique et phonologie comme interdépendants dans l'apprentissage de la parole.

Lorsque le développement de la parole dévie par rapport à une trajectoire dite « typique », le terme *trouble du développement des sons de la parole* (TDSP) est employé. Ce terme générique englobe « toute difficulté ou combinaison de difficultés dans la perception, la production motrice ou la représentation phonologique des sons ou des segments de la parole » (ASHA, n.d.-d). Par opposition aux troubles acquis, on parle plus précisément des troubles du développement. Ces derniers peuvent être d'origine organique, c'est-à-dire liés à un déficit (ex. moteur, neurologique, perceptif) ou fonctionnelle, c'est-à-dire sans cause connue. Cette dernière catégorie inclut les aspects linguistiques et moteurs mentionnés dans les concepts de phonologie et phonétique. Ce travail étant focalisé sur le développement typique, les données pathologiques seront considérées uniquement selon l'apport qu'elles amènent dans la compréhension du développement tout-venant.

## **2.2. Modèles théoriques du développement de la parole**

Il existe différentes approches théoriques pour envisager la production de la parole, preuve de l'existence de multiples portes d'entrée pour étudier la parole. On retrouve parmi celles-ci les modèles centrés sur le traitement de l'information (approche psycholinguistique) et les modèles centrés autour du contrôle moteur (approche écodynamique) (Hickok, 2012; Redford, 2019).

Les modèles de traitement de l'information, dont fait partie le modèle de Stackhouse et Wells (1993) qui est sans doute le plus utilisé en logopédie/orthophonie clinique, ont pour unité centrale le phonème. Ils se focalisent sur les niveaux les plus abstraits de la parole et

permettent d'appréhender chaque composante qui entre en jeu dans la production de la parole. Cette décomposition est très utile pour cibler les atteintes cliniques et établir les cibles thérapeutiques dans le contexte des troubles (Maillart & Schelstraete, 2004). Néanmoins, le côté figé et unidirectionnel de ces modèles limite l'explication des erreurs développementales présentes lors de l'apprentissage de la parole, ou même la lenteur du développement de la production de la parole qui s'étale sur quelques années (Redford, 2015). C'est généralement à cette limite que se heurtent les modèles issus de la pathologie adulte (Redford, 2019).

Les modèles écodynamiques ont pour unité de base non pas le phonème, mais le geste articulatoire, dont l'objectif est purement moteur. Ils relatent très tôt dans le processus développemental la relation entre le geste moteur et les unités lexicales abstraites (Browman & Goldstein, 1992). Ils ont également l'avantage de considérer que les relations temporelles entre les gestes articulatoires sont coordonnées et abstraites au sein de ces représentations (Fowler & Saltzman, 1993). Cette théorie laisse donc une place de choix au rôle des informations somatosensorielles (kinesthésiques et tactiles) des articulateurs, desquelles émerge une organisation temporelle anticipatrice (feedforward) utile à l'agencement des phonèmes les uns par rapport aux autres dans la production. D'après Redford (2019), cette vision ne considère toutefois que très peu le rôle du feedback externe dans le développement des productions de l'enfant et dans l'évolution de ses représentations phonologiques. Ce feedback permet pourtant d'expliquer en grande partie l'évolution évidente des performances de l'enfant, qui passent de l'ébauche des premiers mots au perfectionnement de la précision articulatoire.

Hickok (2012) propose un modèle adulte combinant les deux approches, où les systèmes somatosensoriel et moteur jouent un rôle prépondérant et où les processus de feedforward et de feedback prennent tous les deux une place importante dans l'explication de la production de la parole. De la même façon, Redford (2019) a tiré avantage de chacune des deux approches afin d'établir un modèle sensible au développement de la parole. Le modèle de Redford s'inspire de modèles préexistants qui tiennent compte des erreurs développementales, comme le Linked-Attractor (Menn et al., 2012) et le A-map (McAllister Byun et al., 2016), mais qui divergent notamment par rapport à l'unité de base du processus de production ou sur l'âge d'apparition du feedback dans le contrôle moteur.

Le modèle de Redford partage d'une part une vision holistique (centrée autour de l'apprentissage du mot) comme le Linked-Attractor et d'autre part une vision motrice considérant à la fois les informations somatosensorielles et perceptives, comme c'est le cas pour le A-map. C'est pourquoi nous avons choisi de développer dans les paragraphes qui suivent les étapes développementales présentées dans ce modèle. En préambule, il est à noter que si Redford suggère quelques âges clés au sein des étapes de son modèle, elle n'indique pas de tranche d'âge définie au regard de ces dernières. Nous supposons que Redford tient à présenter une série d'étapes dont les processus sont continuellement en évolution et donc se chevauchent, sans toutefois les verrouiller par des tranches d'âges.

### 2.2.1. Modèle de Redford (2019)

#### *Étape 1. Cartographie perceptivo-motrice*

Durant les premiers mois de la vie de l'enfant, celui-ci explore les mouvements des articulateurs par le biais de vocalisations préalables à la parole. Ce sont les informations somatosensorielles qui vont permettre de lier la forme acoustique qui résulte de ces expérimentations. Si cette cartographie apparaît très précocement, à l'auteure d'ajouter « *il est important de préciser qu'elle continue à évoluer avec l'acquisition des compétences motrices liées à la parole ainsi que tout au long de la vie (...)* » (p. 2954).

#### *Étape 2. Forme perceptive des mots et des schémas*

Les productions de l'adulte sont considérées comme un référent non seulement au niveau du concept, mais également de leur forme perceptive. À partir de 6 à 9 mois (Bergelson & Swingley, 2012), l'enfant est capable d'extraire ces formes perceptives de son environnement, que l'auteure appelle les exemplaires. La connexion entre les exemplaires (exogènes) et les mouvements articulatoires (endogènes) se met progressivement en route. Vers 12 mois, le stock d'information lié aux étiquettes perceptives et la carte perceptivo-motrice sont relativement stables, ce qui permet l'amorce de ce que l'on appelle la *production de la parole* à proprement parlé, c'est-à-dire la production des tout premiers mots. L'enfant peut donc poser un geste moteur, que l'auteure appelle *schémas*, sur les représentations perceptives. Le schéma correspond aux gestes articulatoires et à leur intégration dans le temps pour un concept donné. Ils sont constamment mis à jour avec l'intention de communiquer et de ce fait,

avec les tentatives de production. Ces dernières mènent à une généralisation de « routines motrices » qui vont permettre d'abstraire ces schémas pour les rendre de plus en plus accessibles.

### *Étape 3. Apparition du contrôle de la parole*

La carte perceptivo-motrice est mise à jour grâce à l'abstraction des schémas et leurs relations bidirectionnelles avec les formes perceptives (toujours associés à un concept donné). Les schémas sont par ailleurs d'abord précis et restreints par des contraintes motrices que l'enfant maîtrise. Cela permet de stabiliser certaines productions motrices. L'accroissement du vocabulaire va sortir l'enfant de cette zone de confort et le pousser à commettre des erreurs dites développementales. Les représentations qui étaient holistiques laissent place à des représentations davantage phonémiques (Sosa & Stoel-Gammon, 2006). En cohérence avec le modèle d'Hickok (2012), l'intégration des informations somatosensorielles prend alors une importance considérable dans la précision de la production des phonèmes. Les erreurs de cibles communicationnelles vont à leur tour pousser l'enfant à parfaire ses schémas. C'est à la suite de cela que va émerger le feedback moteur dans la parole. Selon Redford, il se déploie sous deux formes. La première correspond au contrôle moteur interne de la parole employé pour que les articulateurs atteignent leur cible perceptive. La seconde correspond à l'utilisation par l'enfant d'un feedback externe sur ses propres productions, qui l'amène à parfaire ses représentations. C'est autour de cette période préscolaire, critique pour le développement du contrôle moteur, que nous avons choisi de centrer le présent travail.



#### *Étape 4. Self-monitoring*

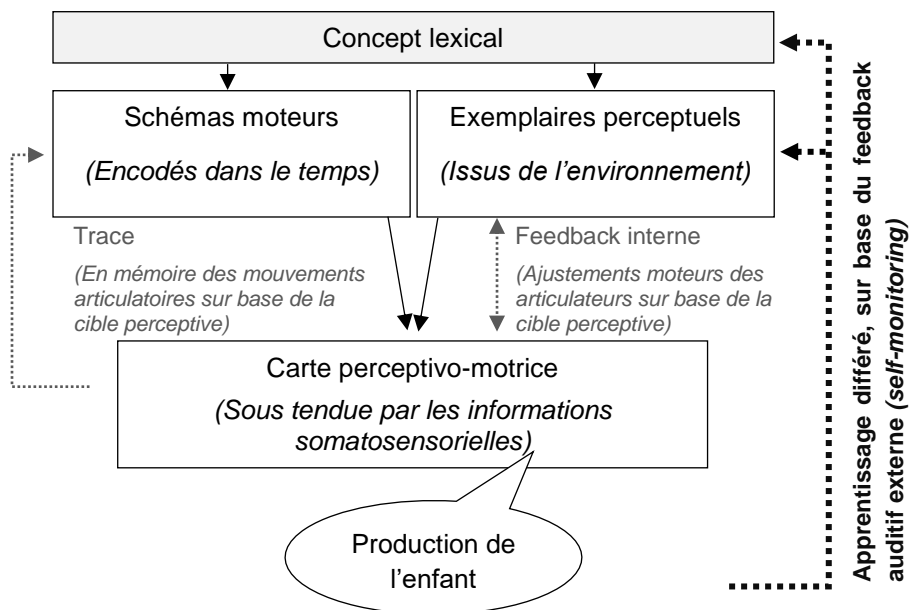
Redford postule une apparition tardive du contrôle sur ses propres productions grâce au feedback auditif externe, qu'elle estime émerger vers l'âge de 4 ans. Avant cela, l'enfant se base bien sûr sur les informations perceptives pour guider ses productions sous forme d'anticipation, mais c'est ce feedback externe qui va permettre à l'enfant d'entrer dans une période de perfectionnement des productions et atteindre la précision de la cible adulte. La Figure 4 résume la production d'un concept donné pour l'enfant d'âge préscolaire en incluant toutes les étapes précédemment citées (Redford, 2019, p. 2957). Le concept active en temps réel d'une part les gestes articulatoires coordonnés dans le temps qui émanent des expériences prévocaliques et d'autre part les exemplaires perceptifs adultes issus de l'environnement de l'enfant. Cette activation peaufine la cartographie perceptivo-motrice, largement sous-tendue par les informations somatosensorielles. Le feedback interne du contrôle moteur de la parole permet un ajustement des mouvements aux cibles perceptives. Une trace de cette représentation est conservée par le schéma moteur. Une fois le mot produit, l'enfant d'âge préscolaire contrôle auditivement sa production et la compare à la cible. Ce processus de feedback via un contrôle externe lui permettra un apprentissage différé pour une nouvelle tentative lorsqu'il voudra à nouveau communiquer ce concept. Le contrôle moteur de la parole continuerait à se développer jusqu'à l'adolescence (Glaspey & MacLeod, 2010).

Il est donc intéressant de noter que la pratique clinique en logopédie/orthophonie est encore très marquée par l'approche psycholinguistique considérant la parole selon une approche

*phonologique* incluant une composante *réceptive* (perceptive), une composante *productive* (articulatoire) et des *représentations phonologiques* (stockage de l'information perceptive). Or, les modèles théoriques sensibles au développement nous montrent que lors de l'apprentissage, la phonologie et la phonétique sont intrinsèquement liées. Dès lors, ce qui est entendu par *représentations phonologiques* ne correspond pas réalistement au stockage d'un agencement de phonèmes, mais plutôt à une abstraction des informations perceptives, motrices et somatosensorielles encodées temporellement pour un concept donné (MacLeod, 2019).

**Figure 4.**

*Modèle théorique de la parole sensible aux erreurs développementales*



*Note.* Traduit et adapté de « *Speech production from a developmental perspective* » par Redford, M., 2019, *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 63(8S), p.2957.

## 2.3. Analyse des productions de la parole

### 2.3.1. Compréhensibilité versus Intelligibilité

L'objectif de la parole étant communicationnel, la mesure de production la plus fonctionnelle est une mesure dite de *compréhensibilité*. Pourtant cette notion est constamment confondue avec l'*intelligibilité*. Pour répondre à cette problématique de manière consensuelle, Pommée et al. (2022) ont mené un processus Delphi auprès d'experts d'horizons variés (logopèdes/orthophonistes, linguistes, audiologistes...). Il en est ressorti que la *compréhensibilité* fait référence « à la reconstruction d'un message au niveau sémantique-discursif, ultérieure à la reconstruction acoustico-phonétique ». L'*intelligibilité*, qui est une composante de la *compréhensibilité*, est quant à elle centrée sur le signal acoustique et correspond « à la reconstruction d'un énoncé au niveau acoustico-phonétique » (Pommée et al., 2022, p.31), mais elle inclut tout de même la perception du signal par le locuteur. Ces résultats remettent en perspective les objectifs de certains outils extrêmement répandus tels que l'*Intelligibility in Context Scale* (McLeod, 2015), qui malgré son nom est un questionnaire parental sur la façon dont le discours de l'enfant est compris par différentes personnes dans l'environnement de l'enfant. L'impact fonctionnel de la parole, donc l'évaluation de la *compréhensibilité*, est étonnamment encore peu exploré dans le cadre développemental. Les mesures de production se basent le plus fréquemment sur l'*intelligibilité* et plus particulièrement encore sur la précision articulatoire des consonnes.

### 2.3.2. Contextes d'analyse de la parole

Plusieurs contextes de récolte de données permettent d'évaluer la parole en fonction de l'objectif souhaité : parole spontanée ou conversationnelle, répétition de phrases, dénomination d'images... Historiquement, on oppose généralement la parole conversationnelle à la dénomination d'images, qui sont deux contextes reconnus et largement employés (Wolk & Meisler, 1998). La parole conversationnelle est vue comme le contexte le plus pertinent dans l'objectif d'établir un plan de traitement précis et spécifique pour un enfant présentant un TDSP, et ce particulièrement lorsque l'évaluation menée est dite dynamique (c'est-à-dire qui explore les *compétences* de l'enfant et son *potentiel* de compétences) (Glaspey & Stoel-Gammon, 2007; Glaspey et al., 2022). Elle permet d'évaluer les performances de l'enfant dans un contexte écologique, mais elle est chronophage et complexe à appliquer chez l'enfant encore inintelligible, notamment car on dispose d'informations acoustiques partielles ou incorrectes pour identifier les mots cibles (Flipsen, 2006). Pour contrer ce problème, Flipsen (2006) a comparé plusieurs manières d'analyser les syllabes (plutôt que les mots) sur la parole spontanée, mettant en évidence l'utilité de certaines d'entre elles chez les enfants avec TDSP. Par contre, chez l'enfant tout-venant (comprendre « au développement typique » dans le texte) ces mesures ont tendance à plafonner.

L'étude de la parole conversationnelle vient en général compléter une épreuve de dénomination d'images pour une évaluation optimale des capacités de l'enfant dans des contextes et des situations variés (Wolk & Meisler, 1998). Bien qu'insuffisante à elle seule pour porter une vue globale et complète sur les compétences de l'enfant,

l'épreuve de dénomination d'images est reconnue pour son utilité aussi bien en clinique qu'en recherche (Glaspey et al., 2022). Wolk et Meisler (1992) résumant ses principaux avantages comme suit : administration simple et rapide ; épreuve contrôlée et passation standardisée ; cible connue facilitant la passation et la transcription ; idéale pour la comparaison entre les enfants. Ce type de tâche est donc optimal pour avoir une vue d'ensemble sur le développement typique de la parole (Rvachew & Brosseau-Lapré, 2018).

Plusieurs tâches de dénomination d'images à destination des enfants préscolaires pour le français européen sont incluses dans des batteries commerciales telles que la NEE-L (Chevrie-Müller & Plaza, 2001), l'ELO (Khomsi, 2001), l'EXALANG 3-6 (Helloin & Thibault, 2006) et l'EVALO 2-6 (Coquet et al., 2009). Si ces batteries sont utiles en clinique pour les raisons  voqu es ci-dessus et parce qu'elles constituent une évaluation de première ligne efficace, la validité de construit de ces tests reste toutefois limit e. La plupart du temps, ces épreuves ne contiennent pas tous les phonèmes du français dans toutes les positions du mot, leur cotation est binaire (*mot incorrect versus mot correct*) donc peu informative, et l'étalonnage subit un effet plafond chez les enfants plus âgés. Dans le contexte franco-canadien, plusieurs chercheurs ont développé des tâches de dénomination d'images bas es sur un meilleur cadre théorique et les ont mises gratuitement à la disposition des cliniciens. Parmi ces tests de dépistage, citons le TFP (Paul & Rvachew, 2008), le TDFP (Rvachew et al., 2013), le TPFC-D (Bérubé et al., 2013), et l'ESPP MacLeod et al., 2014). EULALIES est une batterie incluant la dénomination d'images qui a été récemment d velopp e pour surmonter les contraintes linguistiques, culturelles et psycholinguistiques entre le français de France et le français canadien (Meloni et al., 2017). Très

récemment, Kehoe et ses collègues (2021) ont publié un nouveau test de dépistage normalisé appelé DRAP adapté au français européen. Plus d'informations sur les tests employés en français chez l'enfant d'âge préscolaire seront disponibles dans l'étude 1.

### 2.3.3. Mesures de production de la parole

Plusieurs types de mesure existent pour l'analyse des épreuves de dénomination d'images. Celles-ci suivent des approches différentes. D'après Rvachew et Brosseau-Lapré (2018), l'approche non linéaire serait la plus adaptée pour cibler le plan thérapeutique dans l'évaluation des TDSP. En effet, elle tient compte des différents niveaux hiérarchiques selon lesquels les représentations phonologiques sont organisées (à savoir : mot, pied, syllabe, segment, trait) (Bernhardt & Stoel-Gammon, 1994). Elle permet d'établir un profil individuel de l'enfant selon ses compétences et ses difficultés, cependant cette méthode est moins adaptée pour la recherche dans le cadre d'analyses interindividuelles.

La méthode d'analyse linéaire traditionnelle pour sa part inclut des analyses davantage courantes tel que le pourcentage de mots corrects, l'inventaire phonémique, le recensement des processus phonologiques simplificateurs, le Whole-Word Proximity (WWP) et le Pourcentage de Consonnes Correctes (PCC). L'inventaire phonémique consiste à recenser les productions fréquentes, acquises ou maîtrisées des phonèmes correctement produits par l'enfant (en général des consonnes) dans les différentes positions du mot (Brosseau-Lapré et al., 2018; MacLeod et al., 2011). Le recensement des processus phonologiques simplificateurs consiste quant à lui à réaliser un inventaire du type d'erreurs qui ont été produites par l'enfant comparativement à la cible adulte. On répertorie généralement

les substitutions, les omissions, les distorsions et les additions de phonèmes (Grunwell, 1981; Hiu & Chien, 2020; Maillart, 2006). Le WWP est un calcul qui tient compte de la présence de chaque phonème produit par l'enfant comparativement au mot cible (considérant ainsi la structure du mot) ainsi que de l'adéquation de la production des consonnes comparativement à la cible (considérant ainsi la précision des consonnes). L'analyse la plus utilisée reste le PCC qui fournit uniquement des informations sur la précision perçue des consonnes (Shriberg et al., 1997). Chaque consonne correctement produite se voit attribuer un point, et la production de l'enfant est comparée à la cible adulte. Il s'agit donc d'une mesure de précision de la production des consonnes. Shriberg et al. (1997) ont distingué plusieurs types de PCC en fonction des objectifs de l'analyse. Ils recensent le PCC, le PCC-A (pour ajusté) et le PCC-R (pour révisé). Le PCC exclut toute erreur s'éloignant de la cible, y compris les distorsions. Le PCC-A exclut toutes les erreurs, y compris les distorsions non courantes, alors que le PCC-R ne tient aucunement compte des distorsions. Le PCC est une mesure appropriée pour des enfants d'âge préscolaire, alors que le PCC-A et le PCC-R sont davantage destinés à une population plus hétérogène (Shriberg et al., 1997). Le PCC n'est pas une mesure directe de la compréhensibilité, mais elle y est corrélée (Lagerberg et al., 2014; Wertzner et al., 2005). Encore aujourd'hui, l'enfant est considéré comme intelligible lorsque le PCC est supérieur à 85%, moyennement intelligible lorsque le PCC se situe entre 85% et 65% et sévèrement inintelligible en deçà de 50% (Wertzner et al., 2005). Il existe également des mesures telles que le Pourcentage de Phonèmes Corrects (PPC) et le Pourcentage de Voyelles Correctes (PVC), cependant la production de voyelle

plafonne généralement chez les enfants d'âge préscolaire (Shriberg et al., 1997).

## **2.4. La parole francophone**

Plus de 320 millions de personnes dans le monde parlent régulièrement le français (Organisation internationale de la Francophonie, 2022). Pourtant, le développement phonologique français est principalement comparé à des données normatives anglaises alors qu'il est reconnu que les caractéristiques linguistiques et phonologiques des deux langues ne sont guère analogues. Ces différences se caractérisent entre autres par le nombre et la nature des sons de la parole, ainsi que les facteurs prosodiques tels que la structure et le stress syllabique (pour une revue du système francophone, voir Brosseau-Lapré et al., 2018; MacLeod et al., 2014; Maillart, 2006; Rvachew et al., 2013). Cette utilisation de repères anglophones s'expliquerait par le peu d'études disponibles sur l'acquisition de la phonologie française (MacLeod et al., 2011). Le Tableau 3 reprend une liste quasiment exhaustive des études se focalisant sur la parole francophone et qui incluent au moins un échantillon d'enfants monolingues tout-venant d'âge préscolaire. Lorsque plusieurs groupes étaient présents dans une étude, seuls ceux incluant l'âge préscolaire ont  ete recens es. Une description plus détaillée des tests employ es sera disponible dans l'Étude 1. D'autres études sont bien entendu disponibles pour des tranches d'âge différentes, mais leur nombre reste limit e (Demuth & Johnson, 2003; Demuth & Kehoe, 2006; Demuth & McCullough, 2009; Dos Santos, 2007; Hilaire-Debove & Kehoe, 2004; Kehoe & Havy, 2019; Rondal, 1979; Yvan Rose, 2003, 2000; Teveny & Yamaguchi, 2022; Vinter, 2001). Il est à noter que le français canadien et le français de Belgique,



que nous pouvons assimiler au français de France et de Suisse, ont le même inventaire consonantique. Ils diffèrent par contre en terme phonotactique et de répertoire vocalique (Rose & Wauquier-Gravelines, 2007). Cette recherche se focalisant sur les consonnes, nous avons considéré que ces travaux pouvaient y être assimilés.

D'après le Tableau 3, la plupart des analyses de la production se font via le PCC sur la base d'une dénomination d'images. D'une manière générale, on retrouve extrêmement peu d'études longitudinales sur la parole francophone. Ce type de design est pourtant celui qui représente le mieux le développement (Vinter, 2001). Il semblerait que seule l'étude de Sylvestre et al. (2020) reprend des données développementales. Les auteurs, outre d'autres mesures langagières, ont évalué la parole sur trois points : le pourcentage de mots correctement produits sur les 40 mots proposés, le pourcentage du respect de la structure syllabique, le pourcentage du respect du nombre de syllabes et le PCC. D'après les résultats, la production correcte des mots serait toujours en voie d'acquisition à 4 ans, alors que le respect du nombre de syllabes serait acquis dès 3 ans, et celui des structures syllabiques à 3 ans et demi. Le PCC est de 78,4% à 3 ans et est considéré en voie d'acquisition et serait presque acquis à 4 ans (89,9%). L'objectif de l'étude étant d'établir des normes, aucune analyse statistique n'a été réalisée sur la progression de ces données.

L'étude de MacLeod et al. (2011) a également apporté des informations substantielles sur la production de la parole. Les données récoltées permettent d'inférer relativement précisément le processus d'acquisition phonémique dans toutes les positions du mot, illustré dans le Tableau 4 (p. 101). Pour chaque tranche d'âge recensée dans le tableau, une moyenne et un écart-type du PCC et du WWP ont été calculés. Le PCC augmente drastiquement, passant de 57,4% de 20

à 23 mois à 95,3% de 48 à 53 mois. La progression qui est particulièrement marquée chez les jeunes enfants semble subir un effet plateau vers 3 ans et pour se stabiliser progressivement. Ces données transversales sont cohérentes avec les périodes du développement moteurs évoquées précédemment. C'est aussi le cas pour l'étude de Kehoe et Girardier (2020) qui met en évidence des effets plafonnés du PCC dès 3 ans ( $M = 92,29$  ,  $ET = 5,59$ ), de Rvachew et al. (2013) qui rapportent un PCC de 90.37 pour les enfants de maternelle et de Maillart et Parisse (2006) qui observent un PCC de 92,6 pour les enfants de 4 ans. Pourtant, le système consonantique de l'enfant de 6 ans ne serait pas encore terminé (Houbedine, 1985, Aicart-de Falco et Vion, 1987 cités par Niederberger et al., 2021, p.36).

### Tableau 3.

*Recensement d'études portant sur la parole d'enfants francophones incluant au moins un groupe d'enfants monolingues tout-venant d'âge préscolaire.*

| Auteurs  | Type d'étude | Profil des participants   | Outil d'évaluation                             | Type d'analyse portant directement sur les consonnes  |
|--|--------------|---|--|---|
| Aicart-De Falco & Vion, 1987                             | Transversal  | 75 enfants entre 3;3 et 6;2 ans (France)  | Dénomination d'images                          | Type d'erreurs  |
| Bérubé et al., 2020                                      | Transversal  | 6 enfants entre 3;0 et 4;11 ans 7 enfants entre 4;0 et 4;11 ans (Canada)                                    | Dénomination d'images                          | Consonant singleton match                             |
| Brosseau-Lapré, 2013                                     | Transversal  | 10 enfants entre 4 et 6 ans (Canada)  | Dénomination d'images                          | PCC   |
| Jamar, 2001(cité par Schelstraete et al., 2004)          | Transversal  | 61 enfants entre 2;10 et 5;6 ans (Belgique)   | Dénomination d'images                          | Type d'erreurs  |
| Kehoe & Cretton, 2021                                    | Transversal  | 8 enfants entre 3 et 3;5, 2 enfants entre 3;6 et 3;11 et 6 enfants entre 4;0 et 4;8 (Suisse)                | Dénomination d'images                          | PCC   |
| Kehoe & Girardier, 2020; Kehoe, 2021; Kehoe et al., 2021 | Transversal  | 36 enfants entre 2;11 à 6;10 ans (Suisse)   | Dénomination d'images                          | PCC   |
| MacLeod et al., 2011                                     | Transversal  | 25 enfants de 36 à 41 mois, 28 enfants de 42 à 47 mois, 27 enfants de 48 à 53 mois (Canada)                 | Dénomination d'images                          | Inventaire phonémique, PCC, acquisition consonantique |
| Maillart & Parisse, 2006                                 | Transversal  | 16 enfants groupe contrôle séparés en deux groupes de respectivement 2;3 et 4;0 de moyenne d'âge (Belgique) | Parole spontanée                               | PCC   |
| Rvachew et al., 2013                                     | Transversal  | 24 enfants de 1 <sup>ère</sup> langue maternelle français d'en moyenne 6;1 ans (ET = 3,7) (Canada)          | Dénomination d'images                          | PCC   |
| Sylvestre et al., 2020                                   | Longitudinal | 99 enfants évalués à 36 mois, 42 mois et 48 mois (Canada)   | Dénomination d'images                          | PCC   |
| Yamaguchi, 2012  | Transversal  | 26 enfants entre 3;7 à 4;6 ans (France)   | Sélection de mots dans un échantillon spontané | Acquisition consonantique                             |

**Tableau 4.**

*Acquisition consonantique inférée de données transversales*

| Consonne | 20-23<br>mois | 24-29<br>mois | 30-35<br>mois | 36-41<br>mois | 42-47<br>mois | 48-53<br>mois |
|----------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| n        | foncé         | clair         | foncé         | clair         | foncé         | foncé         |
| m        | foncé         | foncé         | foncé         | foncé         | foncé         | foncé         |
| t        | clair         | foncé         | foncé         | foncé         | foncé         | foncé         |
| p        | clair         | foncé         | foncé         | foncé         | foncé         | foncé         |
| b        | clair         | foncé         | foncé         | foncé         | foncé         | foncé         |
| d        | clair         | foncé         | clair         | foncé         | foncé         | foncé         |
| z        | clair         | clair         | foncé         | foncé         | foncé         | foncé         |
| f        | clair         | clair         | foncé         | foncé         | foncé         | foncé         |
| k        | clair         | clair         | clair         | foncé         | foncé         | foncé         |
| g        | clair         | clair         | clair         | foncé         | foncé         | foncé         |
| l        | clair         | clair         | clair         | foncé         | foncé         | foncé         |
| s        | clair         | clair         | clair         | clair         | foncé         | clair         |
| ʃ        | clair         | clair         | foncé         | foncé         | foncé         | foncé         |
| v        | clair         | clair         | clair         | foncé         | foncé         | foncé         |
| ʒ        | clair         | clair         | clair         | clair         | clair         | foncé         |
| j        | clair         | clair         | clair         | clair         | clair         | foncé         |
| ʒ        | clair         | clair         | clair         | clair         | clair         | foncé         |
| w        | clair         | clair         | clair         | foncé         | foncé         | foncé         |
| ɥ        | clair         | clair         | clair         | foncé         | foncé         | foncé         |

*Note.* Reproduit à partir de «*The acquisition of consonants in Québécois French: A cross-sectional study of pre-school aged children* » par MacLeod, A. A. N., Sutton, A., Trudeau, N., Thordardottir, E., 2011, *International Journal of Speech-Language Pathology*, 13(2), p.101.

En gris clair, phonème familier (50% de production,), en gris moyen, phonème acquis (75% de production) et en gris foncé, phonème maîtrisé (90% de production)

## **2.5. Habiletés somatosensorielles et motrices dans la parole**

### 2.5.1. Développement du contrôle moteur de la parole

#### 2.5.1.1. *Contrôle moteur et perception de la parole*

Au premier abord, le babillage apparaît comme la première étape dans le contrôle moteur de la production de la parole, y compris dans le modèle de Redford (2019). Best et al. (2016, p.1) vont même jusqu'à dire que le geste articulatoire « *sert de fondation pour l'intégrité du développement de la perception et de la production de la parole* ». Toutefois, le contrôle moteur émergerait bien plus tôt dans le développement de l'enfant (Rvachew & Brosseau-Lapr , 2018). Bruderer et ses collaborateurs (2015) ont conduit une étude expérimentale pour mettre cette hypothèse à l'épreuve. Ils ont séparé deux groupes d'enfants de 6 mois durant une tâche de perception de sons d'une langue étrangère ; le premier groupe bénéficiait d'une sucette empêchant les mouvements de la langue et le second d'une sucette qui laissait la langue libre de ses mouvements (vérifié en continu par ultrason). Les résultats ont montré que le premier groupe présentait significativement plus de difficultés à discriminer les sons spécifiquement lorsque les articulateurs associés sont immobilisés. D'après les auteurs, cela démontrerait que les informations somatosensorielles et motrices des articulateurs influencent la façon dont on perçoit la parole, avant même d'être capable de la produire. Ces résultats ont par la suite été répliqués (Choi et al., 2019) et semblent confirmer des hypothèses préalablement émises sur l'importante implication des habiletés somatosensorielles et motrices dans la perception de la parole (Ito et al., 2009; Kuhl et al., 2014; Mottonen & Watkins, 2009). Celles-ci prennent leur origine dans la théorie motrice de la perception de la parole de Liberman et ses

collègues (Lieberman et al., 1967; Lieberman & Mattingly, 1985). L'étude de Turner et al. (2014) a montré que cette association persiste plus tard durant l'enfance. Les auteurs ont présenté des vidéos de mots produits sans son à des enfants tout-venant de 7 ans. Les enfants du groupe portant un dispositif les empêchant d'imiter les mouvements des articulateurs ont significativement moins bien compris les mots qui leur avaient été présentés visuellement que le groupe contrôle. Réciproquement, la perception visuelle des mouvements de la parole joue un rôle dans le contrôle moteur, mais les études à ce sujet concernent principalement l'adulte (Venezia et al., 2016; Watkins et al., 2003).

#### *2.5.1.2. Le contrôle moteur du babillage à l'adolescence*

Le babillage est indéniablement un précurseur de la parole. Selon la théorie du « frame/content » (Davis & MacNeilage, 1995; MacNeilage, 1998; MacNeilage & Davis, 1990), dont nous aurons l'occasion de reparler dans le Chapitre 4, le babillage émerge lui-même d'habiletés prémotrices, à savoir des processus de planification et d'organisation motrice des articulateurs préalables à la parole. Le babillage résulte directement de « cadres » syllabiques issus d'oscillations rythmiques de la mâchoire et dont le « contenu » apparaît de façon ultérieure. De la même manière, les premiers mots garderont ces structures syllabiques dont l'origine est purement motrice (MacNeilage et al., 2000; MacNeilage & Davis, 2005).

Les mesures directes des mouvements des articulateurs ont grandement facilité la compréhension du développement du contrôle moteur spécifique à la parole. Moore et ses collaborateurs (voir par exemple Green et al., 2000; Moore, 2004; Wilson et al., 2008) ont apporté une contribution fondamentale à la compréhension du

développement moteur de la parole par une série d'études expérimentales. Dans la même lignée, Iuzzini-Seigel et al. (2015) ont mené une étude longitudinale explorant le développement du contrôle moteur de la parole par le biais des mouvements des lèvres lors de la production de la parole. En suivant les enfants de 3 mois à 5 ans, les auteurs ont pu mettre en avant des progressions qui correspondent à trois phases développementales : l'émergence de la parole (de 3 à 15 mois), l'évolution lexicale rapide (de 15 à 21 mois) et la phase de perfectionnement de la parole (de 21 à 60 mois). Les paragraphes qui suivent gardent cette structure en étapes et intègrent d'autres études expérimentales sur lesquelles se base cette perspective développementale.

### *Émergence de la parole : du babillage aux premiers mots durant la première année de vie*

Les compétences physiologiques lors de la parole chez le jeune enfant et celui de l'adulte sont radicalement opposées (Moore, 2004) et influencent définitivement l'ensemble du contrôle moteur de la parole en développement. Le répertoire de la parole s'acquiert par la maîtrise séquentielle et progressive du larynx, des mâchoires, des lèvres et de la langue (Vihman, 1996). Dans les tout premiers mois de vie, l'enfant exploite les contractions du larynx et du pharynx comme premier articulateur de sons encore dénués de sens (Esling, 2012; Robb et al., 2020). Dans ses travaux, Esling (2012) étudie des enfants de diverses langues maternelles. Cela lui permet d'inférer que les mécanismes les plus primaires du contrôle moteur concernant les lieux et places d'articulation sont des mécanismes partagés entre ces différentes langues maternelles. Par la suite, l'enfant entre par le babillage dans une phase préalable à la production de la parole. La production de

sons chez un nourrisson est définie par la taille de la cavité buccale, la place très antérieure de la langue, la hauteur du larynx et le rapprochement entre le vélum et l'épiglotte (Clarke, 2020).

Durant la première année de vie, le système moteur est encore immature et les articulateurs sont dépendants les uns des autres. Les muscles (Kent, 2004) et donc leurs compétences oromotrices (Clarke, 2020) régissent la production. La mandibule est le principal médiateur des sons de la parole (Green et al., 2000) et les mouvements de mandibule commenceraient seulement à se diversifier avec les premiers mots (Lavalée, 2010). Les lèvres, d'abord très peu sollicitées, vont finir par progressivement être impliquées dans la parole, bien que leurs mouvements présentent beaucoup de variabilité par rapport aux adultes. Les mouvements sont d'abord désorganisés et ont tendance à se manifester horizontalement (Green et al., 2002). Par ailleurs, la langue garde un rôle passif. Dans une étude longitudinale sur le contrôle des articulateurs lors du passage du babillage aux premiers mots, Clarke (2020) a montré qu'à 16 mois, la langue n'était toujours pas indépendante dans la production de la parole.

Bien que l'anatomie et la physiologie contraignent toujours fortement l'inventaire phonémique (Nip et al., 2011), les articulateurs vont progressivement acquérir une certaine indépendance les uns par rapport aux autres et davantage de flexibilité leur permettant des mouvements séquencés de la parole. On ne sait cependant pas si ces mouvements séquencés des articulateurs sont nécessaires ou présents durant le babillage ou les premières productions (Clarke, 2020).



### *Explosion lexicale durant la deuxième année de vie*

En menant une étude longitudinale, Nip et al. (2011) ont pu montrer des interactions significatives entre les mouvements orofaciaux captés durant la parole et le vocabulaire expressif mesuré à l'aide du MacArthur Communicative Developmental Inventories (Fenson et al., 2007). Ces résultats ont été répliqués par Iuzzini-Seigel et al. (2015). Ces derniers avancent que les mouvements des lèvres se spécifient davantage aux sons de la parole en devenant de plus en plus verticaux, indépendamment de la croissance morphologique des articulateurs. Ces changements s'opèrent car le pic de vocabulaire expressif joue un rôle clé dans l'acquisition de nouveaux phonèmes (Sosa & Stoel-Gammon, 2006). Les mots produits par l'enfant sont d'abord précis et restreints par des contraintes motrices que l'enfant maîtrise. Lorsque le vocabulaire expressif augmente, les erreurs communicatives provoquées vont pousser à parfaire dans ses cibles pour les distinguer de cibles proches. Ces ajustements vont eux-mêmes participer activement à l'amélioration du contrôle moteur de la parole (Iuzzini-Seigel et al., 2015). Cette interaction en opposition de phase est cohérente avec l'idée selon laquelle le développement de la parole suit une courbe en U (MacLeod, 2019). Il existe donc un processus de conditionnement bidirectionnel entre le développement moteur et linguistique (Stoel-Gammon, 2011) qui fait l'unanimité dans la littérature.

Cette étape du développement de la parole est donc caractérisée par des progressions et régressions dans le contrôle moteur (Iuzzini-Seigel et al., 2015). Il est important de noter que le développement du vocabulaire et celui de la parole ont une influence réciproque qui commence bien avant l'explosion lexicale (Steeve &

Moore, 2009; Stoel-Gammon, 2011) et continue bien après également cette étape (Iuzzini-Seigel et al., 2015).

### *Perfectionnement de la parole dès 2 ans*

Dès 2 ans, le contrôle moteur de la parole initie une phase de peaufinage, de perfectionnement (appelé « refinement phase » en anglais (Green et al., 2000)) qui serait directement liée à la précision des sons de la parole (Iuzzini-Seigel et al., 2015). Le contrôle moteur privilégie progressivement la précision au détriment de la performance (Weismer & Cariski, 1984). Le début de cette phase de perfectionnement, encore à cheval sur la période d'explosion lexicale, est caractérisé par une verticalisation des mouvements d'ouverture de la mâchoire, une indépendance progressive des lèvres par rapport aux mâchoires un couplage spatial et temporel toujours dépendant entre les lèvres supérieures et inférieures (Green et al., 2000; Iuzzini-Seigel et al., 2015). La précision articulatoire résulte d'une interaction avec la saillance perceptive des signaux acoustiques, la complexité motrice et la fréquence du phonème dans la langue ambiante (MacLeod, 2019).

L'évolution la plus importante en matière de précision des sons de la parole se produit entre 3 et 4 ans (Iuzzini-Seigel et al., 2015). La parole à cet âge est encore très différente de l'adulte et le contrôle moteur est au cœur de sa période de perfectionnement. Pourtant, le nombre d'études sur le contrôle moteur de la parole de l'enfant préscolaire (3 à 5 ans) est nettement plus limité, ce qui est révélateur d'une sorte de désintérêt pour l'aspect moteur de la parole en faveur de son aspect psycholinguistique. Durant cette phase, on observe une indépendance croissante des articulateurs. Les mouvements des lèvres continuent à se parfaire, tout en étant encore loin des patterns adultes (Iuzzini-Seigel et al., 2015). C'est la langue qui devient très

clairement le principal articulatoire et joue un rôle majeur dans la coarticulation (Hardcastle & Hewlett, 2006; Noiray et al., 2018). Bien que certains auteurs doutent de l'implication du contrôle moteur pour expliquer les erreurs développementales chez les enfants d'âge préscolaire, plusieurs études expérimentales basées sur l'imagerie par ultrasons prouvent le contraire (Barbier, Perrier, et al., 2020; Noiray et al., 2019). La coarticulation serait par ailleurs un indicateur d'un contrôle mature des articulatoires (Zharkova et al., 2011). Noiray et al. (2018) expriment l'idée que la maturation de la coarticulation s'exprimerait en termes de flexibilité plutôt que d'évolution ou régression, comme cela a souvent été émis auparavant (voir Barbier et al., 2020 pour aller plus loin).

Toutefois la progression du contrôle moteur durant cette période est non-uniforme, chaque enfant progresse à son rythme et exprime des patterns moteurs différents. Vick et al. (2012) ont conduit une étude transversale pour mesurer ces variabilités de parole chez soixante-trois enfants tout-venant de 36 à 59 mois. Les mesures concernaient les mouvements des articulatoires liés à la parole (ex. : mouvements des lèvres, mouvements de la mâchoire), les mesures acoustiques (ex. : durée de syllabe, stress syllabique) et les mesures dites « comportementales » (ex. : précision de parole, pourcentage de consonnes correctes). Les auteurs ont pu différencier trois profils différents dans le développement typique : un groupe caractérisé par de faibles performances en précision ; le second caractérisé par une grande variabilité des mesures de mouvements et des mesures acoustiques, mais un bon niveau de précision dans la production de parole ; tandis que le troisième était caractérisé par un niveau de précision similaire au second groupe, mais peu de variabilité au niveau des mesures acoustiques et de mouvements. Au sein des enfants

présentant un développement typique, il existerait de grandes variations de trajectoires développementales en fonction de caractéristiques liées notamment aux habiletés motrices et à la précision de la parole. Toutefois, les auteurs mentionnent le besoin d'études longitudinales pour le confirmer.

Dans une étude comparant des enfants de 5 ans à des adultes, Riely et Smith (2003) ont montré que les mouvements orofaciaux liés à la parole n'étaient pas (ou plus) dépendants de mesures morphologiques (liées au poids, à la taille et à la morphologie craniofaciale). Les mouvements sont par contre moins rapides chez les enfants de 5 ans que chez l'adulte. Les auteurs comparent le développement du contrôle moteur de la parole à l'écriture : le manque de contrôle sur la coordination fine explique des mouvements relativement larges et lents.

### *Vers la parole adulte*

Le contrôle moteur de la parole est encore sujet à maturation jusqu'à l'adolescence (Glaspey et al., 2022; Green et al., 2000; Redford, 2019; Rvachew & Brosseau-Lapré, 2018; Wohlert & Smith, 2002) et probablement encore après (Murdoch et al., 2012; Wohlert & Smith, 2002). Les mouvements de la mâchoire, des lèvres et de la langue continuent à se préciser et se coordonner (Bridget & Anne, 2002; Cheng et al., 2007; Iuzzini-Seigel et al., 2015; Noiray et al., 2018).

#### 2.5.2. Informations somatosensorielles dans le contrôle moteur de la parole

Il existe aujourd'hui suffisamment de preuves tangibles pour attester de l'importance des informations somatosensorielles dans le contrôle

moteur de la parole. Tremblay et al. (2003) ont établi l'importance de l'aspect somatosensoriel de la parole en publiant un article dans la revue *Nature*. Les auteurs ont pu démontrer que les objectifs somatosensoriels de la production de la parole sont indépendants de la production acoustique et constituent donc l'élément central de la production de la parole. Pour ce faire, ils ont employé une technique qui perturbait mécaniquement les mouvements de la mâchoire lors de la parole pour affecter le feedback somatosensoriel, sans en affecter le signal acoustique. Les adaptations somatosensorielles qu'ils ont observées leur ont permis de confirmer que l'objectif moteur de la parole est avant tout somatosensoriel avant d'être acoustique. Similairement, les perturbations au niveau de la bouche montrent que les compensations somatosensorielles sont immédiates et que le feedback auditif est utilisé pour affiner la précision articulatoire avec un délai plus long que le feedback tactile des articulateurs (Honda et al., 2002). Une récente revue de la littérature rapporte que les appareils orthodontiques modifiant les informations somatosensorielles de la langue et du palais ont un effet « évident » sur la production de phonèmes, en particulier des consonnes apico-alvéolaires, bien que le système somatosensoriel soit capable de s'adapter dans les semaines qui suivent (Chen et al., 2018). De très nombreuses autres études s'intéressent à l'importance du feedback somatosensoriel dans la parole adulte (Barbier, Baum, et al., 2020; Feng et al., 2011; Ghosh et al., 2010; Hickok, 2012; Houde & Jordan, 1998; Mcfarland et al., 1996; Nasir & Ostry, 2006; Savariaux et al., 1995; Tremblay et al., 2003).

Malgré ces preuves, Rvachew, & Brosseau-Lapré (2018) révèlent un « *curieux manque d'intérêt* » dans l'étude du rôle des informations somatosensorielles dans le développement de la parole

(p. 145). Redford (2019) aborde les HSO comme un élément central dans son modèle sensible au développement, mais le processus développemental y est très peu détaillé. Trudeau-Fisette et al. (2019) ont observé l'intégration des informations auditives et somatosensorielles dans une tâche de perception de deux voyelles chez des enfants (entre 5 et 6 ans) et les ont comparées aux performances adultes. D'après leurs résultats, l'intégration des informations auditives et somatosensorielles évoluerait au cours du développement, mais l'interprétation reste limitée puisque les résultats concernent des données transversales en perception.

Une des rares études en lien avec le développement somatosensoriel est celle de Barlow et al. (1993). Les auteurs ont placé un électromyogramme sur les lèvres pour analyser la réponse à des stimulations mécaniques au cours de mouvements de lèvres de type volontaire. La variabilité de l'amplitude et la latence de réponse sembleraient décliner durant les premiers mois puis augmenter entre 4 et 6 ans avant de diminuer à nouveau vers 12 ans pour acquérir un pattern proche de l'adulte. La méthodologie reste à nouveau discutable.

### 2.5.3. Apport des données pathologiques dans la compréhension du contrôle moteur de la parole

Il existe plusieurs méthodes de classification des TDSP (pour une revue, voir Waring & Knight, 2013). Parmi celles-ci, le Speech Disorders Classification System est une manière de classifier les TDSP sur base de l'étiologie des troubles. La version la plus actuelle a été publiée récemment (Shriberg et al., 2019). Dans cette classification, on retrouve une branche de TDSP qui correspond aux troubles moteurs (associés ou non à une condition). Parmi ces

troubles moteurs figurent évidemment la dyspraxie verbale, trouble neuromoteur de la planification et de la programmation motrice, et la dysarthrie (« Childhood dysarthria »), trouble neuromusculomoteur de l'exécution motrice. Les tableaux cliniques de ces troubles sont de mieux en mieux définis (ASHA, n.d.-a, et voir par exemple l'étude de Meloni et al. (2020) pour des critères en langue française). Si ces troubles sont sans aucun doute liés à un déficit moteur, il se pourrait qu'il existe une catégorie supplémentaire de troubles intégrant une subtile composante motrice, mais dont la cause est indéterminée et qui ne corresponde ni aux critères cliniques de l'apraxie ni à ceux de la dysarthrie. Selon Shriberg et al. (2019), cette catégorie « Speech Motor Delay » pourrait monter jusqu'à 12% de la population présentant un TDSP.

#### *2.5.3.1. Données expérimentales issues des troubles des sons de la parole*

Dans leur étude, Vick et al. (2014) ont identifié un sous-groupe d'enfants qui correspond en tout point à cette catégorie de « Speech Motor Delay ». Les auteurs ont relevé des mesures cinématiques chez des enfants d'âge préscolaire présentant un TDSP d'origine idiopathique. Deux sous-groupes ont été mis en évidence : dans le premier groupe, les enfants présentaient des mesures cinématiques similaires aux enfants tout-venant de l'étude précédemment évoquée (Vick et al., 2012), mais avec une intelligibilité inférieure. Dans le second sous-groupe, les enfants présentaient par contre un contrôle moteur de la parole faible, ainsi qu'une variabilité accrue des mesures cinématiques des lèvres et des mâchoires. La proportion de phonèmes correctement produits était également réduite dans ce groupe. Mogren et al. (2021) ont étudié, par le biais d'une analyse 3D, les mouvements

des lèvres et des mâchoires lors de la répétition de voyelles chez des enfants avec un TDSP persistant au-delà de 6 ans. À nouveau, la variabilité dans leur amplitude s'avère plus élevée que chez les enfants tout-venant. Les mouvements des enfants tout-venant sont de plus faible amplitude et davantage symétriques. La variabilité des mouvements des articulateurs pourrait donc être un indice d'un contrôle moteur moins performant que les enfants tout-venant, mais pourrait également être une variable pertinente pour différencier la dyspraxie des autres TDSP. Les enfants avec dyspraxie verbale présenteraient d'autant plus de variabilité dans les mouvements et dans leur coordination (Grigos, 2016; Grigos et al., 2015; Terband et al., 2011).

D'après Grigos (2016), cette variabilité accrue pourrait hypothétiquement soit être le reflet d'explorations pour parvenir aux cibles de la parole soit l'indicateur d'un déficit moteur global influençant le tableau clinique. De plus en plus d'éléments vont en faveur de cette dernière hypothèse (Knežević, 2019; Malmenholt et al., 2017; Tükel et al., 2015). Vuolo et Goffman (2018) ont exploré une tout autre hypothèse : l'exigence langagière liée à la tâche de parole (« language load ») influencerait les mesures cinématiques des articulateurs, à la fois chez les enfants présentant un TDSP et un trouble développemental du langage (TDL). Dans cette étude, la demande langagière a été mesurée en comparant des productions de phrases imitées et comparées à des productions induites, c'est-à-dire sans support lexical ou phonologique. Plus l'exigence langagière augmentait, plus le contrôle moteur des articulateurs était perturbé. Cette hypothèse est cohérente avec les données suggérant que les TDL présentent souvent eux aussi un déficit du contrôle moteur co-occurent (Albaret & de Castelnaud, 2009; Brumbach & Goffman, 2014;



Sanjeevan & Mainela-Arnold, 2019; Webster et al., 2006; Zelaznik & Goffman, 2010). Tout comme chez l'enfant tout-venant, il semblerait donc qu'il existe un lien bidirectionnel entre le langage et le contrôle moteur de la parole. Des études doivent maintenant répliquer ces résultats pour confirmer le fait que la complexité cognitive et langagière serait un médiateur du contrôle de la parole et provoquerait cette variabilité. Grigos (2016) précise en outre que dans le cas de la dyspraxie verbale, la balance entre les processus de feedback et feedforward (voir modèle de Redford) pourrait davantage se baser sur l'information auditive que sur les informations somatosensorielles et motrices (Lorenzini et al., 2017).

Cette variabilité de mouvements semble toucher tous les articulateurs puisque dans un article publié en 2002, Gibbon recense des données par électropalatographie qui montreraient selon l'auteure que le contrôle moteur de la langue dans la parole serait altéré chez les enfants TDSP. Les mouvements de la langue chez ces derniers seraient moins flexibles et précis (Gibbon, 1999). Mais les altérations motrices ne se limiteraient pas seulement à la sphère orale (Peter, 2012). Par exemple, l'étude de Redle et al. (2015) a montré une suractivation des régions motrices cérébrales lors d'une IRM menée durant diverses tâches motrices chez des enfants présentant un TDSP persistant. À cause de leur système moteur immature, les enfants avec un TDSP auraient besoin de davantage de ressources pour parvenir à réaliser les tâches, ce qui rejoint l'hypothèse de Grigos explicitée plus haut.

#### 2.5.3.2. *Données cliniques*

Explorer le contrôle moteur de la parole dans la clinique est beaucoup moins précis puisque les mesures ne sont pas aussi directes que les

mesures de laboratoire. Les batteries cliniques prétendument employées à cet effet ont été abordées dans le Chapitre 1 (par exemple, la grille de Henin ou les praxies articulatoires de l'Isadyle en français). Outre leurs qualités psychométriques souvent peu concluantes (Mccauley & Strand, 2008), ces tests évaluent, pour la plupart, à la fois des composantes motrices sur base de mouvements liés à la parole et de mouvements non verbaux tels que les NSOMs, qui ne sont donc pas produits dans un contexte lié à la parole. Or, nous allons le voir au point 2.6 (2.6), l'implication de ces derniers dans le contrôle moteur de la parole est largement sujette à controverse.

#### *2.5.3.3. Données spécifiques aux informations somatosensorielles*

Plusieurs anciennes études ont déjà mis en évidence de faibles habiletés somatosensorielles chez les enfants avec un TDSP (Fucci et al., 1991; McNutt, 1977; Mogren et al., 2022; Ringel et al., 1970; Ruscello & Lass, 1977; Wood & Smith, 1992), mais pas de façon systématique (Kingston & Rosenthal, 1987; Lonigan, 1974; Madison & Fucci, 1971; Schliesser & Cary, 1973). Toutefois, la qualité méthodologique de ces études ne nous permet pas à ce jour de tirer de conclusions. Récemment, une étude a été menée chez des enfants présentant un trouble persistant du phonème « r » en anglais (Kabakoff et al., 2022). Les auteurs ont évalué les habiletés de stéréognosie orale et les ont mises en relation avec la forme de la langue lors de la production du phonème, tout en contrôlant la perception auditive. D'après les résultats, de bonnes habiletés somatosensorielles prédisent une meilleure réponse à une prise en charge de la production du phonème /R/.

La très grande majorité des études portant sur le lien entre parole et habiletés somatosensorielles ne fait pas la distinction entre

la sensibilité tactile et la proprioception. La tâche la plus utilisée est l'épreuve de stéréognosie, un outil clinique, car il est considéré comme le plus pratique (Kabakoff et al., 2022). Il est effectivement difficile de différencier la sensibilité superficielle de la sensibilité profonde lors des études expérimentales. En appliquant un anesthésiant local, il est possible de mettre l'accent sur les habiletés proprioceptives. Jordan, Hardy et Morris (1978) ont mené une étude sur 9 enfants de 6 ans sans troubles et 9 enfants avec un TDSP. Ils ont proposé une épreuve où l'enfant devait reproduire une position spécifique de la langue dans deux conditions : sans anesthésie superficielle ou avec anesthésie. Les enfants avec troubles relativement sévères auraient de moins bonnes performances aux tâches de positionnement lingual, mais avec un feedback sensoriel et plus d'expérience, ils parviennent à acquérir ces compétences. Leur conclusion était que le positionnement lingual précis exécuté par un mouvement moteur pouvait autant reposer sur les récepteurs profonds et superficiels, que juste sur les récepteurs profonds, c'est-à-dire de la proprioception. Cependant, comme évoqué dans le Chapitre 1, il est hautement probable que l'ensemble du système somatosensoriel soit intrinsèquement lié (Haggard, de Boer, 2014) et que la parole fasse intervenir plusieurs composantes liées aux sensations.

## **2.6. Relation entre habiletés motrices orales non verbales et parole**

### **2.6.1. Apport des données cliniques**

À l'heure actuelle, aucun lien clair et direct n'a pu être mis en évidence entre les mesures d'intelligibilité, les DDK et NSOMs (Kent, 2015; Williams & Stackhouse, 2000). Chez des enfants tout-venant d'âge

préscolaire par exemple, Kehoe et Cretton (2021) n'ont trouvé aucune corrélation entre la production de NSOMs isolés (qui, dans ce cas précis incluait également des mouvements des yeux et des expressions du visage), les DDK et le PPC. Il est important de noter que ces résultats n'étaient pas directement liés à la question de recherche initiale de l'étude. Farias et al. (2006) ont quant à eux évalué 120 enfants d'âge préscolaire. Les critères investigués sont détaillés dans le **Tableau 5**. La méthodologie utilisée est assez vague (pas de calcul de fidélité, pas de détail des tâches de parole ou de la méthode de transcription employée, pas d'élément qui pourrait considérer les erreurs développementales de parole...); cependant les tâches sont relativement représentatives de ce qu'on peut retrouver dans la clinique (Staiger et al., 2017). Les auteurs ont trouvé les résultats suivants au sein de leur échantillon : il existe une relation entre la résistance musculaire de la langue et les mouvements séquencés, mais cette relation n'est pas retrouvée pour les lèvres. Il n'y a pas de relation entre la résistance des lèvres ni de la résistance de la langue avec la parole. Aucune relation n'est apparue entre les mouvements des lèvres et la parole, par contre les résultats étaient significatifs en ce qui concerne la corrélation entre la parole et les mouvements séquencés de la langue. Les auteurs interprètent les résultats en attestant de l'existence d'un lien entre la coordination linguale des NSOMs et de la production de la parole.

Dans une étude incluant 62 enfants de 2 ans au développement typique, Dodd et McIntosh (2010) ont étudié la précision de la parole mesurée par le PCC et les relations avec les mouvements moteurs isolés et séquencés (de la langue et des lèvres) ainsi que les DDK. Les résultats montrent une relation significative entre le PCC et les DDK ainsi qu'entre le PCC et les mouvements séquencés, mais pas

entre le PCC et les mouvements isolés et les DDK et les NSOMs, quels qu'ils soient. D'autres auteurs ont étudié l'évolution des NSOMs isolés et séquencés et en ont montré une grande variabilité entre les enfants tout-venant d'âge préscolaire, et en ont interprété un potentiel lien avec la parole sans mettre à l'épreuve cette hypothèse (Ozanne, 1992; Pam Williams & Stackhouse, 2000).

### Tableau 5.

*Épreuves pour l'évaluation des habiletés motrices orales non verbales au regard de la parole dans l'étude de Farias et al. (2006)*

| Tâche   | Evaluation  |
|---|---|
| Résistance des lèvres et de la langue                         | Les participants devaient appuyer la langue contre une spatule. Les examinateurs évaluaient subjectivement si la résistance était adéquate ou altérée.  |
| Production de mouvements isolés des lèvres et de la langue    | L'examinateur initiait verbalement et en donnant un modèle un mouvement de protrusion et un mouvement de contraction pour les lèvres ; un mouvement isolé d'élévation, d'abaissement puis de latéralisation pour la langue.   |
| Production de mouvements séquencés des lèvres et de la langue | Les mêmes mouvements que la tâche isolée étaient répétés de manière séquencée : protrusion/contraction pour les lèvres, élévation/abaissement et latéralisation gauche/droite entrecoupée d'une élévation pour la langue. La cotation était dichotomique : la production était considérée comme correcte si l'enfant parvenait à répéter cinq séquences en cinq secondes et incorrecte en cas d'erreur ou de dépassement des cinq secondes imparties. |
| Dénomination d'image et parole spontanée                      | La parole était jugée altérée en présence de distorsions, omissions et substitutions et normale en absence de ces erreurs.  |

Les données sur la dyspraxie verbale et sur le bégaiement sont actuellement suffisantes pour attester qu'à la fois les HMO verbales et non verbales sont altérées dans ces conditions (pour une revue voir Kent, 2015) et rejoignent donc l'idée d'un déficit moteur global (Grigos,

2016). Pour ce qui concerne les enfants avec un TDSP d'origine idiopathique et au regard des données sur le contrôle moteur de la parole, les mêmes questions pourraient se poser en lien avec l'hypothèse d'un déficit moteur généralisé, mais celui-ci serait davantage subtil (Namasivayam et al., 2020; Redle et al., 2015). A ce sujet, Bertagnolli et al. (2015) ont conduit une étude auprès de 82 sujets portugais âgés de 4 à 8 ans qu'ils ont recrutés en école. Parmi ces enfants, 29 enfants présentaient un développement typique de la parole alors que les enfants restants ont été diagnostiqués avec TDSP. Plusieurs tâches d'évaluation des NSOMs ont été évaluées par le Orofacial Praxis Test, mélangeant des tâches vocales (ex. : faire le bruit d'un animal) et non vocales (ex. : protrusion des lèvres), des expressions faciales (ex. : sourire) et mouvements séquencés (ex. : tirer la langue et fermer la bouche). Le Protocol of assessment of the Articulatory and Bucco-facial Praxis a également été utilisé. Ce dernier inclut six mouvements des lèvres, six de la langue, six du visage, et six mouvements articulatoires. Enfin, les auteurs ont également inclus une tâche de DDK. Il s'est avéré que, d'une façon générale, les enfants présentant un TDSP ont de moins bonnes performances que les enfants présentant un développement typique. Cependant, cela n'était pas le cas pour tous les items et les résultats n'étaient pas forcément homogènes entre les deux tests. Les auteurs disent répliquer des résultats déjà observés auparavant, mais les articles de références sont en portugais et ne sont pas tous publiés.

Aziz et al. (2010) ont étudié un groupe de 30 enfants arabophones d'âge préscolaire répartis en 3 groupes : un groupe tout-venant, un groupe présentant un TDSP idiopathique et un groupe d'enfants avec dyspraxie verbale. Ils ont évalué chez ces enfants des mouvements isolés (faire un bisou, sourire en montrant ses dents, tirer

la langue et aspirer les joues) et séquencés (faire un bisou puis sortir la langue, sourire puis aspirer les joues, sortir la langue puis sourire, aspirer les joues puis sortir la langue). Plutôt qu'une cotation binaire, retrouvée dans la plupart de ce type d'épreuves, les auteurs ont préféré une cotation un peu plus flexible en différenciant les productions correctes, des tâtonnements et des productions incorrectes. Dans cette étude, la production de la parole a fait l'objet d'une évaluation plus fine que les études précédemment citées. Les auteurs n'ont pas directement lié la production de la parole aux épreuves non verbales, mais ont fait ce constat : le PCC présente des différences significatives entre les trois groupes qu'il soit calculé sur un matériel isolé, dans les mots ou dans la parole spontanée. Les enfants dyspraxiques présentent un PCC sévèrement altéré et toutes les tâches non verbales sont moins bien réussies par les enfants dyspraxiques comparativement aux enfants tout-venant. Les enfants dyspraxiques réussissent moins bien les mouvements séquencés comparativement aux enfants présentant un TDSP idiopathique. Par contre, les enfants présentant un TDSP idiopathique ne montrent pas de différence comparativement aux enfants tout-venant. Contrairement à ces résultats, plusieurs auteurs ont fait état d'un lien entre les TDSP d'origine idiopathique et les HMO non verbales. Ces études se basaient sur le même type d'échantillon (Bradford et al., 1997; Newmeyer et al., 2007; T. N. Souza & Avila, 2011) y compris en français (Brosseau-Lapré, 2013), mais aussi sur des échantillons incluant, comme Bertagnolli et al. (2015), des enfants un peu plus  g es (Gubiani et al., 2012; Noveen et al., 2018; Redle et al., 2015).

## 2.6.2. Hâbiletés motrices orales non verbales dans le traitement des troubles du développement des sons de la parole

L'hypothèse pour le moins plausible d'une relation entre les HMO non verbales et la parole a séduit les cliniciens à tel point qu'une grande majorité de cliniciens incluent les NSOMs dans la prise en soin des TDSP en vue d'améliorer l'intelligibilité (Kamal, 2021; Kamhi, 2008; Lof & Watson, 2008). Quelques auteurs ont publié en ce sens (Vashdi et al., 2020; Yu et al., 2018) créant un débat très animé au sein de la communauté scientifique. D'après Kent (2015), cette relation a probablement été extrapolée en partant de cette hypothèse que les exercices moteurs oraux non verbaux (NSOMEs) peuvent être pertinents pour certains types de prise en soin comme les apnées obstructives du sommeil pédiatriques (Bandyopadhyay et al., 2020). Bien qu'aucune étude n'ait été méthodologiquement correctement conduite à cet égard, toutes les données actuelles convergent vers l'inefficacité de ce genre de prise en charge dans le cadre des TDSP (Alhaidary, 2021; Kent, 2015; Maas, 2017). Selon Ruscello (2010, p.70), « *Il y a un réel besoin d'études contrôlées qui examinent avec attention les exercices moteurs oraux en tant que traitement de la parole. Il est clair que les chercheurs sont conscients de ce problème* ».



## Synthèse

- La période préscolaire correspond à une période d'affinement du contrôle moteur de la parole permettant la précision articulatoire des consonnes.
- Il existe un débat sur l'implication des habiletés motrices orofaciales non verbales dans la production de la parole.
- Peu d'études sont disponibles sur le développement de la parole en français.
- Dans ces études, la dénomination d'images est la tâche la plus couramment employée et le PCC la mesure la plus couramment utilisée.
- Le PCC permet d'analyser la précision articulatoire des consonnes.

## Chapitre 3.

# Le développement myofonctionnel orofacial

La sphère orofaciale est le siège de nombreuses fonctions coordonnées entre elles et intégrées au sein d'un système sensori-moteur extrêmement complexe (Avivi-Arber et al., 2011; Delaney & Arvedson, 2008). Les fonctions orofaciales les plus fréquemment étudiées sont la respiration, la succion puis mastication et la déglutition, souvent appelées *fonctions orofaciales non verbales* par opposition à la fonction communicative de la parole. Ces dernières sont nécessaires à la survie de l'individu (Delaney & Arvedson, 2008). Les connaissances actuelles nous permettent de dire que ces fonctions suivent leur propre développement et changent avec l'âge, la croissance morphologique de la sphère craniofaciale et les modifications qui y sont associées (comme la chute et l'éruption dentaire, la maturation du contrôle nerveux ainsi qu'avec les changements des habiletés motrices (Delaney & Arvedson, 2008; Green et al., 1997; Sampallo-Pedroza et al., 2014). Les fonctions nécessaires à l'alimentation sont issues d'un apprentissage qui est grandement influencé par les sensations orales, le développement moteur et les expériences de l'enfant (Stevenson & Allaire, 1991). Tout comme pour le reste du corps, le contrôle moteur des fonctions orofaciales se développe en affinant ses mouvements et habiletés motrices (Meyer, 2000).

### 3.1. Respiration

Les mouvements de respiration<sup>2</sup> apparaissent très tôt dans le développement du fœtus, mais diffèrent sensiblement de la respiration à la naissance (Jansen & Chernick, 1991) car ils sont intermittents et ne permettent pas encore l'échange gazeux, mais plutôt participent activement au développement des poumons (Gauda & Martin, 2018). Les mouvements de la respiration sont chapeautés par un système moteur complexe qui nécessite la coordination de nombreux muscles (Hilaire & Duron, 1999). Ces muscles effectuent des mouvements de traction qui soumettent l'oropharynx à des mises en tension. La langue et la position de la mandibule jouent un rôle crucial pour dégager le passage de l'air et empêcher un collapsus des voies aériennes durant ces mouvements de traction (Takahashi et al., 1999).

Dès la naissance et jusqu'à la mort, la respiration est nécessaire à l'être humain pour permettre un échange gazeux continu par l'inspiration et l'expiration d'air et ainsi assurer sa survie. Pour préparer l'air qui entre dans les poumons, le nez va d'abord réchauffer et humidifier l'air ambiant grâce à sa muqueuse. La température de la muqueuse va chuter et celle-ci va s'assécher, puis augmenter et s'humidifier à nouveau lors de l'expiration. Le nez va également être le premier lieu de résistance pour l'air inspiré, dont le flux doit être équilibré avant d'atteindre les alvéoles pulmonaires (Bartley, 2013; Elad et al., 2008; Sahin-Yilmaz & Naclerio, 2011). La respiration nasale physiologique a d'autres avantages. Elle permet de filtrer l'air

---

<sup>2</sup> La respiration et la ventilation sont deux procédés physiologiques différents (Davies & Misra, 2014). Le terme « ventilation » permet de mieux décrire le renouvellement d'air des poumons, mais le terme « breathing » dont la traduction est « respiration » est beaucoup plus largement répandu dans la littérature et est référencé comme descripteur MeSH.

des bactéries et virus et joue un rôle de défense immunitaire notamment grâce à la production d'oxyde nitrique dans la cavité nasale (Lundberg & Weitzberg, 1999). La respiration nasale « *augmente les taux d'oxygène et de dioxyde de carbone circulant dans le sang, ralentit le rythme respiratoire et améliore les volumes pulmonaires globaux* » (Bartley, 2013, p.45). Enfin, le nez est pourvu d'un système nerveux composé de nerfs entre autres sensoriels, lui permettant la détection d'odeurs (Sahin-Yilmaz & Naclerio, 2011).

La respiration subit bien sûr un effet développemental à de nombreux égards tel que le rythme, le volume d'air inspiré (Fisher et al., 1982) ou le contrôle neurologique (Gauda & Martin, 2018). Cependant il n'est pas censé y avoir d'aspect développemental dans le mode de respiration puisque la respiration nasale est considérée comme physiologique dès la naissance (Moss, 1965). Excepté en cas d'activité physique, où le volume d'air doit considérablement augmenter, l'être humain est censé respirer par le nez (Sahin-Yilmaz & Naclerio, 2011). Il est d'ailleurs largement reconnu que la respiration nasale participe au développement harmonieux de la croissance craniofaciale (D'Ascanio et al., 2010; Klein, 1986; Peltomäki, 2007; Torre & Guilleminault, 2018) et à la coordination des fonctions de succion puis mastication et déglutition (Kelly et al., 2007; Matsuo & Palmer, 2009).

Si certains auteurs pensaient même que les nouveau-nés étaient physiologiquement obligés de respirer par le nez (Moss, 1965), il est très vite apparu que les nouveau-nés sont en réalité capables de s'adapter en respirant par la bouche si cela s'avère nécessaire (Bergeson & Shaw, 2001). Par ailleurs, dans une étude recensant les résultats de diverses recherches menées avec le Nordic Orofacial Test for Screening (NOT-S) (Bakke et al., 2007), la respiration apparaît

comme présentant certaines différences entre les enfants de 3-4 ans et les groupes au-delà de 5 ans (5-84 ans) (Bergendal et al., 2014). À cela s'ajoute le fait que la proportion d'enfants dits respirateurs buccaux est considérable dans la tranche d'âge préscolaire, variant selon les études et selon leurs critères entre 23% observation clinique (Paolantonio et al., 2019) et 55% (Abreu et al., 2008b). Le peu de données longitudinales sur la respiration ne nous permet pas de savoir si la respiration pourrait en effet varier dans certaines phases spécifiques du développement. La respiration buccale, dans son ensemble et avec très peu de nuance, est considérée comme pathologique (D'Ascanio et al., 2010; Milanese et al., 2017a; Valera et al., 2003), tout comme c'est le cas pour la respiration mixte ou oronasale ; ce point sera développé dans les études 3 et 4.

### **3.2. Déglutition**

La maturation et le contrôle de la déglutition dépendent, entre autres, des habiletés sensorielles et motrices orales, d'un bon tonus musculo-squelettique, d'un système nerveux central efficace et bien entendu de structures orofaciales intactes (Delaney & Arvedson, 2008; Stevenson & Allaire, 1991). La fonction de déglutition se réalise en trois temps : un temps buccal, un temps pharyngé ainsi qu'un temps oesophagien (Logemann, 1998). C'est le premier temps, le temps buccal qui nous intéresse dans ce travail puisqu'il est volontaire et nécessite l'intégration d'informations somatosensorielles et la coordination de la langue, des lèvres, des joues, des mâchoires, du palais (Delaney & Arvedson, 2008). Il correspond à la préparation du bolus ainsi que la propulsion du bolus vers l'oropharynx.

Le développement de la déglutition démarre très tôt in utero et permet la régulation du fluide amniotique et participe à la maturation gastro-

intestinale. La succion (« suckling ») se met en place consécutivement. Elle se caractérise par des mouvements antérieurs et postérieurs de la langue, coordonnés avec les mouvements d'ouverture et de fermeture de la mâchoire. Déjà durant cette période in utero, les mouvements de recul sont plus importants et la langue est contenue dans la cavité orale, ne dépassant pas les lèvres (Arvedson et al., 2019).

À la naissance, la coordination de la respiration, succion (« sucking »), déglutition se met en place. Cette coordination diffère entre déglutition nutritive et non nutritive et est encline à de grands changements durant la première année de vie, en particulier les deux premiers mois suivant la naissance. Cette différence de coordination respiration/nutrition entre nutritif et non nutritif a tendance à disparaître à l'âge adulte. Elle serait potentiellement induite par les changements physiologiques et grâce au développement neuronal permettant l'intégration sensori-motrice de la zone orale (Kelly et al., 2007). En effet, la stimulation sensorielle et l'acquisition des habiletés motrices induisent des expériences capables d'affecter les comportements de déglutition grâce à sa grande capacité neuroplastique (Martin, 2009). Les mouvements de la langue se font par vague péristaltique et la langue entièrement dépendante de la mâchoire (Ayano et al., 2000). Les mouvements de la mâchoire durant la succion du nourrisson ont une tendance verticale et évolueront avec les changements de texture vers la mastication (Sampallo-Pedroza et al., 2014). Dès lors, les articulateurs commencent à fonctionner en indépendance. La coordination entre la langue, la mâchoire et les joues progresse pour permettre la mastication, mais surtout la langue entreprend des mouvements latéraux pour séparer la nourriture et préparer le bolus (Ayano et al., 2000).

D'un point de vue restreint à la myologie orofaciale, la déglutition du très jeune enfant est dite « viscérale », « infantile » ou « primaire » et caractérisée par une persistance des mouvements antérieurs de la langue, une interposition de cette dernière entre les procès alvéolaires et une contraction des muscles périoraux et une propulsion des lèvres pour garantir l'étanchéité buccale antérieure (Graber, 1963; Rakosi, 1970 cités par Peng et al., 2003; Van Dyck et al., 2016). Une phase de transition, appelée « déglutition inconsistante », apparaît suite à des changements somatosensoriels (Peng et al., 2004) lors de l'éruption des premières dents (Graber, 1963; Peng et al., 2003) et de l'introduction de différentes textures (Senez, 2015). Ensuite, un recul de la langue va progressivement se faire, permettant à l'apex de prendre appui sur la papille palatine (Graber et al., 1963, Rakosi, 1970 cités par Peng et al., 2003, p.451) et les lèvres vont entrer en contact léger, sans aucune contraction des muscles faciaux (Iyer & Valiathan, 2001). On appelle cette phase la déglutition « somatique », « adulte » ou « secondaire ». Graber (1963) précise que ces étapes sont sujettes à de grandes variations interindividuelles, à une adaptation progressive et à l'environnement somatosensoriel, il estime que la phase de transition s'effectue entre 6 mois et 1 an et demi, alors que Peng et al. (2003) considère qu'elle s'étend jusque 4 ans et Senez (2015) jusqu'à 6 ans. Au-delà, les auteurs parlent de déglutition « atypique » ou « dysfonctionnelle » (« tongue thrust » en anglais). La langue aurait une activité musculaire plus élevée lors d'une déglutition « mature » (Iyer & Valiathan, 2001). En réalité, très peu d'études expérimentales ont objectivé ce type de déglutition et le nombre de sources étudiant cette relation est extrêmement limité (Knösel et al., 2012). Pourtant, tout un pan de

littérature axé sur le volet thérapeutique se base sur ces informations largement répandues en clinique.

### **3.3. Mastication**

Tout comme la déglutition et parallèlement à celle-ci, la fonction masticatoire suit un développement progressif qui dépend de la maturation nerveuse et physiologique craniofaciale. Elle inclut, comme la succion, une certaine rythmique des mouvements des mâchoires, de la langue et des muscles masticatoires et est guidée par le système occlusal (Sampallo-Pedroza et al., 2014). La mastication est le fruit d'un apprentissage de mouvements synchronisés et coordonnés qui permettent la préparation du bolus alimentaire de manière semi-automatique (Almotairy et al., 2018b).

La tranche d'âge entre 6 et 12 mois est cruciale pour l'acquisition d'habiletés somatosensorielles et motrices liées à l'alimentation puisque l'introduction de nouvelles techniques nécessite davantage de coordination du contrôle moteur<sup>3</sup>. Dès 8 mois, les enfants sont capables d'initier la morsure entre les gencives ou les dents (Delaney, 2010). Une étude longitudinale a permis de comparer les changements objectifs de coordination des muscles masticateurs entre 1 et 4 ans (Green et al., 1997). Dès 1 an, l'enfant est capable d'activer les muscles antagonistes. Les muscles élévateurs continuent cependant de se renforcer, de se synchroniser et de fonctionner indépendamment les uns des autres avec l'âge. Il y a une claire progression de l'efficacité masticatoire, que Nagaiwa et al. (2016,

---

<sup>3</sup> Pour une revue complète des habiletés motrices orales en lien avec l'alimentation (y compris les comportements liés aux instruments alimentaires) durant cette tranche d'âge chez des enfants tout-venant, voir la thèse de Delaney (2010)



p.227) définissent comme « *l'habileté de broyer, moudre et mélanger la nourriture avec la salive, ainsi que l'habileté de créer le bolus alimentaire* ». Une récente revue systématique de la littérature a exploré les changements développementaux liés au contrôle sensori-moteur de la mâchoire et sa relation avec la mastication (Almotairy et al., 2018b). D'après les résultats, la force maximale de morsure suit une courbe développementale qui se rapproche de la croissance mandibulaire, c'est-à-dire une accélération exponentielle durant l'enfance, puis une augmentation progressive jusqu'à l'adolescence et là un deuxième pic de croissance. Entre 9 et 18 mois, les enfants présentent une faible coordination et un faible contrôle des mouvements latéraux, bien que ceux-ci soient largement initiés (Ayano et al., 2000; Manno et al., 2005). Avec l'apparition des secondes molaires, entre 2 et 3 ans, les mouvements latéraux sont plus stables, la coordination s'améliore et les mouvements verticaux deviennent déjà plus rapides. Entre 3 et 6 ans, les forces de mastication sont plus faibles que chez l'adulte, ce qui pourrait potentiellement être expliqué par le fait que les récepteurs sensoriels qui sont présents autour des dents de lait, de la muqueuse et des muscles seraient moins sensibles. Les fibres lentes des muscles masticateurs augmentent de façon linéaire et continuent de se développer et de s'élargir, pourtant la morphologie des masséters est déjà optimale. Les cycles, bien que plus stables que chez le jeune enfant, sont toujours plus variables que chez l'adulte, ce qui reflète l'utilisation d'un plus large panel de mouvements pour atteindre une tâche motrice spécifique. Dans l'étude précédemment mentionnée de Bergendal et al. (2014), une différence est clairement notable entre les performances des enfants de 3-4 ans et celles des groupes 5-7 et 19-84 ans. Les auteurs estiment que 25% des enfants sains entre 3 et 4

ans ont montré des dysfonctions dans l'item *Mastication et Déglutition*. D'après les éléments abordés ci-dessus, tout laisse à penser qu'il s'agit en réalité d'un effet développemental tout à fait classique et non d'une dysfonction.

Le contrôle sensori-moteur lié à la mastication progresserait encore jusqu'à l'adolescence et se rapprocherait des habiletés de l'adulte. Si les mouvements de mastication ne sont pas représentatifs de l'efficacité de la mastication chez l'adulte, le fait de présenter une mastication unilatérale alternée (Rovira-Lastra et al., 2014) ou bilatérale (Farias Gomes et al., 2010; Neto et al., 2007) le serait. Il est toutefois important de noter qu'il existe quasiment systématiquement un côté prédominant (Haralur et al., 2019) qui serait lié à la latéralité hémisphérique (Serel Arslan et al., 2016). La mastication unilatérale constante est par contre considérée comme pathologique (Farias Gomes et al., 2010; Rovira-Lastra et al., 2014). Par ailleurs, des études intéressantes ont été menées chez l'adulte à ce propos. La Touche et al. (2019) ont montré des différences entre les habiletés somatosensorielles (entre autres mesurées par la discrimination de deux points) et motrices (entre autres mesurées par électromyographie) chez les sujets présentant une mastication unilatérale comparés à ceux présentant une mastication bilatérale. Une autre étude a montré qu'il existe une relation entre les habiletés somatosensorielles tactiles de la langue (mesurée par la discrimination de deux points) et le côté préférentiel de la mastication, ce qui permettrait d'améliorer l'efficacité de la mastication (Minato et al., 2009). Ces résultats ont également été démontrés par IRM en ce qui concerne les habiletés motrices de la langue (Shinagawa et al., 2004). Cela laisse penser que la sensation tactile pourrait jouer un rôle assez direct dans la mastication.

### **3.4. Évaluation clinique des fonctions orofaciales**

L'évaluation clinique des fonctions orofaciales commence systématiquement par une anamnèse sur l'histoire développementale investiguant notamment la présence de parafonctions, les habitudes fonctionnelles et les interventions/traitements préalables (ASHA, n.d.-b; Billings et al., 2018; Lannadere et al., 2021; Wiermer, 2017). Elle se fait dans un contexte pluridisciplinaire, néanmoins ce paragraphe se restreint à l'évaluation fonctionnelle qui peut être mise en place dans le cadre logopédique/orthophonique. Il existe différents tests qui évaluent de manière globale les fonctions orofaciales de respiration, déglutition et mastication. Le Nordical Orofacial Test Screening (NOT-S) (Bakke et al., 2007) est un outil de screening très répandu, extrêmement simple d'utilisation et qui a été validé sur une population de 3 à 86 ans. Les domaines évalués sont très vastes, ce qui lui vaut une bonne sensibilité (96%) au détriment de sa spécificité (63%). De ce fait, cet outil évalue grossièrement les habiletés motrices et sensorielles et convient surtout pour mettre en évidence un trouble fonctionnel massif. Le Berliner orofaciales Screening (BoS) (Pollex-Fischer & Rohrbach, 2017) est également un test de screening validé chez une population de 2 ;11 à 55 ans, mais uniquement disponible en allemand. Le protocole MBGR (Marchesan et al., 2012) fait partie des évaluations extrêmement complètes qui permettent d'établir un plan de traitement clinique optimal. Il est néanmoins moins adapté en recherche puisque ses qualités psychométriques n'ont pas été évaluées, sa passation est longue et ses consignes manquent parfois de clarté. L'Orofacial Myofunctional Examination ou l'Orofacial Myofunctional Évaluation with Scores ou OMES (de Felício & Ferreira, 2008) est le protocole le plus employé dans la littérature. Il a été validé chez les enfants de 6 à 12 ans, montrant une très bonne validité

concourante, fidélité test-retest et fidélité inter-juges. Il est présent sous plusieurs variantes : la version italienne (I-OMES) (Scarponi et al., 2018), la version informatisée (de Felício et al., 2014), la version étendue (E-OMES) (de Felício et al., 2010), la version pour les enfants de 6 à 24 mois (OMES-E Infants) (Medeiros et al., 2021), la version pour jeunes et adultes (de Felício et al., 2012), et la version pour personne âgée (de Felício et al., 2017). La tranche d'âge préscolaire est malheureusement laissée pour compte. L'OMES est décomposé en trois parties : une partie « apparence et posture », une partie « mobilité » (NSOMs, voir ci-dessous) et une partie « fonctions ». Cette dernière se compose de la manière suivante : respiration, comportement labial et lingual lors de la déglutition, autres comportements lors de la déglutition (mouvements de la tête, tension des muscles du visage, fuite d'aliments), efficacité de la déglutition, mouvements des mâchoires lors de la mastication et autres comportements lors de la mastication (mouvements de la tête et posture). La version traduite de l'OMES est disponible dans l'Annexe 1. La procédure de traduction sera décrite dans l'Étude 2 de la partie expérimentale. L'ensemble des tests présentés se basent sur un cut-off score global pour établir des normes.

D'autres tests permettent une évaluation plus ciblée d'une fonction ou selon des angles d'approche parfois différents, comme celui de la dysphagie (Vero et al., 2015), celui des troubles alimentaires pédiatriques (Seiverling et al., 2011), celui des paralysies cérébrales (Gisel et al., 2000; Serel Arslan et al., 2017).

### **3.5. Apport des données pathologiques dans la compréhension du rôle des habiletés somatosensorielles et motrices des fonctions orofaciales**

Dans le domaine de la logopédie/orthophonie, les fonctions orofaciales sont généralement étudiées au regard des troubles myofonctionnels orofaciaux (Orofacial Myofunctional Disorders, OMDs) (ASHA, n.d.-b). Le terme OMD est un terme générique que Felício et Ferreira (2008, p. 368) décrivent comme incluant « *des conditions ou des comportements spécifiques qui peuvent avoir un impact négatif sur les postures et les fonctions orales* », comme « *une position propulsive de langue, une altération de la déglutition, une respiration buccale, un déséquilibre musculaire orofacial, une déviation des mouvements mandibulaires* ». Leur définition est adaptée de la définition de Mason (2005), dont la définition « fourre-tout » mélange signes, symptômes, causes et parfois conséquences. Ce domaine s'est pendant de nombreuses années focalisé sur la déglutition, mais un intérêt grandissant s'est progressivement porté sur la respiration et la mastication au vu de leur rôle dans l'équilibre de la croissance orofaciale (Marchesan & Huberman Krakauer, 1996). Les OMDs peuvent se manifester à tout âge (ASHA, n.d.-b; Billings et al., 2018; Merkel-Walsh, 2020) et peuvent être lié à une condition associée (Chapuis-Vandenbogaerde & Gatignol, 2021; Gatignol et al., 2021). Les références aux OMDs dans ce travail se limiteront aux OMDs développementaux et non associés à une condition.

Les éléments précédents ont démontré que le développement des fonctions orofaciales est sous-tendu par des HMO également en développement. Par extension, les NSOMs sont très fréquemment mis en lien direct avec les fonctions orofaciales. Pourtant très peu d'études

ont exploré ce lien. Par exemple, McAllister et Lundeborg Hammarström (2014) ont observé une amélioration des scores des NSOMs à l'aide du NOT-S, tout comme c'est le cas pour la déglutition et la mastication, sans pour autant étudier les liens potentiels entre les trajectoires développementales.

Pour en revenir aux OMDs, aussi bien le NOT-S, le MBGR que l'OMES incluent les NSOMs comme faisant entièrement partie du dépistage et du diagnostic des ODMs. Dans la définition selon Mason (2005) reprise par l'ASHA (n.d.-b), les OMDs seraient même directement lié à un déficit de la « *musculature orale et orofaciale qui interfère avec la croissance, le développement ou la fonction normale des structures orofaciales* ». Mais les études qui investiguent les HMO et les HSO liés aux OMDs sont inconsistantes.

Par exemple, Knösel et al. (2012) n'ont pas trouvé chez les enfants et adolescents respirateurs buccaux de changement moteur de pattern de la déglutition, objectivé par des capteurs comme un contact plus tardif de la langue sur le palais. Par contre, une série d'études menées par Peng et al. (2003, 2004, 2007) a permis de postuler une contraction plus importante du génioglosse chez les sujets avec une déglutition dysfonctionnelle qui favoriserait un contact sur les dents ou entre les arcades dentaires, sans différence dans la durée, la variété et la vitesse des mouvements de langue. Toutefois, les participants des groupes « *déglutition somatique* » étaient nettement et systématiquement plus âgés que ceux des groupes « *déglutition atypique* », ne permettant pas de savoir si les changements seraient le fruit du développement ou d'une réelle différence dans le mode de déglutition. Les enfants avec OMDs auraient un contact moins important de la langue avec le palais, toutefois la langue ne différerait pas en termes de puissance absolue,

mais plutôt en termes de précision (moins importante) et de variabilité (plus importante) lors de tâches endurantes et précises (Rohrbach et al., 2018). Tosello et al. (1999) ont mis en évidence que l'activité électromyographique des lèvres chez la population OMDs était plus importante que les sujets contrôles, au repos, mais aussi en déglutition. Certaines études mettent en évidence des déficits de performance pour les NSOMs (de Mattos, 2018) alors que d'autres ne les trouvent pas (Andrada e Silva et al., 2012). Dans une étude menée chez l'adulte, Prado et al. (2015) ont mis en évidence une corrélation positive entre les DDK et les changements dans la fonction de mastication mesurée par le MBGR, qu'ils estiment peut-être liée à l'équilibre musculaire. Les résultats ont également montré une corrélation entre les DDK et la déglutition : plus le score de cette fonction était altéré et plus la production et sa durée étaient importantes. Des résultats similaires avaient été trouvés chez l'enfant dans une ancienne étude montrant que les résultats aux épreuves de diadococinésies sur syllabes simples étaient significativement corrélés à une ouverture buccale au repos, tandis qu'une posture de langue propulsive au repos et en déglutition était significativement corrélée à de faibles performances aux diadococinésies sur séquences trisyllabiques (Hale et al., 1992).

Cette population présenterait également des difficultés dans l'épreuve de stéréognosie et de discrimination de deux points (Colletti et al., 1976; Premkumar et al., 2011). Dépistés par le Berlin orofacial Screening, les enfants d'âge scolaire présentant un OMD dans l'étude de Bergheim (2019) ne présentaient pas de différence de performance par rapport aux enfants tout-venant à l'épreuve de stéréognosie. Pour les deux groupes, les performances étaient faibles. Par contre, la sensibilité tactile était significativement plus faible chez les enfants

avec OMDs au niveau des lèvres et de la langue. Une revue systématique de la littérature a récemment montré que très peu de données sont disponibles sur les habiletés sensorielles chez les enfants respirateurs buccaux puisque seulement 3 études ont été incluses (De Lima et al., 2019) et une seule concernait les HSO. Aucune conclusion n'a donc pu en être tirée.

#### Synthèse

- Les habiletés somatosensorielles et motrices jouent un rôle crucial dans le développement des fonctions orofaciales non verbales.
- L'OMES est le test évaluant les fonctions orofaciales le plus largement employé dans la littérature, mais il n'existe pas de test adapté et validé pour l'évaluation de la population d'âge préscolaire.
- L'ensemble des tests existant incluent les mouvements volontaires orofaciaux comme partie intégrante de cette évaluation.
- Peu de données sont disponibles sur la relation potentielle entre mouvements volontaires orofaciaux, des mesures de sensibilité tactile et les fonctions orofaciales non verbales.



## **Chapitre 4.**

# **L'hypothèse d'une interaction entre le développement de la parole et le développement myofonctionnel orofacial**

En clinique, il est très souvent postulé que la parole se développe en étroite et directe relation avec le développement des fonctions orofaciales non liées à la parole (Coquet, 2017; Couly, 2017). De toute évidence, la parole, la respiration, la déglutition et la mastication partagent une anatomophysiologie commune (McFarland, 2022) dont il a été question au Chapitre 1. Cependant, les données neurologiques, pathologiques et expérimentales comportent des éléments en faveur et en défaveur dans ce débat. En effet, cette affirmation naît d'une hypothèse qui est très loin de faire l'unanimité auprès des chercheurs. Ce chapitre fait état du nombre limité de données dont nous disposons pour prétendre à un lien direct entre le développement de la parole et le développement myofonctionnel orofacial. Il introduit la problématique autour de laquelle se centrent les objectifs de ce travail de thèse.

### **4.1. Données neurologiques**

En 1998, MacNeilage publie « The frame/content theory of evolution of speech production », fruit de plusieurs années de réflexion et de publications autour de l'évolution de la parole humaine. Selon cette théorie, le nourrisson développerait des gestes moteurs qui forment les « cadres » qui sont par la suite associés avec les sons de la parole, le « contenu » (MacNeilage et al., 2000; MacNeilage & Davis, 1990).

Ces cadres résulteraient d'oscillations rythmiques de la mâchoire issues de la succion et de la mastication (MacNeilage, 1998). On peut alors en inférer que les connexions neuronales développées par la mastication et la succion par exemple seraient engagées pour l'émergence du contrôle moteur de la parole. Les fonctions orofaciales sont dirigées par le Central Pattern Generator (CPG), un circuit de neurones chargé du contrôle moteur semi-automatique de la mâchoire, de la langue et des muscles de la face (Barlow, Lund, Estep, & Kolta, 2010; Barlow, & Estep, 2006). Le CPG reçoit les informations somatosensorielles des lèvres, des muscles et de la muqueuse orale et les informations motrices des mâchoires de la langue et des muscles du visage. Il est actif tout au long de la vie, mais continuellement modulé par la physiologie changeante et, selon Barlow et al. (2010), par les exigences spécifiques de la vocalisation et de la parole. Il pourrait donc être un centre de contrôle moteur qui chapeauterait les fonctions orofaciales liées ou non à la parole (Lund & Kolta, 2006). Dubner et ses co-auteurs affirmaient déjà en 1978 (p.1) : « Malgré l'organisation différentielle des divers nerfs crâniens, ils fonctionnent souvent en harmonie lors de fonctions sensorielles et motrices complexes telles que la mastication, la déglutition, la respiration et la parole ».

Cette vision intégrative a certes reçu du soutien (ex. Ballard et al., 2003), mais a aussi été vivement critiquée dès le départ (Ingram & Ingram, 2011; Jürgens, 1998). Au contraire, d'autres auteurs ont suggéré que les systèmes de contrôle moteur sont complètement distincts (ex. Ziegler, 2003a, 2003b). En réalité, les données expérimentales sur l'enfant tout-venant et pathologique décrites ci-après supportent les deux théories, laissant penser que les fonctions orofaciales, qu'elles soient liées ou non à la parole, partagent un

contrôle neuromoteur commun, mais avec un fonctionnement spécifique pour chaque tâche (Lancheros et al., 2020; Lof, 2003; Smith, 2010), voire de plusieurs variantes de systèmes moteurs qui s'exprimeraient différemment en fonction des tâches (Whalen, 2019).

## **4.2. Données expérimentales dans le développement typique**

Plusieurs études expérimentales ont mis à l'épreuve la théorie du frame/content. Parmi celles-ci, Moore et ses collègues ont longuement étudié les mouvements de la mâchoire et des lèvres chez les jeunes enfants sur la base de données cinématiques et électromyographiques. Par exemple, les auteurs ont comparé la coordination des mouvements de la mandibule lors de la parole spontanée, lors du babillage, lors de la mastication et lors de la succion chez des enfants de 15 mois (Moore & Ruark, 1996). Les mêmes techniques ont été répliquées pour les mouvements des lèvres chez les enfants de 2 ans (Ruark & Moore, 1997). Selon les auteurs, les résultats vont à l'encontre de toute idée selon laquelle la production de mot émergerait ou même impliquerait d'autres mécanismes de coordination motrice. Les résultats ont été répliqués de nombreuses fois avec des méthodologies quasi identiques (Steeve, 2010; Steeve & Moore, 2009). Moore et al. (1988) suggèrent que les mouvements musculaires de la mastication sont optimisés pour une force musculaire adéquate tandis que les mouvements dans la parole sont optimisés pour une rapidité et une coordination propre à la parole. Green et al. (1997) estiment que la coordination des mouvements de mastication est trop stable que pour expliquer les variabilités de la coordination motrice de la parole. Connaghan et al. (2004) ont quant à eux étudié le développement des mouvements liés à la respiration

de 4 enfants de 9 à 48 mois. Pour les auteurs, les mouvements de respiration diffèrent grandement lors de la vocalisation par rapport à la respiration au repos, répliquant d'autres études (Moore et al., 2001).

Toutefois, il se pourrait que d'autres méthodologies mettent en évidence une relation entre les fonctions orofaciales et la parole. Certaines études vont en effet à l'encontre de cette série de résultats. Dans cadre d'une thèse de doctorat (Lemarchand, 2018), les trajectoires développementales ont été observées chez 14 enfants francophones entre 8 et 14 mois à l'aide d'une méthodologie extrêmement précise et minutieuse basée à la fois sur des informations cliniques et expérimentales. Les résultats suggèrent une amélioration globale des HMO au cours du développement, mais surtout que le type de texture auquel l'enfant est exposé lors de la fonction de mastication influencerait le développement des productions syllabiques lors du babillage. L'étude menée par Vick et al. (2012) évoquée dans le Chapitre 2 montre également que les déplacements de la mandibule durant la mastication ne seraient certes pas identiques à ceux de la parole, mais seraient une variable significative dans la différenciation des clusters d'enfants présentant des variabilités au sein du développement typique. Les déplacements maximums durant la mastication permettraient en particulier de différencier le groupe avec de faibles performances phonémiques des deux autres groupes. Les auteurs notent que les groupes présentaient des variabilités de coordination motrice qui n'étaient pas spécifiques à la production de la parole et affirment que la variabilité entre les groupes ne peut pas être expliquée sans l'implication des HMO. Hiiemae & Palmer (2003) ont, à l'aide de modélisation de la langue, montré qu'il existe de claires différences spatiales dans l'utilisation de la mâchoire et de la langue dans l'alimentation et la parole.

Notamment, il existe plus de variabilité pour la mastication que pour la parole, et moins de contact entre la langue et le palais ainsi qu'une plus petite amplitude des mouvements de la mandibule lors de la parole. Néanmoins, les auteurs précisent que « *il est clair que de nombreuses formes adoptées par la langue lors de la parole se retrouvent dans l'alimentation* » (p.413), ce qui suggère selon eux que les mouvements de la langue utilisés dans l'alimentation sont une matrice pour la parole.

Certains auteurs ont fait des revues narratives de ces données pour tenter de clore le débat. Celles-ci tantôt concluent l'absence totale et univoque de lien (Rvachew & Brosseau-Lapr , 2018; Wilson et al., 2008) ou tantôt présentent une vision davantage nuanc e appuyant l'hypothèse d'un contrôle moteur commun (Smith, 2010). La plupart des données qui vont dans le sens d'un lien direct sont plutôt des études à visée clinique, bas es sur des données pathologiques.

### **4.3. Données pathologiques**

L'idée que les HMO et les HSO seraient sous-jacentes aux fonctions de parole et non verbales laissent la possibilité d'envisager le lien dans les deux sens entre les TDSP et les OMDs.

Récemment, Mogren et al. ont étudié la présence d'OMDs chez les enfants avec TDSP. Dans une première étude (2020), 61 enfants avec un TDSP persistant au-delà de 6 ans ont été évalués à l'aide de NOT-S. Les auteurs ont mis en évidence une corrélation entre le PCC et le NOT-S. Il est important de noter que le NOT-S inclut l'évaluation de la parole, qui serait peut-être à l'origine de la corrélation. Outre la parole, les difficultés concernaient principalement les fonctions de déglutition et de mastication ainsi que les NSOMs. Par contre, la corrélation avec l'Intelligibility in Context Scale ne s'est pas av r e

significative. Dans une seconde étude (2022) les auteurs ont comparé ce même échantillon à un groupe présentant un développement typique de la parole pour confirmer la présence de déficit fonctionnel chez les enfants avec un TDSP persistant. Toutefois de nombreuses limites méthodologiques sont à considérer. Dans une étude (Kravanja et al., 2018) concernant des enfants entre 3 et 7 ans présentant un TDSP, les auteurs ont retrouvé plus fréquemment une posture altérée de la langue au repos que les enfants sans trouble et les deux variables présentent une forte association. Cependant, aucune indication sur l'évaluation de la parole n'est prodiguée dans l'article. Cette association avait déjà été évoquée dans une étude de Wadsworth et Maul (1998). Sur 200 enfants suivis dans une clinique logopédique/orthophonique, 94 enfants âgés entre 5 et 12 ans étaient suivis pour un TDSP isolé. Chez ces enfants, un mode de déglutition dysfonctionnelle a été décelé dans 55.3% et une posture altérée de la langue dans 59.6% des cas. Les auteurs ont trouvé une association significative entre une position bouche ouverte, une modification de la posture linguale, une déglutition dysfonctionnelle et des distorsions particulièrement sur les phonèmes /s/, /z/, /t/ et /d/. Les résultats de ces études, mais également d'autres études plus anciennes (Ettala-Ylitalo & Laine, 1991; Laine et al., 1992) semblent confirmer l'hypothèse selon laquelle les TDSP et les OMDs pourraient co-exister. Selon Billings et al. (2018, p.1), les OMDs peuvent provoquer un TDSP qui « *résulte d'un mauvais placement oral et d'un développement musculaire inapproprié* ».

La relation dans le sens inverse a aussi été envisagée (Thijs et al., 2022). Par exemple, plusieurs études laissent à penser que les enfants présentant un mode de ventilation altéré, c'est-à-dire une respiration buccale prédominante, seraient à risque de présenter des

troubles de la parole associés (Borox et al., 2018; Hitos et al., 2013; Junqueira et al., 2010; Monteiro et al., 2009) malheureusement la grande majorité des études présente une méthodologie discutable, comme l'absence de groupe contrôle. D'ailleurs, la définition des OMDs engage souvent l'existence des troubles de la parole coexistants (ASHA, n.d.-b; Billings et al., 2018; Merkel-Walsh, 2020) et l'évaluation de la parole est incluse dans le diagnostic des OMDs (de Felício & Ferreira, 2008; Marchesan et al., 2012).

#### Synthèse

- Il existe un grand débat sur la relation potentielle que pourraient entretenir les fonctions orofaciales non verbales et la parole.
- Les données neurologiques, expérimentales et cliniques alimentent ce débat.

# **PARTIE EXPÉRIMENTALE**



## **Objectifs généraux**

L'introduction théorique nous a permis de passer en revue l'importance du développement des habiletés somatosensorielles et motrices dans le développement de la parole d'une part, et dans le développement des fonctions orofaciales non verbales d'autre part. Nous avons également vu que certains auteurs postulent l'existence d'un lien entre les fonctions orofaciales non verbales et la parole sur base de données neurologiques, expérimentales et cliniques. Cependant, l'existence d'un tel lien est controversée. À ce jour, nous disposons de très peu de données longitudinales nous permettant d'argumenter en faveur ou en défaveur de cette hypothèse. En outre, la plupart des données sont issues de la pathologie. Il est donc nécessaire d'explorer ces processus chez l'enfant tout-venant au cours de son développement. La thématique de cette thèse s'inscrit donc au cœur du débat évoqué au début du Chapitre 4. L'objectif principal de ce projet de recherche est donc d'explorer l'interaction potentielle entre le développement de la parole et le développement des fonctions orofaciales non verbales chez les enfants présentant un développement typique. Néanmoins, pour répondre à cette question, nous avons vu qu'il est nécessaire d'apporter davantage d'informations sur le développement de la parole francophone. Dans l'étude 1, nous avons ainsi évalué les performances des enfants de 3 ans. Grâce à cela, nous avons pu poser les bases nécessaires à l'exploration des trajectoires développementales de la parole entre 3 et 5 ans menée dans l'étude 2. Cette dernière nous a également permis de décrire les trajectoires développementales des habiletés motrices orofaciales ainsi que le développement myofonctionnel, ce

qui à notre connaissance n'avait pas encore été investigué longitudinalement. Pour ne pas trop complexifier les modèles, nous n'avons pas intégré les habiletés somatosensorielles dans cette étude et les avons ajoutées dans un complément à l'étude 2. Une fois ces bases posées, nous avons pu confronter l'hypothèse selon laquelle il existerait des habiletés somatosensorielles et motrices sous-jacentes aux fonctions de respiration, mastication et déglutition qui pourraient être exploitées pour la parole (Ballard et al., 2003; Haggard & de Boer, 2014; Lund & Kolta, 2006; Sampallo-Pedroza et al., 2014). Nous avons donc émis l'hypothèse d'un lien indirect entre le développement des fonctions orofaciales non verbales et de la parole, médié par certaines habiletés somatosensorielles et motrices communes.

En répondant à cette question de recherche, nous avons été confrontée à une grande composante subjective dans l'analyse des fonctions orofaciales, ce qui s'est avéré particulièrement vrai pour le choix du mode de respiration. L'objectif secondaire de ce projet de thèse a donc été de déterminer les critères pertinents pour déterminer le mode de respiration des enfants d'âge préscolaire.

## **Aperçu des études**

### Étude 1

#### *Objectifs*

L'objectif de l'étude 1 est d'explorer les performances de précision consonantique de la parole francophone à la lumière des caractéristiques des mots cibles qui sont connues pour avoir une influence sur la production de la parole.

## *Participants*

Hors d'un échantillon de 64 enfants âgés de 3 ans, 34 enfants au développement typique ont été sélectionnés sur base de leurs caractéristiques anamnestiques (données récoltées tous les 6 mois dont la liste est disponible en Annexe 2), d'un test auditif, d'une mesure de QI non verbal et d'une mesure de vocabulaire en réception.

## *Mesures*

Une version raccourcie de la tâche de dénomination d'images du projet EULALIES (Meloni et al., 2017) a été proposée. Les mesures de PCC et de WWP en ont été extraites et ont été investiguées au regard de la condition de production (spontané vs imité), de la longueur du mot (en nombre de syllabes), de la complexité des syllabes (singleton vs groupe consonantique) et de la complexité positionnelle (onset vs coda).

## Étude 2

### *Objectifs*

Le premier objectif de l'étude 2 est de décrire les trajectoires développementales typiques de la précision de la parole, des fonctions orofaciales non verbales et des habiletés motrices orales. Le second objectif est de déterminer si les habiletés motrices orales sont un mécanisme commun sous-jacent à la parole et aux fonctions de respiration, déglutition et mastication.

### *Participants*

Parmi les enfants de l'étude 1, deux enfants ont été exclus de l'échantillon sur base du questionnaire anamnestique. Au total, 32 enfants tout-venant ont été suivis de 3 à 5 ans.

### *Mesures*

L'évaluation de la précision consonantique repose sur les mêmes mesures que l'étude 1. Les fonctions orofaciales non verbales ont été évaluées à l'aide de la partie « fonctions » de l'OMES, les mouvements volontaires orofaciaux non verbaux ont été évalués avec la partie « mobilité » de l'OMES et une épreuve de diadococinésies syllabiques a été proposée pour évaluer la coordination motrice.

### Complément à l'étude 2

#### *Objectifs*

L'objectif de ce complément est de décrire la trajectoire développementale des habiletés somatosensorielles et de déterminer si celles-ci pourraient être un mécanisme commun sous-jacent à la parole et aux fonctions de respiration, déglutition et mastication.

#### *Participants*

L'échantillon est identique à l'étude 2.

#### *Mesures*

L'évaluation de la précision consonantique et des fonctions orofaciales non verbales repose sur les mêmes mesures que l'étude 1. Les

habiletés somatosensorielles tactiles fines ont été évaluées grâce à un disque de discrimination de deux points et aux monofilaments de toucher léger.

### Étude 3

#### *Objectifs*

L'objectif de l'étude 3 est d'identifier les critères pertinents dans le choix du mode de respiration dans le cadre de l'évaluation myofonctionnelle en logopédie. Sur cette base, le second objectif a été de créer une grille clinique incluant les critères révélés comme pertinents. Ces objectifs ont tous été intégrés au sein d'un mémoire que nous avons supervisé (Piron, 2021).

#### *Participants*

Les participants ont été sélectionnés soit pour la pertinence de leurs publications d'articles scientifiques sur la respiration buccale ou de leurs présentations orales à ce sujet dans des congrès internationaux, soit pour avoir été superviseurs de stage, instructeurs ou enseignants dans le domaine. Seuls les logopèdes/orthophonistes ont été inclus.

#### *Mesures*

L'étude a été menée en trois étapes via des questionnaires en ligne visant à établir un consensus sur les contextes cliniques d'observation du mode de respiration, sur les conditions au sein de ces contextes, des critères à observer et des signes relatifs aux différents modes de respiration.

## Étude 4

### *Objectifs*

L'objectif de l'étude 4 est de vérifier si les modes de respiration et les critères établis lors de l'étude 3 sont cohérents avec une mesure objective du mode de respiration, mais également si la grille créée respecte des propriétés psychométriques satisfaisantes pour déterminer le mode de respiration d'enfants d'âge préscolaire.

### *Participants*

Un total de 133 enfants âgés de 3 à 6 ans ne présentant aucune anomalie craniofaciale, pulmonaire, neurologique, cardiaque ou syndromique ont été inclus dans les analyses.

### *Mesures*

La grille établie durant l'étude 3 a été proposée aux enfants et a été comparée aux mesures objectives d'expiration de CO<sub>2</sub> mesurées grâce à un capteur placé au niveau de la bouche.

## Etude 1.

# Exploring word production in three-year-old monolingual French-speaking children

**Morgane Warnier<sup>a\*</sup>, Christelle Maillart<sup>a</sup>, Yvan Rose<sup>b</sup>, and Andrea A.N. MacLeod<sup>c</sup>**

*<sup>a</sup>Département de Logopédie, Université de Liège, Liège, Belgique;*

*<sup>b</sup>Department of Linguistics, Memorial University, St. John's, Canada;*

*<sup>c</sup>Communication Sciences & Disorders Department, University of Alberta, Edmonton, Canada*

### **Citation**

Warnier, M., Maillart, C., Rose, Y., & MacLeod, A. A. N. (2022). Exploring word production in three-year-old monolingual French-speaking children. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 1–19. <https://doi.org/10.1080/02699206.2022.2092424>

### **Acknowledgment**

The authors would like to thank the many children, parents, teachers and principals for their participation and support. They would also like to give special thanks to Fanny Dieu and all the speech-language therapy students who helped in data collection, phonetic transcription or data-coding. They acknowledge statistical advice from Vincent Didone. Finally, they extend their gratitude to Geneviève Meloni for providing an adapted version of the picture naming task in EULALIES.

## **Data availability statement**

Data underlying the study will be available on <https://phon.talkbank.org> in the French corpora.

## **Abstract**

There is a general need for more knowledge on the development of French phonology, and little information is currently available for typically developing French-speaking three-year-old children. This study took place in Belgium and explores the accuracy of speech production of 34 typically developing French-speaking children using a picture naming task. Measures of speech accuracy revealed lower performance than previously seen in the literature. We investigated speech accuracy across different phonological contexts in light of characteristics of target words that are known to have an influence on speech production, namely the condition of production (spontaneous vs. imitated), the length of the word (in number of syllables), syllable complexity (singleton vs. cluster) and positional complexity (onset vs. coda). Results indicate that the accuracy of words produced spontaneously did not differ from imitated words. The presence of consonant clusters in the target word was associated with lower performance on measures of Percentage of Consonants Correct and Whole Word Proximity for both 1- and 4-syllable words. Singleton codas were produced less accurately than onsets in 1-syllable words. Word-internal singleton codas were produced less accurately than final codas. In our sample, 1-syllable words showed surprisingly low levels of performance which we can explain by an over-representation of phonologically



complex properties in the target words used in the present study. These results highlight the importance of assessing various aspects of phonological complexity in French speech tasks in order to detect developmental errors in typically developing children and, ultimately, help identify children with speech sound disorders.

## **Background**

Few studies have reported on speech development in French-speaking<sup>4</sup> children, and French speech production continues to be assessed in light of normative studies based on English (Brosseau-Lapré et al., 2018). This practice is especially questionable given that phonological characteristics of the two languages differ in terms of the number and nature of the speech sounds present in these two languages, in addition to prosodic factors such as syllable structure and stress (Brosseau-Lapré et al., 2018; MacLeod et al., 2014; Rvachew et al., 2013). Limited data not only hinder the understanding of speech sound disorders (SSD) in French-speaking children, they limit our ability to study children’s phonological development cross-linguistically. In the past, a few studies consisting mainly of case studies have provided a starting point for understanding speech production in French-speaking children (Aicart-De Falco & Vion, 1987; Demuth & McCullough, 2009; Dos Santos, 2007; Maillart & Parisse, 2006; Rose, 2000, 2003; Vinter, 2001; Yamaguchi, 2012). During the last 10 years, Canadian researchers have brought a significant contribution to the knowledge of typical Canadian-French speech

---

<sup>4</sup> For a comprehensive overview of the adult phonological system in French and its differences with English phonology, see Bérubé et al. (2013), Macleod et al. (2011), Rose & Wauquier-Gravelines (2007) and Rvachew et al. (2013)

development (Bérubé et al., 2020; Brosseau-Lapré, 2013; MacLeod et al., 2011; Rvachew et al., 2013). More recently, studies have provided additional observations on phonological and phonetic development in French, also in connection to lexical development and bilingualism (Kehoe et al., 2021; Kehoe & Havy, 2019; Kehoe & Cretton, 2021; Kehoe & Girardier, 2020).

An understanding of typical speech production development is crucial to the early identification of children with atypical speech development. Early identification often involves comparing children with reduced intelligibility to typically developing peers (Rvachew et al., 2013; Sylvestre et al., 2020). Achieving accurate and consistent production of speech sounds is a progressive process that begins first with babble and extends well into adolescence (Glaspey et al., 2022; Rvachew & Brosseau-Lapré, 2018). Speech by three-year-olds is particularly prone to variability (Kehoe & Cretton, 2021; MacLeod, 2019) and displays errors that are considered to be part of typical development (Brosseau-Lapré et al., 2018; McLeod & Crowe, 2018). This period is also a key age at which parents start to consult with speech-language therapists (Wankoff, 2011). Hence the need to study this key age group.

Concerning the analysis of children's productions, most metrics consider the adult productions as the perceptual referent. The Whole Word Proximity (WWP) measure considers both the phonological mean length of utterance (PMLU) and the accuracy of consonants as produced by the child compared to an adult target (Ingram, 2002). By taking into account the complexity of the adult target, this measure goes beyond segmental measures to explain variability. Specifically, WWP attributes a point to each phoneme the child has produced and an additional point to the correct production of each consonant. The

child's production is then compared to the adult target to obtain a percentage. In contrast, the Percentage of Consonants Correct (PCC) is a measure used in both research and clinical contexts to provide information on the perceived accuracy of consonants (Shriberg et al., 1997). It is based on a traditional segmental perspective, irrespective of word characteristics or inherent complexity. Specifically, each correctly produced consonant is attributed a point, and the child's production is compared to the adult target. WWP and PCC offer different outlooks on speech production, so these measures complement each another.

### ***Phonological factors influencing accuracy in French development***

To our knowledge, five published studies (listed in Table 1) document the accuracy of speech production in three-year-old typically developing monolingual French-speaking children. These studies included between 6 and 99 children from this age group and relied on picture naming tasks to elicit between 20 and 111 words. The tasks however differ between studies concerning the proportion of words of different lengths, or the types of syllable structures that these words present. Due to this variability across the tasks, a careful analysis of factors that influence speech accuracy should shed light on early speech development within this age group. This is consistent with the general observation that error patterns in developmental speech production should be assessed based on a variety of complexity characteristics (Bérubé et al., 2020). Exploring the phonological properties of words in their various combinations thus provides a sound foundation to better understand developmental speech patterns. The inclusion of words combining different levels of

complexity help avoid ceiling effects in typical speech assessments. According to non-linear models of phonology, segmental and prosodic characteristics of word forms are organized in a hierarchical fashion and interact with one another, which can yield combined effects of complexity (Brosseau-Lapré et al., 2018). In the following paragraphs, we review how accuracy in young children is influenced by imitation, word length, syllable complexity and positional complexity.

**Table 1.**

*Studies on French-speaking 3-year-old children and characteristics of words used for assessment*

| Authors  | MacLeod et al., 2011 | Sylvestre et al., 2020 | B rubb e et al., 2020 | Kehoe & Girardier, 2020 | Kehoe et al., 2021 |
|--|----------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------|
| Age (months)   | 36 to 41             | 36                     | 36 to 47              | 35 to 47                | 35 to 47           |
| Monolingual participants                               | 25                   | 99                     | 6                     | 7                       | 8                  |
| Test's name  | ESPP                 | ESPP                   | TPFC                  | /                       | DRAP               |
| Number of words  | 40                   | 40                     | 111                   | 78                      | 20                 |
| Percentage of 1-syllable words                         | 42                   | 42                     | 44                    | 42                      | 65                 |
| Percentage of 2-syllable words                         | 50                   | 50                     | 41                    | 44                      | 25                 |
| Percentage of 3-syllable words                         | 8                    | 8                      | 14                    | 12                      | 10                 |
| Percentage of 4-syllable words                         | 0                    | 0                      | 1                     | 1                       | 0                  |
| Percentage of words including tautosyllabic cluster(s) | 18                   | 18                     | 23                    | 32                      | 55                 |
| Percentage of syllables including singleton coda       | 39                   | 39                     | 37                    | 40                      | 48                 |
| · Word-final coda                                      | 35                   | 35                     | 33                    | 35                      | 38                 |
| · Word-internal coda                                   | 5                    | 5                      | 5                     | 7                       | 10                 |
| PCC ( <i>M - SD</i> )                                  | 87.8 - 7.7           | 78.4 - 13.4            | -                     | 92.3 - 5.6              | 85.2 - 11.6        |
| WWP ( <i>M - SD</i> )                                  | 94.5 - 3.7           | -                      | -                     | -                       | -                  |

First, irrespective of the particular characteristics of word forms, accuracy in speech production can be influenced by the condition of production, specifically whether the word is produced spontaneously or in imitation. Imitation has been hypothesized to artificially improve accurate production by correcting unstable representation, thanks to the provision of an adult model (MacLeod et al., 2011). The scoring of

some picture naming tasks in French even take this factor into consideration (Chevrie-Müller & Plaza, 2001). However, this effect is not observed consistently (Goldstein et al., 2004) and recent data on French yielded no significant difference between spontaneous and imitated productions (Kehoe & Havy, 2019).

Moving to phonological characteristics at the word level, the number of syllables (word length) is thought to influence speech accuracy (Masso et al., 2016, 2017). The inclusion of polysyllabic words (understood as words of three or more syllables) is centrally relevant to speech assessment protocols, not only for the differential diagnosis and the profiling of SSD (Meloni et al., 2020), but also given that these words are more likely to elicit speech errors and reveal issues in phonological representations (Mason et al., 2015). Bérubé et al. (2020) indeed revealed a significant interaction between word length and accuracy on singleton consonants in the speech of children at risk of SSD, but failed to show a similar effect in typically developing children. This latter result may in fact relate to the issue that children are typically not assessed based on polysyllabic word forms; words of 4-syllables have traditionally been poorly represented in French speech assessments, even though these words are relatively common within the language (Bérubé et al., 2020; MacLeod et al., 2011). As it can be seen in Table 1, this is especially true of 4-syllable words. The underrepresentation of polysyllabic words in French picture naming assessment could also be one of the reasons why high PCC scores were obtained by the children aged four and half studied by MacLeod et al. (2011).

In addition to word length, factors related to syllable structure may influence speech accuracy. The presence of a consonant cluster in the target word in French is a well-known challenge (MacLeod et al.,

2011; Kehoe 2021), especially in word-final position (Demuth & McCullough, 2009; MacLeod et al., 2011). More generally, consonants in syllable codas are particularly prone to errors. Codas are thought to involve more phonological complexity, or be more marked, than onsets. Further, word-internal codas appear to be particularly challenging, as they tend to be acquired later than similar codas in word-final position in French (Rose, 2000). This observation is also in line with the argument that word-final codas in French can be syllabified as syllable onsets (Rose, 2003, for a review of the arguments). Syllable complexity can add up between levels of representations, especially in polysyllabic words, which remain a challenge even for older children (Rvachew et al., 2013). Accuracy of codas production in French might indeed be influenced by word length (Hilaire-Debove & Kehoe, 2004).

In sum, speech patterns displayed by typically developing French-speaking are still relatively under-documented. Current studies generally under-represent words with high levels of phonological complexity (e.g. 4-syllable words with consonant clusters and/or syllable codas). Yet, we know that different areas of phonological complexity may conspire to yield error patterns in developmental speech productions (Bérubé et al., 2020). A task that does incorporate different elements of phonological complexity should thus offer more compelling grounds for our understanding of phonological development in French-speaking children (Bérubé & Macleod, 2022).

### **Current research**

The present study aimed to describe the accuracy of consonant production in typically developing three-year-old children who are monolingual speakers of French. Their consonant accuracy was

measured through PCC and WWP based on speech from a picture naming task designed for clinical applications. We interpreted our results in light of different markers of phonological complexity as well as the possible combination of complexity effects, as per the following hypotheses:

- (1) Condition of production: PCC and WWP scores should be higher for imitated words than for words that are produced spontaneously by the children (MacLeod et al., 2011).
- (2) Word length: PCC and WWP should be lower for polysyllabic words as compared to mono- and bisyllabic words (Mason et al., 2015).
- (3) Syllable complexity: PCC and WWP scores should be lower for words that contain tautosyllabic consonant clusters (MacLeod et al., 2011; Kehoe 2021) as compared to words that contain only singleton consonants.
- (4) Positional complexity: the percentage of singleton codas correct (PCoC) should be lower than the percentage of singleton onsets correct (POC) (Kehoe, 2021). Specifically, word-internal codas are predicted to be less accurately produced than word-final codas (Rose, 2000).
- (5) Combination of complexity: PCC and WWP scores should be lower in words combining at least two complexity factors (previously revealed by our results) as compared to words containing no or only one complexity factor.

## **Methods**

The research was approved by the Research Ethics Committee at the University of Liège, Belgium (protocol B707201940403). All

participants were part of a larger longitudinal research project aiming at studying the potential link between orofacial myofunctional development and speech development in children from 3 years to 5 years old. This present study focuses on the first data collection on speech, but includes information from the longitudinal study.

### ***Participants***

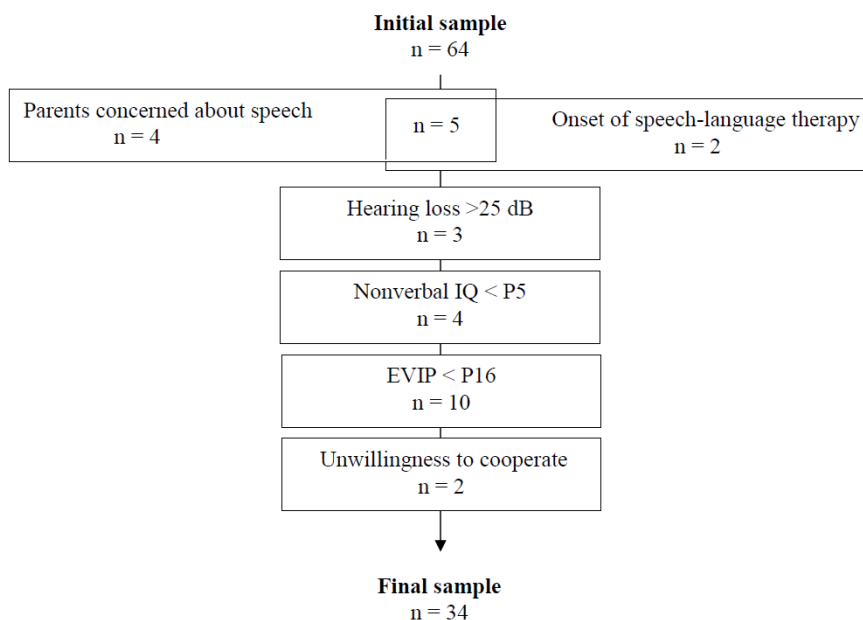
All children were recruited from 27 regular schools in the Liège area, Wallonia, Belgium. Parents returned consent forms and background questionnaires when they agreed to their child's participation. As shown in Figure 1, 34 typically developing French-speaking Belgian children were included in the analysis from an initial sample of 64 children. Children in the study mostly came from families with high levels of maternal education (median of 2), ranging from 1 to 5 on a scale of 1 to 7 (Genoud, 2011). The sample included 18 girls and 16 boys aged 35 to 39 months (mean 37.29 +/- 1.19). Only children speaking exclusively French at home were included in the current set. To exclude atypical development, information from the larger longitudinal study was considered, which included parental questionnaires collected every six months between 3 and 4; 6 years of age; children were retroactively excluded when parents expressed concerns about language or speech development (n = 9), or if the children had already begun speech-language therapy (n = 7). Children who failed the hearing screening with a threshold at 25 dB were excluded (n = 3). Lastly, children were excluded if they obtained a nonverbal intelligence below the normal range (< P5) measured at 4;6 years old through the nonverbal Wechsler (Wechsler & Naglieri, 2006) (n = 4) or a low standardized score on the receptive vocabulary task "Échelle de Vocabulaire en Images de Peabody" (Dunn et al., 1993)



(< P15), following Sylvestre et al. (2020).

### Figure 1.

*Flowchart describing selection of study sample*



### **Stimuli**

EULALIES is a battery for phonological assessment which includes a picture naming task (Meloni et al., 2017). We used a version of this task adapted for young children. This adaptation included 43 words, which provided an opportunity to produce all French phonemes across all positions (listed in Appendix 1). We chose EULALIES because the stimulus set includes a diverse range of inherent complexities, providing a representative overview of the developmental trajectory of speech which addresses limitations such as ceiling effect found in other tasks (MacLeod et al., 2011). Indeed, the stimulus set includes words of three and four syllables, and eleven consonant clusters present across words of different lengths. In addition, EULALIES is a

clinically appropriate task consisting mainly of words (36 out of 43) that can be found in the *Développement du langage de production en français (DLPF) version 3 (31–36 mois)* (Bassano et al., 2005). The remaining items were likely to be familiar to three-years-olds, although specific words such as *oreiller* (pillow), *locomotive* (locomotive) and *uniforme* (uniform) often required a model from the experimenter. We summarize the relevant characteristics of the 43 words we used in Table 2.

**Table 2.**

*Characteristics of the words used in the picture naming task EULALIES (adapted version)*

|  | 1-syllable | 2-syllable | 3-syllable | 4-syllable | Total     |
|--|------------|------------|------------|------------|-----------|
| Number of words (% of total words)                             | 13 (30%)   | 12 (30%)   | 12 (26%)   | 6 (14%)    | 43 (100%) |
| Number of words including tautosyllabic cluster (% of words)   | 5 (38%)    | 3 (25%)    | 2 (17%)    | 1 (17%)    | 11 (26%)  |
| Number of syllables including singleton codas (% of syllables) | 8 (62%)    | 7 (29%)    | 5 (14%)    | 8 (33%)    | 28 (29%)  |
| · word-final coda  | 8 (62%)    | 6 (25%)    | 2 (6 %)    | 6 (25%)    | 22 (23%)  |
| · word-internal coda   | -          | 1 (4%)     | 3 (8 %)    | 2 (8 %)    | 6 (6%)    |

### **Task administration**

Speech productions were collected at the children’s schools. Children were tested individually by two native French speakers. Pictures were shown on a computer placed in front of the child and were interspersed with a reinforcer to encourage the child to continue the task. The child was asked to name each picture. If the child did not name a given picture, the experimenter first provided a semantic cue. If the child still did not name the target word, the experimenter gave the first phoneme of the item (phonemic cue). As a last resort, the experimenter gave a model and requested an immediate imitation, e.g. “*Peux-tu répéter:*

*locomotive*" (*Can you repeat: locomotive*). Children's productions were recorded with professional microphone Zoom H4nPro placed at 30 cm from the child. The session took approximately 20 minutes to complete.

### ***Transcriptions***

We used Phon, a software program specifically designed for the analysis of phonological data (Rose & MacWhinney, 2014). The first author (transcriber 1) and a trained Master's student (transcriber 2) who did the data collection were responsible for transcribing the children's productions. A first phase was carried out on 10 sessions considered the most complex to transcribe: these sessions were transcribed independently by the transcribers 1 and 2, and by the last author, then pooled to reach ultimate agreed transcriptions. This first phase allowed us to establish rules for transcribing. After this, transcribers 1 and 2 transcribed all remaining sessions following the same process. The total reliability between the two was over 85%. Transcribers 1 and 2 then pooled the transcriptions to reach consensus on the transcribed forms from which the analyses will be made. To ensure that those ultimate transcriptions were valid, the second author re-transcribed 20% of the sample. Agreement reached 92.91%. Intra-judge reliability was calculated on 20% of the total samples for both transcribers 1 and 2 and reached over 85%.

### ***Analyses***

We used the PCC (Shriberg et al., 1997) and the WWP (Ingram, 2002) to describe global accuracy of consonants within words, whereas PCoC and POC described accuracy of singleton consonant codas and

onsets. Pre-vocalic glides (e.g. *voiture* [vvatur] “car”) were not considered consonants, given that they are arguably syllabified as part of (nuclear) rising diphthongs in French (e.g. Kaye & Lowenstamm 1984) or, in the case of a vocalic hiatus, result from coarticulatory pressures (e.g. *bibliothèque* [biblijotək] “library”). However, syllable-final glides (e.g. *grenouille* [grɛnuj] “frog”) were incorporated in the analysis, given that French does not standardly display falling-sonority diphthongs (Casagrande, 1984), also in line with the relevant clinical literature (Kehoe & Girardier, 2020).

Two-way ANOVAs for repeated measurements (RM) were used for analyses and a square root and Greenhouse-Geisser correction were applied when assumptions were violated. Effect size was determined by partial eta squared, where  $\eta_p^2 = .01$  is considered as a small, .06 as moderate and .14 as large. We performed a Scheffe post-hoc for multiple comparisons. When a RM ANOVA could not fit because of missing data, we used a paired sample student’s t-test. For the last hypothesis, we took words as the independent variable, instead of children, meaning that the compared samples are not considered as dependent anymore. This allowed us to use an independent sample t-test. Statistical analyses were carried out using Jamovi version 1.6.23.

## **Results**

### *Overall results*

Our global results show an average PCC value of 64.98% (SD = 16.49), ranging from 26.66% to 88.63%. Average WWP is 82.38% (SD = 10.53), ranging from 52.37% to 95.82%. A total of 50% of the words were produced spontaneously. For non-spontaneous word

productions, children were first provided with a semantic cue (leading to a production for 6% of the words), then a phonetic cue (leading another 6% of word productions) and, finally, for the remaining 38%, children were asked to imitate the target. Given the small percentage of words produced with cues, we included these words as spontaneous productions in the analyses. However, condition of production (spontaneous, semantic cues, phonetic cues or imitation) could not be incorporated into the ANOVA model because some 4-syllable words were never produced spontaneously. As illustrated in Table 3, student t-test showed no differences between spontaneous and imitated productions for either PCC or WWP performances. In the absence of significant differences, we grouped these categories together for the following analyses.

**Table 3.**

*PCC and WWP performance for spontaneous compared to imitated productions*

| Measure | Spontaneous |       |             | Imitated |       |             | Comparison |    |     |
|---------|-------------|-------|-------------|----------|-------|-------------|------------|----|-----|
|         | Mean        | SD    | Range       | Mean     | SD    | Range       | t          | df | p   |
| PCC     | 65.26       | 19.19 | 13.57-89.88 | 64.29    | 17.69 | 27.14-90.91 | -0.51      | 33 | .62 |
| WWP     | 82.51       | 9.85  | 60.08-95.67 | 82.22    | 12.20 | 44.02-96.30 | -2.79      | 33 | .78 |

Descriptive data for accuracy of production according to word length, syllable complexity and positional complexity are presented in Table 4. Overall, variation based on standard deviation was high across all types of complexity, especially for PCC. Details of performance by word are available in Appendix 2.

**Table 4.**

*Descriptive data for word length, syllable complexity and positional complexity*

| Measures of accuracy based on word     |      |                                       | Mean  | SD    |
|--|------|---------------------------------------|-------|-------|
| Word length                            | PCC  | Words of 1 syllable                   | 61.5  | 18.7  |
|  |      | Words of 2 syllables                  | 71.8  | 16.2  |
|  |      | Words of 3 syllables                  | 71.1  | 16.1  |
|  |      | Words of 4 syllables                  | 59.6  | 18.2  |
|  | WWP  | Words of 1 syllable                   | 82.2  | 10.5  |
|  |      | Words of 2 syllables                  | 87.7  | 8.5   |
|  |      | Words of 3 syllables                  | 86.2  | 10.3  |
|  |      | Words of 4 syllables                  | 75.3  | 13.9  |
| Syllable complexity                    | PCC  | Words including tautosyllabic cluster | 59.3  | 19.8  |
|  |      | Words including only singletons       | 68.7  | 15.5  |
|  | WWP  | Words including tautosyllabic cluster | 77.9  | 13.2  |
|  |      | Words including only singletons       | 85.9  | 8.9   |
| Measures of accuracy based on phonemes |      |                                       | Mean  | SD    |
| Positional complexity                  | PCoC | Singleton coda                        | 55.1  | 22.4  |
|  |      | · Word-final coda                     | 60.36 | 19.63 |
|  |      | · Word-internal coda                  | 41.31 | 28.89 |
|  | POC  | Singleton onset                       | 68.9  | 15.5  |

We explored interactions between word length, syllable complexity and positional complexity through RM ANOVAs below. We present descriptive data in Table 5 and statistical results of main effects and interactions in Table 6.

**Table 5.**

*Descriptive data for syllable complexity and positional complexity according to word length*

| Word length |      | Syllable complexity |      |         |      | Positional complexity |       |
|-------------|------|---------------------|------|---------|------|-----------------------|-------|
|             |      | Singleton           |      | Cluster |      | Coda                  | Onset |
|             |      | PCC                 | WWP  | PCC     | WWP  | PCoc                  | POC   |
| 1-syllable  | Mean | 66.1                | 86.3 | 54.1    | 75.5 | 43.3                  | 68.9  |
|             | SD   | 17.4                | 7.7  | 24.3    | 16.5 | 23                    | 16    |
| 2-syllable  | Mean | 73.7                | 89.5 | 66.2    | 82.1 | 72.3                  | 73.3  |
|             | SD   | 16.8                | 8    | 20.2    | 12.9 | 18.2                  | 15.9  |
| 3-syllable  | Mean | 71.5                | 87.4 | 69.2    | 79.5 | 59.4                  | 73.7  |
|             | SD   | 16.7                | 10.2 | 19.3    | 13.6 | 32.9                  | 16.7  |
| 4-syllable  | Mean | 59.9                | 75.5 | 57.7    | 74.2 | 54.1                  | 63.6  |
|             | SD   | 19                  | 14.3 | 22.2    | 16.3 | 21.5                  | 19    |

**Table 6.***Main effects and interactions of two-way RM ANOVA*

| Effect                | Measures       | F     | df         | <i>p</i> | $\eta_p^2$ |
|-----------------------|----------------|-------|------------|----------|------------|
| Syllable complexity   |                | 18.88 | 1-33       | < .001*  | .36        |
| Word length           | PCC            | 18.95 | 2.27-74.95 | < .001*  | .37        |
| Interaction           |                | 3.13  | 2.52-83    | < .038*  | .09        |
| Positional complexity | PCoC, POC      | 29.54 | 1-33       | < .001*  | .47        |
| Word length           | PCC            | 11.20 | 2.72-89.92 | < .001*  | .25        |
| Interaction           | PCC, PCoC, POC | 6.47  | 2.66-87.87 | < .001*  | .16        |
| Syllable complexity   |                | 48.59 | 1-33       | < .001*  | .60        |
| Word length           | WWP            | 22.54 | 2.19-72.30 | < .001*  | .41        |
| Interaction           |                | 4.79  | 2.40-79.22 | < .004*  | .13        |

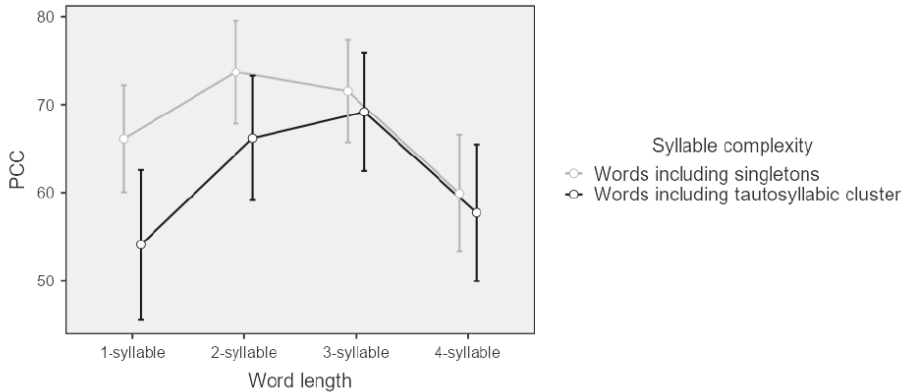
\* Effect statistically significant

*Effects of word length (number of syllables) and syllable complexity (singleton vs cluster)*

The RM ANOVA reveals a large main effect of both syllable complexity and word length, and a moderate but significant interaction (Table 6). Words containing a tautosyllabic consonant cluster had significantly lower PCC than words containing only singleton consonants,  $F(1, 33) = 29.30$ ,  $p < .001$ . The number of syllables present in the word also influenced the PCC,  $F(2.57, 84.69) = 27.3$ ,  $p < .001$ , but the performance on words with 2 and 3 syllables did not differ,  $t(33) = 0.47$ ,  $p_{scheffe} = .97$ , and showed significantly higher scores than 1- and 4-syllable word,  $t(33) = 0.98$ ,  $p_{scheffe} = .81$ . The post-hoc analysis of the interaction effect showed that the syllable complexity effect is only present for 1-syllable words,  $t(33) = 4.54$ ,  $p_{scheffe} = .017$ . The interaction is illustrated in Figure 2.

**Figure 2.**

*Interaction between word length and syllable complexity for speech accuracy*

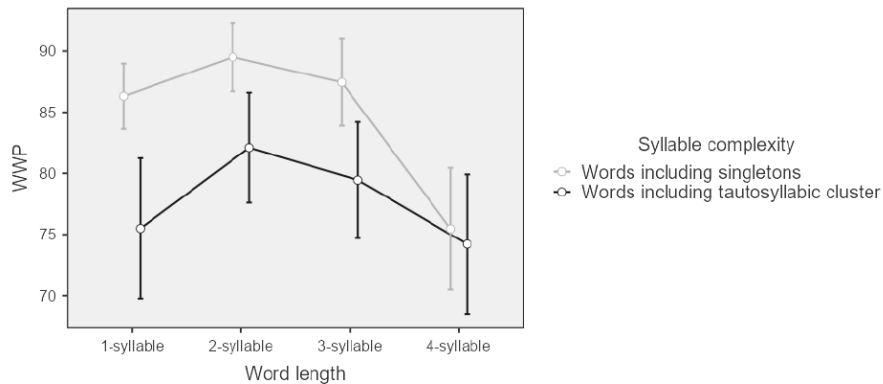


The RM ANOVA analyses on WWP show a main effect of syllable complexity and of word length as well as a significant interaction (Table 6). Our results show analogous results of simple effect compared to PCC for syllable complexity,  $F(1, 33) = 42.50, p < .001$ . Simple effect of word length,  $F(2.14, 70.50) = 39.60, p < .001$ , reveals that 2- and 3-syllable also form a plateau  $t(33) = 1.94, p_{scheffe} = .31$ , but here 1- and 4-syllable words were significantly different  $t(33) = -2.99, p_{scheffe} = .046$ . A post-hoc analysis of the interaction effect shows noticeably different results than with the PCC, as the effect of word length can be seen throughout all categories except for 4-syllable words  $t(33) = 0.72, p_{scheffe} = .99$ , as displayed in Figure 3.



**Figure 3.**

*Interaction between word length and syllable complexity for speech accuracy*

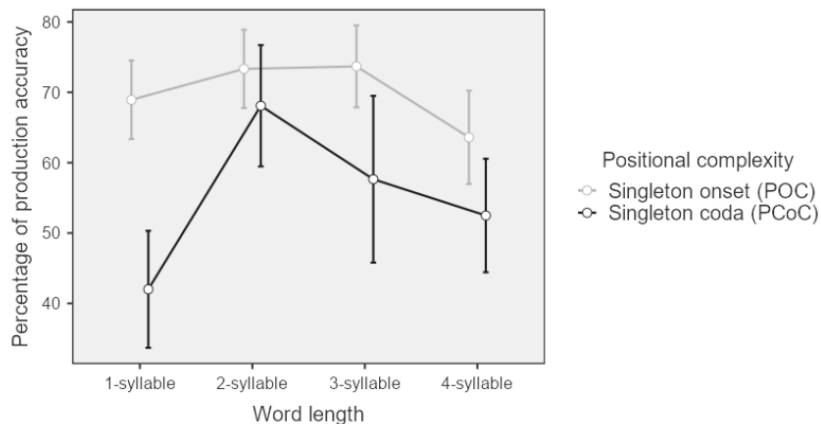


*Effects of word length (number of syllables) and positional complexity (onset vs. coda)*

It was not possible to include this model in the previous analyses because positional analyses of accuracy required segmental analyses, making the word level PCC and WWP measures unsuitable. A main effect was found for both singleton position and word length. The interaction was statistically significant (Table 6). Singleton consonants in syllable codas were less accurate than singleton consonants in onsets  $F(1, 33) = 28.1, p < .001$ . A simple main effect of length,  $F(2.57, 84.69) = 27.3, p < .001$ , showed a similar pattern as above. Post-hoc analysis of the interaction effect revealed that singleton consonants in coda position were less accurate than singleton onsets only for 1-syllable words  $t(33) = 7.50, p_{scheffe} < .001$ , as illustrated in Figure 4.

**Figure 4.**

*Interaction between word length and positional complexity for speech accuracy*



Lastly, the comparison between word-internal and final codas could not fit in the previous model including word length since word-internal codas are not possible in 1-syllable words. The paired sample t-test,  $t(33) = -3.99$ ,  $p < .001$ , shows that word-internal singleton codas are not as accurate ( $M = 40.20$ ,  $SD = 40.02$ ) as final ones ( $M = 60.36$ ,  $SD = 19.63$ ).

#### *Effect of the combination of complexity factors*

Twelve words (see appendix 1) combined more than one complexity factor revealed by our previous results, namely presence of cluster and/or final coda and/or internal coda and/or four syllables. We did not consider 1-syllable words in this analysis (see below). WWP score was significantly lower for words combining complexity factors ( $M = 77.44$ ,  $SD = 6.51$ ) than words with no or one complexity factor ( $M = 86.32$ ,  $SD = 7.21$ ),  $t(41) = 3.72$ ,  $p < .001$ . This was not the case for PCC,  $t(41) = 1.28$ ,  $p = .10$ , for which no differences were found between

combination ( $M = 62.78$ ,  $SD = 11.89$ ) vs. no combination ( $M = 68.33$ ,  $SD = 13.07$ ).

## Discussion

This study aimed to describe consonant accuracy in typically developing three-year old children who were monolingual speakers of French. Consonant accuracy was further investigated in light of issues in phonological complexity. We focused on consonant accuracy according to condition of production (spontaneous vs. imitated), word length (number of syllables), syllable complexity (singleton vs. cluster) and positional complexity (onset vs. coda).

Our results revealed a mean PCC score of 64.98% and a mean WWP score of 82.38%, suggesting lower levels of accuracy than what has been found in previous studies. MacLeod et al. (2011) found a mean PCC of 87.8% ( $SD=7.7$ ) and a mean WWP of 94.5% ( $SD=3.7$ ) with very little variability for children from 36 to 41 months of age. The present study also considered slightly younger, 35-month-old children. In this regard, the results for children aged 30 to 35 month in MacLeod et al.'s original study showed greater variability for the WWP measure which better aligns with our results ( $M=89.3$ ,  $SD=10.8$ ). On the other hand, PCC scores were still much higher in that study than for the current one ( $M=81.5$ ,  $SD=12.7$ ). Kehoe et al. (2021) found a mean PCC of 85.17 with more variability ( $SD 11.64$ ) in a sample of 29 bilingual children. In another study of monolingual children, Kehoe & Girardier (2020) however found near-ceiling results ( $M = 92.3$ ,  $SD = 5.6$ ). Sylvestre et al. (2020), based on a larger sample, obtained results more similar to ours, with a mean PCC of 78.4% ( $SD 13.4$ ) for 99 monolingual Québec French children.

The current study found large inter-individual variability, even in this homogenous sample where gender, SES, audition, receptive vocabulary and nonverbal IQ were taken into consideration. Specifically, PCC ranged from 26.66% to 88.63% and WWP ranged from 52.37% to 95.82%. This reinforces the need to use data elicitation tasks that reduce floor or ceiling effects in order to better reflect the variability in speech development during the most critical developmental periods (Bérubé & Macleod, 2022).

Before exploring the influence of inherent word characteristics on these performances, we first considered the condition of production. The proportion of words which were imitated (38%) is similar to previous research (e.g. 40% of words in MacLeod et al., 2011). Performance on the PCC and the WWP did not differ statistically when words were produced spontaneously (including cues) or when imitated. While some research suggests that imitated words are potentially more accurate (Chevrie-Müller & Plaza, 2001; MacLeod et al., 2011), the present findings align with recent findings that they may not be different than spontaneously produced words (Kehoe & Havy, 2019). Since we have included words produced with cues in the spontaneous group, it decreases the possibility that imitated words are words whose phonological representation is temporarily inaccessible. In that case, the absence of differences between spontaneous and imitated productions could hypothetically be explained by a balanced effect between two very different underlying processes. Imitation may involve a short-term memory effects for words unknown to the child, for which phonological representations are either non-existent or incomplete (e.g. *oreiller* was produced spontaneously in only 8% of cases and showed a score of 75% for PCC and 90% for WWP). In contrast to this, words produced spontaneously or with a cue, even if

not accurate, are likely words known by the child that also involve more complete phonological representations (e.g. *chocolat* was produced spontaneously in 97% of cases and showed a score of 76% for PCC and 92% for WWP). In sum, the absence of difference in the results suggests that speech-language pathologists should consider both spontaneous and imitated productions in their assessment (Goldstein et al., 2004).

Our main analyses revealed, as expected, significant effects of word length, syllable complexity, and positional complexity within the syllable. PCC showed the lowest scores for 1- and 4-syllable words, with significantly higher scores for 2- and 3-syllable words. WWP also showed a plateau for 2- and 3-syllable words. However, 4-syllable words were produced significantly less accurately than 1-syllable words. From the outset, low accuracy for 1-syllable words was unexpected, given previous research on polysyllable words in French (Bérubé et al., 2020; Mason et al., 2015). Several factors may explain these results for 1-syllable words. First, words including tautosyllabic consonant cluster were produced less accurately than words with singleton consonants only. Clusters were more frequent in 1-syllable words than in words of two or more syllables. Second, there was a high prevalence of singleton consonants in coda position in 1-syllable words (i.e. 62% of syllables), while singleton codas were relatively less prominent in words of two or more syllable (i.e. 33% of syllables at the most). In parallel, the process of word-final devoicing also impacted accuracy, even if it was expected given that it is a well-known speech feature of the Liège region in Belgium. However, this process is typically restricted to continuous speech in adults, as opposed to isolated word productions. A very common example would be the adult production [nɛ̃] rather than [nɛ̃ʒ] for the word *neige* (snow) in a

coarticulated context, but not when the word is produced in isolation. This observation supports the hypothesis that children extract information from continuous adult speech of perceptual exemplars that will become more precise later in development (McAllister Byun et al., 2016; Menn et al., 2012; Redford, 2019). The group of 1-syllable words used in our study thus incorporated a number of pitfalls, such as clusters and codas, which did not occur as prominently in the longer words. Lower performance on 1-syllable words can thus be attributed to a task effect.

None of these explanations, however, can be extended to the lower accuracy scores obtained from 4-syllable words. These longer words were significantly less accurate than the 2- and 3-syllable words, although no effects of syllable complexity and positional complexity were present in 4-syllable words. The challenge of producing longer words may therefore underlie a true developmental effect (Bérubé & Macleod, 2022; Mason et al., 2015). These are preliminary results and it is important to highlight the need for both a replication of our results and a consideration of additional factors (e.g. the distribution of complexity factors between words or the relative frequency in usage of the words included in the test materials) to further understand all the potential issues at play.

As far as metrics are concerned, the WWP appears, on the one hand, to better identify interactions between syllable complexity and word length than the PCC and, on the other hand, to take into account the combination of complexity factors in the target word. This suggests that the WPP is a better indicator of the child's productive abilities across different phonological contexts. Indeed, WWP calculation is based on PMLU which takes into account the presence of phonemes and therefore the word length (Ingram, 2002). WWP consequently

considers the overall word shape. The PCC scores were clearly influenced by the task effect identified above, especially with regard to the phonological complexity of 1-syllable words. The fact that PCC scores are impacted by word complexity characteristics brings into question the use of general PCC norms (Shriberg et al., 1997); PCC scores should indeed be considered with reference to the specific task(s) at hand. In comparison, the PCoC and POC allowed more precise analyses showing that singleton word-internal codas are less accurately produced than final ones. Although these results are consistent with the literature (Kehoe, 2021; Yvan Rose, 2000), our sample only includes the phonemes [s] and [ʀ], also in relatively low numbers. This further calls for a systematic replication of the current study. While both the WWP and the PCC are very useful in research, their respective limitations confirm the need to use different measures, as well as going further in the assessment of the functional and clinical impact of the child's speech abilities (Glaspey et al., 2022; Mason et al., 2015).

Although the consonant inventories of different varieties of French tend to resemble one another, important differences may be found with regard to allophonic processes, vowel production, or prosody (Rose & Wauquier-Gravelines, 2007). It is therefore not possible to exclude a regional effect on performance in the current data. Studies comparing performance across different dialects of French, including the Belgian variety, are thus in order as well.

## **Conclusion**

The results of this study support the importance of assessing various word complexity characteristics in French speech tests – not only word length but also the presence of a cluster, word internal or final codas.

The low accuracy found for one-syllable words in the current study may be task-specific. The picture-naming task that was used also included 4-syllable words, clusters and singleton codas. As such, we were able to document developmental errors in typically developing children speech production that impact their accuracy. This research contributes to our broader understanding of speech development in typically-developing children, but also toward the identification of children with speech sound disorders who speak French.

## References

- Aicart-De Falco, S., & Vion, M. (1987). La mise en place du système phonologique du français chez des enfants entre trois et six ans : une étude de la production. *Cahiers de Psychologie Cognitive - Current Psychology of Cognition*, 7, 247–266.
- Bassano, D., Labrell, F., Champaud, C., Lemétayer, F., & Bonnet, P. (2005). Le DLPF : un nouvel outil pour l'évaluation du développement du langage de production en français. *Enfance*, 57(2), 171–208.
- Bérubé, D., Bernhardt, B. M., & Stemberger, J. P. (2013). Un test de phonologie du français: Construction et utilisation. *Canadian Journal of Speech-Language Pathology and Audiology*, 37(1), 26–40.
- Bérubé, D., Bernhardt, B. M., Stemberger, J. P., & Ciocca, V. (2020). Development of singleton consonants in French-speaking children with typical versus protracted phonological development: The influence of word length, word shape and stress. *International Journal of Speech-Language Pathology*, 22(6), 637–647.
- Bérubé, D., & Macleod, A. A. N. (2022). A comparison of two phonological screening tools for French-speaking children.



*International Journal of Speech-Language Pathology*, 24(1), 22-32. <https://doi.org/10.1080/17549507.2021.1936174>

- Brousseau-Lapr , F. (2013). *Underlying and surface manifestations of developmental phonological disorder in French-speaking preschoolers aged 4 to 6 years* [Unpublished doctoral dissertation]. McGill University.
- Brousseau-Lapr , F., Rvachew, S., Macleod, A. A. N., Findlay, K., Bérubé, D., & Bernhardt, B. M. (2018). Une vue d'ensemble : les données probantes sur le développement phonologique des enfants francophones canadiens [An Overview of Data on the Phonological Development of French-speaking Canadian Children]. *Canadian Journal of Speech-Language Pathology and Audiology*, 42(1), 1–19.
- Casagrande, J. (1984). *The Sound System of French*. Washington, DC: Georgetown University Press.
- Chevrie-Müller, C., & Plaza, M. (2001). *Nouvelles Epreuves pour l'Examen du Langage (N- EEL)*. Pearson.
- Demuth, K., & McCullough, E. (2009). The longitudinal development of clusters in French. *Journal of Child Language*, 36(2), 425–448.
- Dodd, B., Reilly, S., Ttofari Eecen, K., & Morgan, A. T. (2018). Articulation or phonology? Evidence from longitudinal error data. *Clinical Linguistics and Phonetics*, 32(11), 1027–1041.
- Dos Santos, C. (2007). *Développement phonologique en français langue maternelle : une étude de cas* [Unpublished doctoral dissertation]. Université Lumiere Lyon 2.
- Dunn, L. M., Dunn, L. M., & Thériault-Whalen, C. M. (1993). * chelle de vocabulaire en images Peabody adaptation française du Peabody Picture Vocabulary Test*. Psycan.
- Genoud, P. A. (2011). Indice de position socio conomique (IPSE): un

calcul simplifié. Fribourg: Université de Fribourg.

- Glaspey, A. M., Wilson, J. J., Reeder, J. D., Tseng, W. C., & MacLeod, A. A. N. (2022). Moving Beyond Single Word Acquisition of Speech Sounds to Connected Speech Development With Dynamic Assessment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 65*(2), 508–524.
- Goldstein, B., Fabiano, L., & Iglesias, A. (2004). Spontaneous and Imitated Productions in Spanish-Speaking Children with Phonological Disorders. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools, 35*(1), 5–15.
- Hilaire-Debove, G., & Kehoe, M. (2004). Acquisition des consonnes finales (codas) chez les enfants francophones : des universaux aux spécificités de la langue maternelle. *Actes de La 25ème Journée d'Etudes Sur La Parole, 265–268*.
- Ingram, D. (2002). The measurement of whole-word productions. *Journal of Child Language, 29*(4), 713–733.
- Kaye, J., & Lowenstamm, J. (1984). De la syllabicité. In F. Dell, D. Hirst, & J.-R. Vergnaud (Eds.), *Forme sonore du langage* (pp. 123–161). Paris: Hermann.
- Kehoe, M. (2021). Coda consonant production in French-speaking children. *Clinical Linguistics and Phonetics, 35*(6), 509–533.
- Kehoe, M., & Cretton, E. (2021). Intraword Variability in French-speaking Monolingual and Bilingual Children. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 64*(7), 2453–2471.
- Kehoe, M., & Girardier, C. (2020). What factors influence phonological production in French-speaking bilingual children, aged three to six years? *Journal of Child Language, 47*(5), 945–981.
- Kehoe, M., & Havy, M. (2019). Bilingual phonological acquisition: The influence of language-internal, language-external, and lexical

- factors. *Journal of Child Language*, 46(2), 292–333.
- Kehoe, M., Niederberger, N., & Bouchut, A. L. (2021). The development of a speech sound screening test for European French-speaking monolingual and bilingual children. *International Journal of Speech-Language Pathology*, 23(2), 135–144.
- MacLeod, A. A. N. (2019). Des premiers sons aux premiers sons dans les mots. In S. Kent (Ed.), *Le développement du langage : théorie, clinique, pratique* (pp. 17–34). De Boeck Supérieur.
- MacLeod, A. A. N., Sutton, A., Sylvestre, A., Thordardottir, E., & Trudeau, N. (2014). Outil de dépistage des troubles du développement des sons de la parole : bases théoriques et données préliminaires. *Canadian Journal of Speech Language Pathology and Audiology*, 38(1), 40–56.
- MacLeod, A. A. N., Sutton, A., Trudeau, N., & Thordardottir, E. (2011). The acquisition of consonants in Québécois French: A cross-sectional study of pre-school aged children. *International Journal of Speech-Language Pathology*, 13(2), 93–109.
- Maillart, C., & Parisse, C. (2006). Phonological deficits in French speaking children with SLI. *International Journal of Language and Communication Disorders*, 41(3), 253–274.
- Mason, G., Bérubé, D., Bernhardt, B. M., & Stemberger, J. (2015). Evaluation of multisyllabic word production in Canadian English- or French-speaking children within a non-linear phonological framework. *Clinical Linguistics and Phonetics*, 29(8–10), 666–685.
- Masso, S., Baker, E., McLeod, S., & Wang, C. (2017). Polysyllable speech accuracy and predictors of later literacy development in preschool children with speech sound disorders. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 60(7), 1877–1890.

- Masso, S., McLeod, S., Baker, E., & McCormack, J. (2016). Polysyllable productions in preschool children with speech sound disorders: Error categories and the Framework of Polysyllable Maturity. *International Journal of Speech-Language Pathology*, 18(3), 272–287.
- McAllister Byun, T., Inkelas, S., & Rose, Y. (2016). The A-map Model: Articulatory Reliability in Child-specific Phonology. *Language*, 92(1), 141–178.
- McLeod, S., & Crowe, K. (2018). Children’s consonant acquisition in 27 languages: A cross-linguistic review. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 27(4), 1546–1571.
- Meloni G., Loevenbruck H., Vilain A., Macleod A. A. N. (2017, July 17-21). EULALIES, The France-Québec speech sound disorders project [Poster presentation]. IASCL 14th international congress, Lyon, France.
- Meloni, G., Schott-Brua, V., Vilain, A., Loevenbruck, H., Consortium, E., & MacLeod, A. A. N. (2020). Application of childhood apraxia of speech clinical markers to French-speaking children: A preliminary study. *International Journal of Speech-Language Pathology*, 22(6), 683–695.
- Menn, L., Schmidt, E., & Nicholas, B. (2012). Challenges to theories, charges to a model: The Linked-Attractor model of phonological development. In *The Emergence of Phonology: Whole-Word Approaches and Cross-Linguistic Evidence*, 460-502.
- Redford, M. A. (2019). Speech production from a developmental perspective. In *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* (Vol. 62, Issue 8S, pp. 2946–2962).
- Rose, Y. (2000). *Headness and prosodic licensing in the L1 acquisition of phonology* [Unpublished doctoral thesis]. 8

- Rose, Y. (2003). Place Specification and Segmental Distribution in the Acquisition of Word-Final Consonant Syllabification. *The Canadian Journal of Linguistics / La Revue Canadienne de Linguistique*, 48(3), 409–435.
- Rose, Y., & MacWhinney, B. (2014). The Phonbank Project: Data and software-assisted methods for the study of phonology and phonological development. *The Oxford Handbook of Corpus Phonology*, 380–401.
- Rose, Y., & Wauquier-Gravelines, S. (2007). French speech acquisition. In S. McLeod (Ed.), *The international guide to speech acquisition* (pp. 364–384). Thomson Delmar Learning.
- Rvachew, S., & Brosseau-Lapré, F. (2018). *Developmental phonological disorders : foundations of clinical practice* (2nd ed.). Plural Publishing.
- Rvachew, S., Marquis, A., Brosseau-Lapré, F., Paul, M., Royle, P., & Gonnerman, L. M. (2013). Speech articulation performance of francophone children in the early school years: Norming of the Test de D epistage Francophone de Phonologie. *Clinical Linguistics and Phonetics*, 27(12), 950–968.
- Shriberg, L. D., Austin, D., Lewis, B. A., McSweeney, J. L., & Wilson, D. L. (1997). The Percentage of Consonants Correct (PCC) Metric. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 40(4), 708–722.
- Sylvestre, A., Bouchard, C., Di Sante, M., Julien, C., Martel-Sauvageau, V., & Leblond, J. (2020). Normative indicators of language development in qu ebec french at 36, 42, and 48 months of age: Results of the ellan study. *Canadian Journal of Speech-Language Pathology and Audiology*, 44(3), 137–150.
- Vinter, S. (2001). Les habilit es phonologiques chez les enfants de 2

ans. *Glossa*, 77, 4–19.

Wankoff, L. S. (2011). Warning signs in the development of speech, language, and communication: When to refer to a speech-language pathologist. *Journal of Child and Adolescent Psychiatric Nursing*, 24(3), 175–184.

Wechsler, D., & Naglieri, J. A. (2006). *Wechsler nonverbal scale of ability*.

Yamaguchi, N. (2012). *Parcours d'acquisition des sons du langage chez deux enfants francophones* [Unpublished doctoral dissertation, Université Sorbonne Nouvelle Paris 3].

## Appendices

### Appendix 1.

*Target words of EULALIES picture naming task (adapted version)*

| Orthographic  | Phonetic   | Number of syllables | Tauto-syllabic clusters | Word-final codas | Word-internal codas | Syllabic structure |
|---------------|------------|---------------------|-------------------------|------------------|---------------------|--------------------|
| Oreiller      | ɔreje      | 3                   |                         |                  |                     | V.VC.GV            |
| Locomotive*   | lɔkɔmɔtiv  | 4                   |                         | v                |                     | CV.CV.CV.CVC       |
| Hippopotame*  | ipɔpɔtam   | 4                   |                         | m                |                     | V.CV.CV.CVC        |
| Indien        | ɛ̃djɛ̃     | 2                   |                         |                  |                     | V.CGV              |
| Jambe         | ʒãb        | 1                   |                         | b                |                     | CVC                |
| Huile         | ɥil        | 1                   |                         | l                |                     | GVC                |
| Pyjama        | piʒama     | 3                   |                         |                  |                     | CV.CV.CV           |
| Œuf           | œf         | 1                   |                         | f                |                     | VC                 |
| Fourchette*   | furʃet     | 2                   |                         | t                | r                   | CVC.CVC            |
| Hibou         | ibu        | 2                   |                         |                  |                     | C.CV               |
| Escargot*     | ɛskargɔ    | 3                   |                         |                  | s, r                | VC.CVC.CV          |
| Uniforme      | ynifɔrm    | 3                   | rm                      |                  |                     | V.CV.CVCC          |
| Neige         | nɛʒ        | 1                   |                         | ʒ                |                     | CVC                |
| Capuche       | kapyʃ      | 2                   |                         | ʃ                |                     | CV.CVC             |
| Parapluie     | paraplɥi   | 3                   | pl                      |                  |                     | CV.CV.CCGV         |
| Grenouille*   | grɔnuj     | 2                   | gr                      | j                |                     | CCV.CVC            |
| Éléphant      | elefã      | 3                   |                         |                  |                     | V.CVC.V            |
| Aspirateur*   | aspiratœr  | 4                   |                         | r                | s                   | VC.CV.CV.CVC       |
| Yaourt        | jaurt      | 2                   | rt                      |                  |                     | GV.VCC             |
| Langue        | lãg        | 1                   |                         | g                |                     | CVC                |
| Zèbre         | zebr       | 1                   | br                      |                  |                     | CVCC               |
| Euro          | øro        | 2                   |                         |                  |                     | CVC                |
| Couverture*   | kuvœrtɥr   | 3                   |                         | r                | r                   | CV.CVC.CVC         |
| Rhinocéros*   | rinɔserɔs  | 4                   |                         | s                |                     | CV.CV.CV.CVC       |
| Dentiste      | dãtist     | 2                   | st                      |                  |                     | CV.CVCC            |
| Ours          | urs        | 1                   | rs                      |                  |                     | VCC                |
| Gare          | gar        | 1                   |                         | r                |                     | CVC                |
| Ordinateur*   | ɔrdinatœr  | 4                   |                         | r                | r                   | VC.CV.CV.CVC       |
| Bibliothèque* | biblijɔtek | 4                   | bl                      | k                |                     | CV.CCV.GV.CVC      |
| Téléphone     | telefɔn    | 3                   |                         | n                |                     | CV.CV.CVC          |
| Enveloppe**   | ãv(ə)lɔp   | 2 (3)               |                         | p                |                     | V.CCVC             |
| Stade*        | stad       | 1                   | st                      | d                |                     | CCVC               |
| Toboggan      | tɔbɔgã     | 3                   |                         |                  |                     | CV.CV.CV           |
| Cinéma        | sinema     | 3                   |                         |                  |                     | CV.CV.CV           |
| Ongle         | ɔgl        | 1                   | gl                      |                  |                     | VCC                |
| Chocolat      | ʃɔkɔla     | 3                   |                         |                  |                     | CV.CV.CV           |
| Montagne      | mɔtaɲ      | 2                   |                         | ɲ                |                     | CV.CVC             |
| Voiture       | vwatɥr     | 2                   |                         | r                |                     | CGV.CVC            |
| Fraise*       | frɛz       | 1                   | fr                      | z                |                     | CCVC               |

|            |          |   |          |
|------------|----------|---|----------|
| Feu        | fø       | 1 | CV       |
| Oiseau     | wazo     | 2 | CV.CV    |
| Rue        | ry       | 1 | CV       |
| Champignon | ʃɑ̃pijɔ̃ | 3 | CV.CV.CV |

---

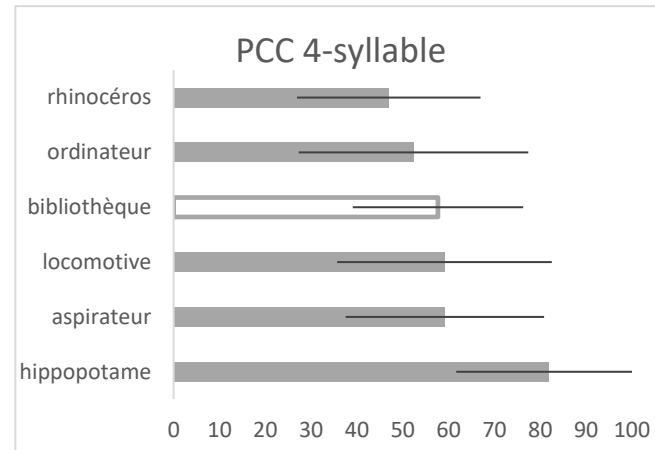
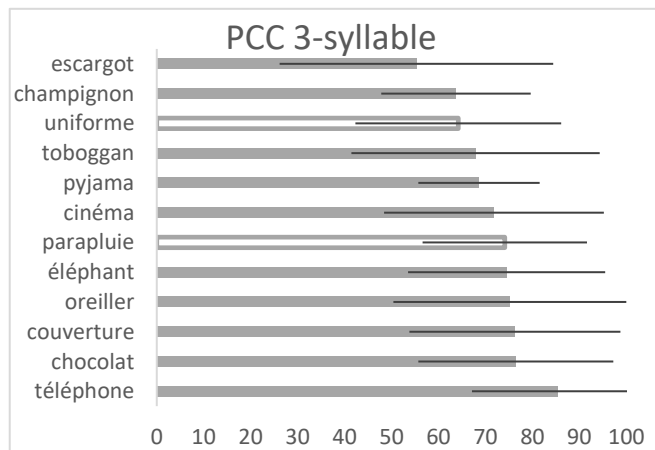
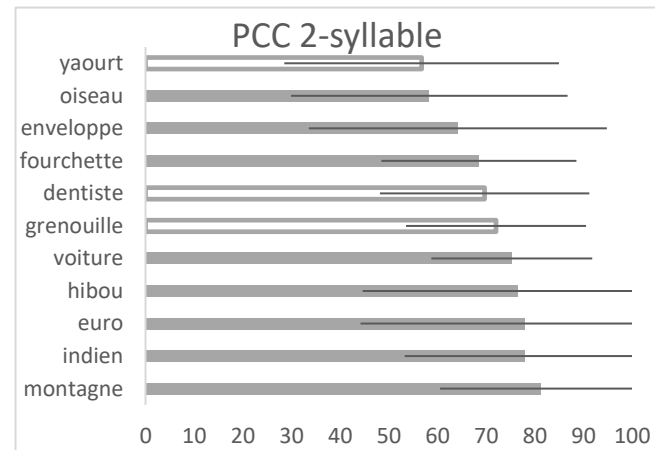
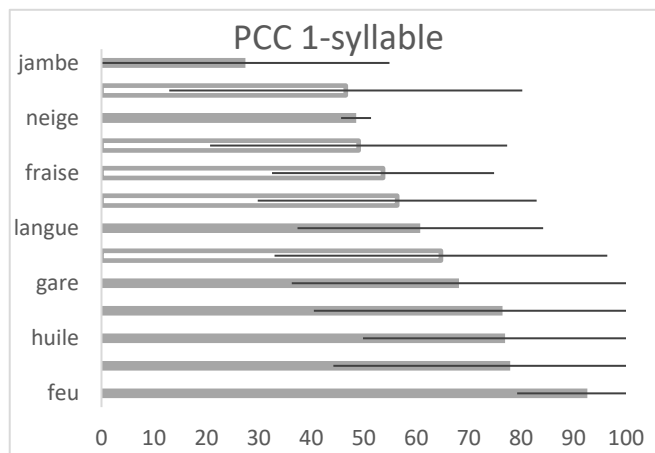
\* Words combining more than one complexity factor

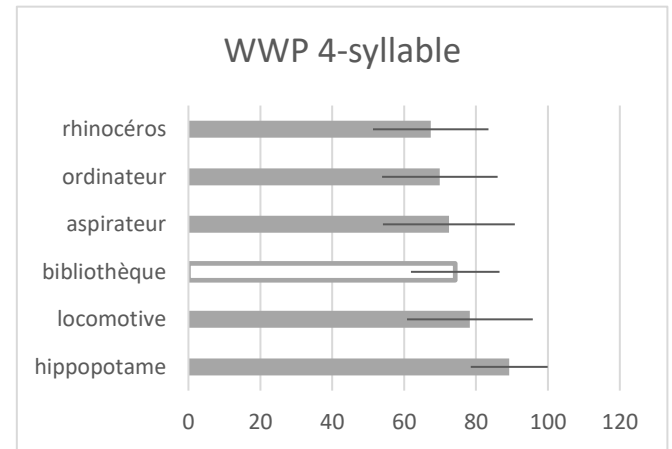
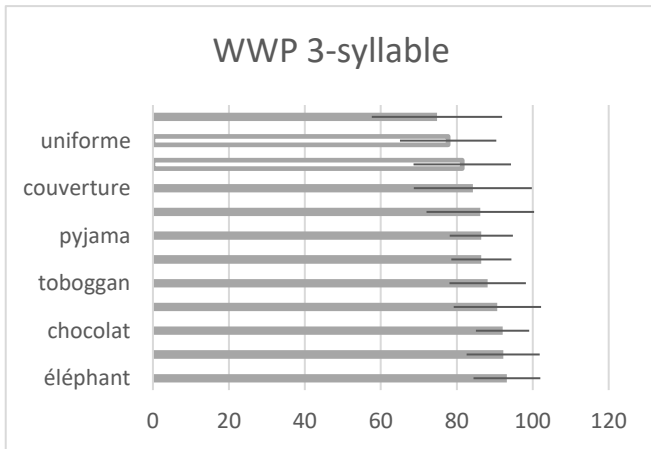
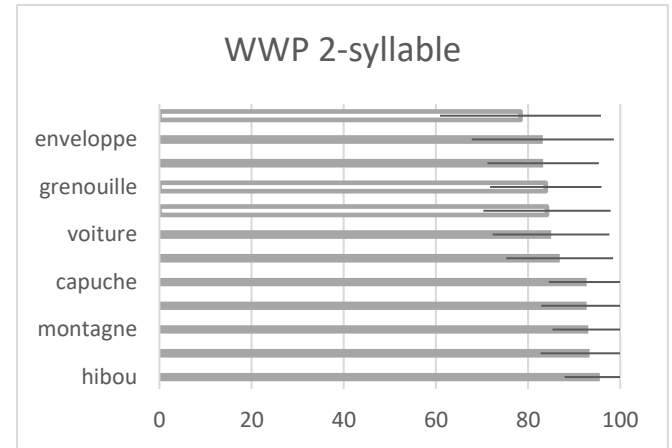
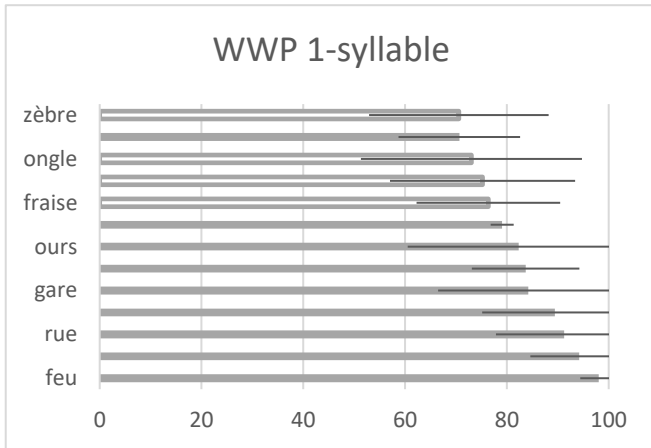
\*\* As the vast majority of children produced [ɑ̃vlɔ̃p], we categorized the word into 2 syllables. However, in this case the structure of [vl] consonants being ambiguous, we did not consider these two consonants in any of the analyses.



**Appendix 2.** Performance for PCC and WWP by words according to word length

*Note : Words including a cluster are represented by an empty*





## **Etude 2.**

# **Relationship between developmental trajectories of nonspeech orofacial functions and speech in typically developing preschool children**

**Morgane Warnier<sup>a</sup>, Andrea A.N. MacLeod<sup>b</sup>, and Christelle Maillart<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>Department of Psychology, Speech-Language Therapy and Educational Sciences, University of Liège, Liège, Belgium;

<sup>b</sup>Communication Sciences & Disorders Department, University of Alberta, Edmonton, Canada

### **Status**

Article submitted on August 7, 2022 in *Journal of Speech, Language and Hearing Research*

### **Acknowledgment**

This work was supported by the Fund for Scientific Research F.R.S-FNRS under Grant FRESH 40004234. The authors would like to thank the many children, parents, teachers and principals for their participation. They would also like to give special thanks to Fanny Dieu and all the speech-language therapy students who helped in data collection and data coding: Laurie Chantry, Victoria Lanero, Garbielle Mercier, Marguerite Herbillon and Laure Gigiél. They acknowledge statistical advice from Christian Monseur.

## **Data availability statement**

Speech accuracy data underlying the study will be available on <https://phon.talkbank.org> in the French corpora.

## **Abstract**

**Purpose:** This study first aimed to describe the developmental trajectories of nonspeech orofacial functions, oral motor skills and speech accuracy. Secondly, the study aimed to preliminary explore the potential role of oral motor skills from articulators as a common mechanism underlying both speech production and nonspeech orofacial functions during typical development in preschoolers.

**Method:** A prospective longitudinal study was conducted on thirty-two typically developing monolingual French-speaking children aged between 35 and 39 months at the beginning of the study. Data about speech accuracy, nonspeech isolated voluntary movements of articulators, nonspeech sequenced movements of articulators, syllable diadochokinetic sequences and nonspeech orofacial functions (breathing, swallowing and chewing) were collected every six months.

**Results:** The present research showed linear progression in speech accuracy, oral motor skills and nonspeech orofacial functions in preschool children. Children who showed the lowest speech accuracy were those who showed the best progression, whereas variability between children on oral motor skills and nonspeech orofacial functions disappeared during development. The results did not demonstrate any relationship between speech development and development of nonspeech orofacial functions through oral motor skills. However, a significant negative correlation was found between sequenced oral movements and speech accuracy.

Conclusions: The preschool period is subject to great refinement. Developmental relationship between speech accuracy, oral motor skills and nonspeech orofacial functions may not be inferred from clinical tasks and caution should be used when it comes to interpreting potential direct implications.

## **Background**

In both clinical and research settings, it is often postulated that speech production develops in close relation to other orofacial functions that are not specific to speech, such as breathing, swallowing, and chewing. However, little consensus exists. This paper aims to determine if fine oral motor skills of speech articulators might be a common mechanism underlying both speech production and nonspeech orofacial functions during typical development in preschoolers.

### ***Oral motor skills and speech during development***

Speech can be defined as “movements or movement plans that produce as their end result acoustic patterns that accord with the phonetic structure of a language” (Kent, 2015, p. 765). The development of speech undeniably relies on a multidimensional approach, where at least perceptual, visual, somatosensory and motor systems all play an important role to produce a given concept in a particular environment (McAllister Byun et al., 2016; Munson et al., 2011; Redford, 2019). Speech development thus implies learning the conversion of abstract linguistic information into motor movements through internal models (Lancheros et al., 2020; Redford, 2019). Those models include the somatosensory and motor information

provided by the articulators (Hickok, 2012; Rvachew & Brosseau-Lapré, 2018) and are thought to develop throughout childhood (Redford, 2019). While the study of the role of somatosensory information in speech development is largely neglected in the literature (Rvachew & Brosseau-Lapré, 2018), motor control of speech is well studied.

Oral motor skills involve “the functioning of the lips, cheek, jaw and tongue” and play an important part in speech development (Sampallo-Pedroza et al., 2014, p. 594). Speech motor skills in young children, more variable and slower, have nothing to compare to adults (Smith, 2006; Vick et al., 2012). A longitudinal study, congruent with theoretical models, conducted by Iuzzini-Seigel et al. (2015) showed that the development of motor control related to speech is organized in phases: the early speech, the rapidly emerging linguistic and the linguistic/speech refinement periods. During emergence of speech, oral motor movements are unrefined and disorganized (Green et al., 2000). Anatomic and physiologic properties limit available motor skills which constrain the speech sounds inventory and word production (Clarke, 2020; Iuzzini-Seigel et al., 2015; McAllister Byun et al., 2016). Jaw movements mainly dominate the speech motor control (Green et al., 2000). This step is followed by phases of both tremendous evolution and regression, which are co-occurring with the vocabulary burst (Iuzzini-Seigel et al., 2015). There is a bidirectional shaping process between linguistic and oral motor systems clearly visible (Iuzzini-Seigel et al., 2015; Redford, 2019; Smith, 2006) but which probably starts much earlier (Steeve & Moore, 2009). Subsequently, the preschool period undergoes a progressive improvement in oral motor skills directly related to the need to meet speech sound accuracy (Iuzzini-Seigel et al., 2015). Coordination of the articulators increases

(Grigos, 2016) and allows a refinement phase where lips, jaw and tongue control continues to develop (Green et al., 2000). This period remains one of great change and variability between children (Vick et al., 2012). In addition to identifying phases of development, several studies have also identified a subgroup of preschool children with SSD have poorer performance in oral motor skills related to speech (Mogren et al., 2021; Shriberg et al., 2019; Vick et al., 2012), in addition to childhood apraxia of speech and dysarthria for which the deficit in oral motor systems of speech is clearly established (Morgan & Liégeois, 2010; Murray et al., 2021).

### ***Nonspeech oral motor skills and speech***

The definition of oral motor skills can also be applied to movements that are not directly related to speech. Those can be qualified as *nonspeech orofacial movements* (NSOMs). Kent defines them as “*motor acts performed by various parts of the speech musculature<sup>5</sup> to accomplish specified movement or postural goals that are not sufficient in themselves to have phonetic identity*” (Kent, 2015, p. 765). Diadochokinesis (DDK) (e.g., *pa/ta/ka*) are sometimes included in that definition, but are rather considered as quasi-speech (Lancheros et al., 2022). Besides, NSOMs and DDK are often part of speech assessment, in the form of voluntary action under injection of a verbal command, in addition to measurements of speech accuracy and intelligibility. Waite et al. (2012) postulate that they aim to determine whether the oral muscular structures and functions are adequate for speech, yet the link between the two is not agreed upon (Maas, 2017).

---

<sup>5</sup> In this paper, we will restrain the “speech musculature” to lips, cheek, jaw and tongue in regards to the definition of oral motor skills mentioned earlier.

Kehoe and Cretton (2021) found no correlation between isolated NSOMs (in this case, including eyes and face movements), DDK and the Percentage of Consonant Correct (PCC) in typically developing preschoolers, though it was not the main aim of their study. Farias et al. (2006) investigated the relationship between NSOMs (sequences of alternate movements of the tongue and the lips) and speech sound accuracy spontaneous speech in preschool children. They concluded that there was a relationship between difficulties to coordinate NSOMs and speech, even if results were only significant for tongue movements. Other authors have previously studied the evolution of NSOMs (isolated and sequenced) showing the great variability in performance in typical young preschool children, leading them to question a potential direct link between NSOMs and speech, but without having investigated this link (Ozanne, 1992; Pam Williams & Stackhouse, 2000). Alcock (2006) even went further into language development, arguing the existence of a correlation between expressive vocabulary development and sequenced NSOMs.

Some other studies found a relationship in children with SSD (e.g., Bertagnolli et al., 2015; Gubiani et al., 2012; Gubiani & Carli, 2015; Newmeyer et al., 2007; Noveen et al., 2018). Moreover, DDK are considered as a discriminative diagnostic task for CAS (when combined to other specific measurements, see Murray et al., 2021) and NSOMs are often taken into consideration (Aram & Horwitz, 1983; Gubiani et al., 2015). It is important to know that most studies on NSOMs have a poor methodology and reproducibility, notably because of the inconsistency in the definition and measurements.

The assumption of a direct relationship between NSOMs and speech has even been extrapolated in the treatment of SSD. This has created a heated debate on whether nonspeech orofacial movement



exercises (NSOMEs) are useful or not in the treatment of SSD (Maas, 2017; Ruscello, 2010), but this goes beyond the scope of this article. Instead, this study focuses on understanding whether fine oral motor skills could be a common mechanism underlying both speech and nonspeech productions during the preschool period.

### ***Nonspeech oral motor skills and orofacial functions during development***

Nonspeech orofacial functions include a large variety of functional activities coordinated by the orofacial somatosensory and motor systems (Limor Avivi-Arber et al., 2011). Among them, the most commonly studied are breathing, swallowing and chewing. These are often grouped together mostly because of their mutual interaction (Junqueira et al., 2010; Knösel et al., 2012) and their involvement in developmental pathology called orofacial myofunctional disorders (OMDs) (de Felício & Ferreira, 2008; Marchesan et al., 2012).

In breathing, a strong preference for nasal breathing is known for being the physiological breathing mode from birth (Hammer & Eber, 2005), and is not expected to change during development with the exception of cases of mouth breathing disorder. However, results from developmental trajectories inferred from transversal data in the study of McAllister and Lundeborg Hammarström (2014) showed that fluctuation can occur early into preschool period. In contrast, the development of swallowing function occurs in progressive steps and the neuromuscular coordination of swallowing is highly dependent on gestational maturity (Bu'Lock et al., 1990). At birth, "primary" or "infantile" swallowing is characterized by contraction of the perioral muscles that guarantee the oral sealing and anterior tongue position and is associated with sucking function (Bu'Lock et al., 1990). A

change will take place in parallel to the change of food consistency, orofacial anatomical evolution and maturation of the motor system (Sampallo-Pedroza et al., 2014). Although there is no consensus on the age of maturation, “secondary” or “adult” swallowing will be characterized by a non-forced labial contact, a contact of the tongue with the palate to push the bolus, a contact between the dental arches and no participation of the orofacial muscles (Hanson & Mason, 2003). Finally, chewing is the result of coordinated actions of masticatory muscles which trigger swallowing (Almotairy et al., 2018a). The role of motor control in mastication is crucial (see the systematic review of Almotairy et al., 2018). During the preschool period, mandibular movements are less stable and less efficient than in school age children (age that correspond to mixed dentition). Like swallowing, it increases with development of orofacial structures and orofacial motor maturation (Piancino et al., 2017)

These nonspeech orofacial functions are therefore underpinned by fine oral motor skills and rely on complex physiological and neurological systems (Avivi-Arber et al., 2011). By extension, it is very common that the evaluation of orofacial functions includes the evaluation of NSOMs, as it can be seen in the MBGR protocol of orofacial myofunctional evaluation with scores (Marchesan et al., 2012), the protocol of orofacial myofunctional evaluation with scores (OMES) (de Felício & Ferreira, 2008) or the Nordic Orofacial Test-Screening (NOT-S) (Bakke et al., 2007). However, very few studies have explored the direct relationship between NSOMs and orofacial functions. One study (McAllister & Lundeborg Hammarström, 2014) explored developmental trajectory of orofacial functions and NSOMs, once again inferred from transversal data, of typically developing children through the NOT-S. The results showed that NSOMs are still

developing in about 25% of children aged 3 and 4 years old, as it was the case for chewing and swallowing but without linking directly the two. Studies concerning children with OMDs are inconsistent, sometimes finding an absence of relationship with NSOMs (Andrada e Silva et al., 2012) and sometimes a relationship (de Mattos, 2018) including with DDK (Hale et al., 1992; Prado et al., 2015).

### ***Relationship between orofacial functions and speech during development***

It is often postulated that speech production develops in close relation to other orofacial functions that are not specific to speech, such as breathing, swallowing, and chewing. This assumption first relies on the fact that speech relies obviously on the same anatomy and myology (McFarland, 2022). According to several authors, speech could also share a common motor neural network with these nonspeech orofacial functions (Barlow et al., 2010; Smith, 2010; Takai et al., 2010). MacNeilage's frame/content theory of the evolution of speech production laid the foundations of the assumed emergence of speech from nonspeech functions (MacNeilage, 1998), but has since been widely criticized for its narrow vision (Ingram & Ingram, 2011). Indeed, speech does have its own specific neural patterns, which some authors think could be totally independent (Connaghan et al., 2004; Jürgens, 1998; Steeve & Moore, 2009). Experimental data have supported both theories, bringing out the probable existence of several variants of the motor system that are expressed differently according to the task (Whalen, 2019). Nonspeech orofacial functions and speech are therefore thought to share an underlying common structure and neuromotor control with a specific functioning each (Lancheros et al., 2020; Lof, 2003)

Some experimental studies have attempted to explore the assumed link through typical and pathologic development. Vick et al. (2012) found that speech does present variability during the refinement phase in typically developing preschoolers and found three clusters in trajectories based on measurements of oral motor movements of the articulators, speech sound accuracy, speech acoustics but also jaw displacements during chewing. One group of children was characterized by a great stability, i.e., low variability in movements of articulators (both related and non-related to speech), a low variability in speech acoustics and a high level of speech accuracy like the PCC measurements. The second group was characterized by greater variability in speech and nonspeech movements as well as acoustic measurements, but the same high level of speech accuracy as the first group. The last group was characterized by low speech accuracy. The authors emphasized that longitudinal studies, such as the one presented in the present paper, are needed to support the results.

Mogren et al. (2020) studied orofacial functions in children with persistent speech sound disorders. They found, among others, a significant correlation between the Percentage of Consonants Correct (PCC) and the score at the NOT-S. The main affected orofacial domains were “chewing and swallowing” as well as “masticatory muscles and jaw function” and “sensory function”. A set of studies from the early 1990s showed similar associations (Ettala-Ylitalo & Laine, 1991; Laine et al., 1992; Pahkala et al., 1991). Finally, some studies found a high percentage of speech production errors in a population presenting different types of orofacial myofunctional disorders (Borox et al., 2018; Hitos et al., 2013; Junqueira et al., 2010; Thijs et al., 2022; Wadsworth & Maul, 1998).

The general idea behind the postulate of a relationship is that the development of nonspeech orofacial functions relies on somatosensory and motor coordination mechanisms that could be exploited by speech activities. In the definition of oral motor skills, Sampallo-Pedroza et al. (2017) even claim that these are essential not only for speech but also for feeding processes. Based on this hypothesis, orofacial myofunctional disorders, which would be underpinned by a deficit of the orofacial musculature (de Felício & Ferreira, 2008; Thijs et al., 2022), could cause poor oral placement and inappropriate muscle development interfering with speech (Billings et al., 2018). This speaks to the fact that the definition of OMD also generally includes the existence of co-occurring speech disorders (ASHA, n.d.-b; Billings et al., 2018) and assessment of speech is included in the OMDs (de Felício & Ferreira, 2008; Marchesan et al., 2012).

In summary, there is a great debate whether NSOMs, nonspeech orofacial functions and speech are related. Fine oral motor skills could be a common mechanism underlying both processes that would rather express during development, especially during the preschool period characterize by a refinement of the speech sound accuracy (Iuzzini-Seigel et al., 2015; Vick et al., 2014).

## **Methods**

The Research Ethics Committee at the University of Liège, Belgium (protocol B707201940403) approved the research. The purpose of this study was to investigate the potential interaction between speech development and development of nonspeech orofacial functions of breathing, swallowing and chewing (i.e., orofacial myofunctional development) in preschool children. We postulate that the potential link

between speech development and myofunctional development would not be direct but would require the mediation of oral fine motor skills. A longitudinal study was conducted in 3 to 5-year-old children to (a) describe the developmental trajectories of nonspeech orofacial functions, oral motor skills and speech accuracy (b) explore the potential influence of oral motor skills development on nonspeech orofacial functions development on (c) explore the potential influence of oral motor skills development on speech accuracy development (d) explore the potential direct influence of nonspeech orofacial functions development on speech accuracy development.

### ***Participants***

Children were recruited from regular schools in the Liège area, Wallonia, Belgium. Parents returned consent forms and background questionnaires when they agreed to their child's participation. Children with cardiac, pulmonary, neurological and/or craniofacial abnormalities were directly excluded from the sample. Sixty-four children were initially included in the study. Then, we retroactively excluded children (a) when parents expressed concerns about language or speech at any stage of the development (b) if the children had begun speech-language therapy or orthodontic treatment before or during the time of the study (c) if they failed the hearing screening (d) if they presented nonverbal intelligence disability (e) if they obtained a low receptive vocabulary score. The final sample included thirty-two typically developing monolingual French-speaking children (17 girls, 15 boys). They were aged between 35 and 39 months (mean 36 months) at the beginning of the study. Age was rounded up to the next month from the fifteenth day of the month. All children of this study were Caucasian and mostly came from families with high levels of maternal education

(i.e., median rank was 2, ranging from 1 to 5 on a scale of 1 to 7 (adapted from Genoud, 2011)).

### ***Material and data collection***

Children were followed from 3 years old to 5-year-old at precise intervals of six months (five sessions). The first data collection took place from October to December 2019. Assessments were conducted by the first author and supervised Master students in Speech-Language Pathology. They took place in quiet rooms within the schools, except for the second session that was held by videoconference due to the circumstances of the Covid-19 pandemic. Assessment included speech and DDK production at each session whereas NSOMs production, and myofunctional evaluation was included in the first, third and fourth sessions. The children were seen at least twice during each session. Meetings duration lasted approximately 40 minutes during the first sessions and 20 minutes for the following sessions. Exclusion tasks were conducted at the fourth session (children were 4; 6 years at the time) during a separate visit.

### ***Exclusion tasks***

- (a) The hearing screening was conducted with a portable digital audiometer 9000 at 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz and 4000 Hz (International Bureau for Audiophonology, 1996). The screening threshold was set at 10 dB with some exception because of background noise (Thordardottir et al., 2010). Children were excluded when the hearing loss reached 25 dB.
- (b) Nonverbal intelligence was assessed through the short version of the Wechsler Nonverbal Scale of Ability (WNV), including

*matrices* and *recognition* subtests (Wechsler & Naglieri, 2006). Children were excluded when nonverbal IQ was considered below the normal range (< P5).

- (c) Receptive vocabulary was assessed by “Échelle de Vocabulaire en Images de Peabody” (Dunn et al., 1993) and standardized score was considered low below fifteenth percentile, following Sylvestre et al. (2020)

### *Speech production*

We used the picture-naming task included in the EULALIES battery (Meloni et al., 2017). For a review of the task characteristics, see Warnier et al. (2022). Children were asked to name pictures that were shown on a computer. Stimuli were interspersed with a reinforcer to encourage the child to continue the task. Experimenter gave a semantic cue, a phonemic cue or an imitation model to foster elicitation. Productions were recorded with professional microphone Zoom H4nPro placed at 30 cm, except for the second session that was held by videoconference using Zoom Meetings and recorded with parents' phone microphone. Overall audio quality of those sessions was still good.

### *DDK production*

Children were requested to repeat the sequence [pa/ta/ka] as many times as possible in 10 seconds. We requested the imitation of the target syllables [pa], [ta], and [ka] and provided three trials for young children when two were sufficient from age four. Following the conditions described by Meloni et al., 2020, the time was displayed on the computer by a rectangle gradually filling in. Children began and



finished at the experimenter's signal. Data were collected and recorded under the same conditions as the picture-naming task.

### *NSOMs*

Nonspeech movements task included both isolated and sequenced movements. The subtest *mobility* of the OMES (de Felício & Ferreira, 2008) was chosen for the isolated movements because it only involves phonatory organs (lips, tongue, cheek and jaw). The OMES test was translated following international recommendations (Sousa & Rojjanasrirat, 2011) : the protocol was first translated from English into French, then four French-speaking clinicians expert in orofacial myofunctional therapy reviewed the translation. Afterwards, it was sent to a professional English translator for back translation. The latter was reviewed by the protocol's authors to ensure that final version respected the original items. During the administration, the experimenter prompted movements through verbal request. As the test was not originally intended for young children, verbal requests were supported by a visual model, as indicated in young children (Bearzotti et al., 2007) on a prerecorded video on the computer. We held the child's attention by saying: "*This is my friend Marie. Marie makes faces. We are going to make the same faces as my friend Marie, are you ready?*". During the first sessions, the experimenter sometimes needed to give additional models by producing the movement and then requested an imitation of the child.

Sequences consisted in alternate movements of the tongue as many times as possible in 10 seconds. It included three versions prompted by verbal command and model provided by the examiner. The examiner said: "*We'll make faces again as well as you can, but this time as fast as you can*". The child was asked to execute a

sequence of up and down movements for the first task, a sequence of lateralization movements for the second task, and sequence of lateralization movements interspersed with elevation movements for the last task as described in Farias et al. (2006). Similar to DDK, children were requested to produce movements in isolation then had three trials. Same conditions were also applied for the tracking of time.

The sessions were filmed with an HD camera (Canon LEGRIA HF G10) placed on a stand 60 cm from the child's face. To ensure the quality of the image, we placed a white screen behind the child and took care not to be against the light. We also placed a stuffed toy on the camera, making sure that the child always looks at it.

#### *Nonspeech orofacial functions*

Breathing, swallowing and chewing functions were assessed through the subtest *functions* of OMES (de Felício & Ferreira, 2008) with the same video recording conditions. The latter was translated in the same conditions as the *mobility* subtest and filmed in the same conditions. According to the conditions of application of the OMES, no specific instructions should be given for the breathing subtest since breathing is observed throughout the test. However, we used a lip taping test to complement our observation (Zaghi et al., 2020). The child was asked to watch a cartoon on the computer with a 3M Micropore™ tape on the lips for 3 minutes. In the first session, 12.5% of the children refused to submit to the task, but all of them agreed as they got older. Swallowing subtest was first assessed with a liquid bolus and then with a solid bolus in conjunction with the chewing subtest as requested by the OMES applications. We carefully followed the protocol the test (de Felício et al., 2012). As far as chewing is concerned, we used a cookie (i.e., Speculoos, Lotus®) whose texture is similar to the cookie used by

the authors of the test. We made sure that the child looked at the camera while chewing.

## ***Measures***

### *Speech production*

Analyses of speech accuracy production was completed using Phon software (Yvan Rose & MacWhinney, 2014). Two transcribers, the first author and a trained master's student, both transcribed the first session as described in Warnier et al. (2022). The same master's student transcribed the four remaining sessions and inter-judge fidelity based on 20% of the transcriptions reached over 90% agreement. Intra-judge was calculated by subtracting the number of differences between judges from the total number of consonants, then dividing it by the total number of consonants. The PCC score, including distortions, was extracted from Phon for each of the five sessions.

### *DDK production*

We based calculation on the waveform of the speech material, as recommended by Kent et al. (2022), in the Phon software. We originally applied the *Consistency strength rating* method by (Pam Williams & Stackhouse, 2000). This method is described as developmentally sensitive and suitable for establishing norms in typical preschool children. Nonetheless, this method proved to be inappropriate for the type of statistical analysis we conducted, and we therefore chose a count-by-time method, counting the number of correct and accurate syllables produced over the 10 seconds based on the second trial. This method allowed us to parallel the sequenced nonspeech sequenced movements. We choose to base our scoring on

the second trial because children showed a fatigue-related decrease in performance for the third trial when they were young, while they performed well after two trials as they grew.

### *NSOMs*

Each isolated movement was scored on a scale of 1 to 3 and was summed up to obtain a global score (max 57 points). According to the OMES protocol, the lingual movements have a greater weight (max 18 points) than the movements of the jaws (15 points), lips and cheeks (12 points each). We followed the scoring protocol but had to refine it in order to adapt it to young children, and to reach a sufficient inter-judge reliability. Three points were awarded if the movement was precise without stumbling or if the child grope for the movement then succeeds. Two points were awarded if a movement was performed but imprecise, incomplete or incorrect, with or without tremors; in the presence of associated movements; if the child groped for the movement for a long time before succeeding. The lowest score, one point, was attributed when the child initiates the movement, intends to perform it but does not achieve the expected result or does not perform the movement at all. Two master's students were intensively trained to complete the scoring based on the videos. Inter-judge reliability was calculated by the first author on 20% of the sample using the same method as speech production. Agreement reached over 90%.

Regarding sequenced movements, the number of correct and precise movements in the second trial was summed up to obtain a global score out of the three tasks. Based on the video, each sequence of precise and correctly performed movements that were clearly distinguishable within the 10-second limit was awarded 1 point. No point was given if the one or more movement(s) in the sequence

was inexact, incomplete, if there was a parasitic movement within the sequence, if the child hesitated for too long during the sequence or if the movements were executed so quickly that they were not precisely completed.

### *Nonspeech orofacial functions*

Scoring of OMES's *functions* subtest followed recommendations described in de Felício et al. (2012). The total sum (max 29 points) was calculated and the inter-rater reliability reached over 85%. However, we had to add scoring instructions to some items in order to ensure reliability, especially for the breathing item, which rarely achieved sufficient reliability, despite the advanced training. Thus, in addition to the instructions of the OMES, 3 points were awarded if the subject closed his mouth effortlessly for  $\frac{3}{4}$  of the testing at rest and if no sign of dyspnea was observed during the lip-taping test. If the child kept the mouth open for half of the test at rest, he/she was awarded 2 points. Only one point was awarded if the child's mouth was open most of the time or if he/she showed signs of dyspnea during the lip-taping test. Dyspnea was considered as the need to remove the tape to breathe, a deep breath through the mouth when the tape was removed; difficulties in adapting to the tape (lips moving, trying to breathe through the tape, change of facial expression or nostril dilating) even if the child adapted to it during the three minutes. We considered that touching the tape with the fingers without visibly trying to breathe through the mouth was not a sign of dyspnea because this was the case for the majority of children when they were 3 years old. Swallowing and chewing scoring subtest followed the guideline of the OMES.

## ***Statistical analyses***

Growth Curves models/Mixed models for longitudinal data were applied through HLM 8.00 student version software, via SPSS 28. This kind of model is suitable for examining developmental changes with few subjects and despite missing data, as it can include time as an independent variable. It allows estimating trajectories based on individual differences change over time through observed repeated measures. The analyses were considered in full maximum likelihood and the independent variables were group-centered to reduce variability on the random effects. Estimation of fixed effects was considered with robust standard errors. The alpha level considered was 0.05.

First, only time was included in the research equation in order to answer the question “*How does the dependent variable change over time?*” (see *developmental changes* below). Because we had 5 times of data collection for PCC and DDK, we could hypothesize that the developmental trajectories would be subject to periods of stagnation or decline, so we compared a linear model to a model with cubic transformation of time to decide which describe the best evolution through time.

Both explanatory variable and time were then added to the research equation as independent variables, to answer the question “*Does the development of the independent variable influence the development of the dependent variable?*” (see *main effects* below). In order to best represent the latter question, we systematically compared two models (with inter-subject variability at the intercept as well as with inter-subject variability at the intercept and the independent variable). We chose the one that significantly represented the data better, based

on the difference in deviance reported to a Chi squared table ( $\alpha = 0.05$ ).

The mixed models for longitudinal data are part of the multilevel models. In this study, the independent variable was considered at level 1 with the exception of the exploration the inter-subject variability of PCC through gender, which was considered at level 2. Other variables (e.g., vocabulary, audition, IQ, ...) were controlled by considering them as exclusion factors, but we decide to control gender in the models. Each studied effect and their respective research chosen model equations are detailed in Appendix 1. Given the number of models required to answer the different research questions, the analyses are considered exploratory.

## **Results**

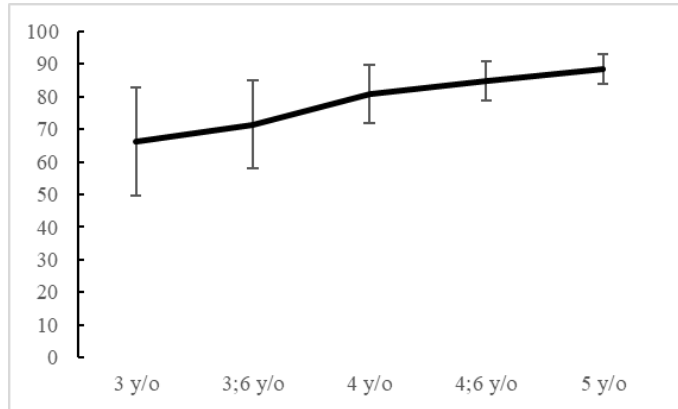
### ***Developmental changes***

#### *Developmental trajectory of speech accuracy*

First, cubic transformation of time was not statistically significant suggesting that the PCC performance is not subject to periods of stagnation or decline and rather follow a linear trajectory as shown in Figure 1.

**Figure 1.**

*Mean and standard deviation evolution of PCC through time*



Mean PCC at 3 years-old was 66.19 ( $SD = 16.51$ ) then increased significantly by an average of 6.28 points between each session. There was significant variability between children's performance at age 3. These differences decreased drastically during the development but were still significant. Children with worse PCC at baseline showed the best progression (correlation of -0.95). Gender was not an explicative factor of that variability neither at baseline nor during development. Detailed statistics results are available in Table 1.

**Table 1.**

*Results of the growth curve model on speech accuracy's trajectory*

| Explored effect                               | Fixed effects |      |          |      |                  | Random effects |        |      |          |                  |
|---|---------------|------|----------|------|------------------|----------------|--------|------|----------|------------------|
|   | Coeff         | SE   | <i>t</i> | d.f. | <i>p</i>         | SD             | $s^2$  | d.f. | $\chi^2$ | <i>p</i>         |
| Cubic time main effect                        | -0.18         | 0.12 | -1.53    | 85   | 0.13             |                |        |      |          |                  |
| Linear time main effect                       | 6.28          | 0.97 | 6.48     | 86   | <b>&lt;0.001</b> |                |        |      |          |                  |
| Inter-subject variability at baseline         |               |      |          |      |                  | 16.08          | 258.52 | 31   | 370.53   | <b>&lt;0.001</b> |
| Inter-subject variability through development |               |      |          |      |                  | 4.84           | 23.43  | 31   | 169.60   | <b>&lt;0.001</b> |
| Main gender effect at baseline                | 5.01          | 6.12 | 0.82     | 30   | 0.42             |                |        |      |          |                  |
| Main gender effect through development        | -1.96         | 1.98 | -0.99    | 30   | 0.33             |                |        |      |          |                  |

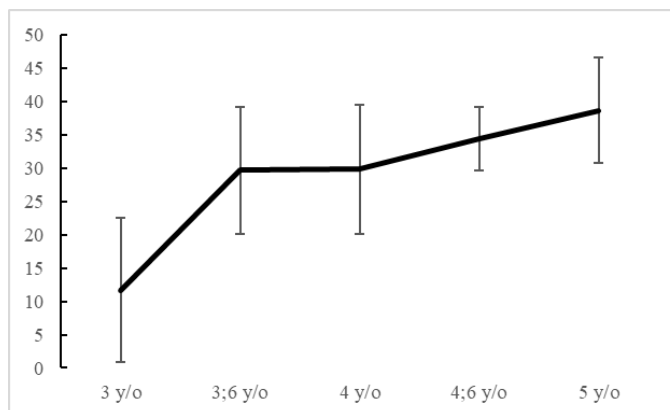


## Developmental trajectory of DDK

As for the PCC score, cubic transformation of time was not statistically significant, even though a plateau can clearly be observed between 3;6 and 4 years as shown in Figure 2. Mean DDK score at 3 years-old was 11.67 ( $SD = 10.85$ ) then increased significantly by an average of 7.70 points between each session. There was significant variability between children's performance at age 3 that was not explained by the children's gender. These differences disappeared during development. Detailed statistics results are available in Table 2.

**Figure 2.**

*Mean and standard deviation evolution of DDK through time*



**Table 2.**

*Results of the growth curve model on DDK trajectory*

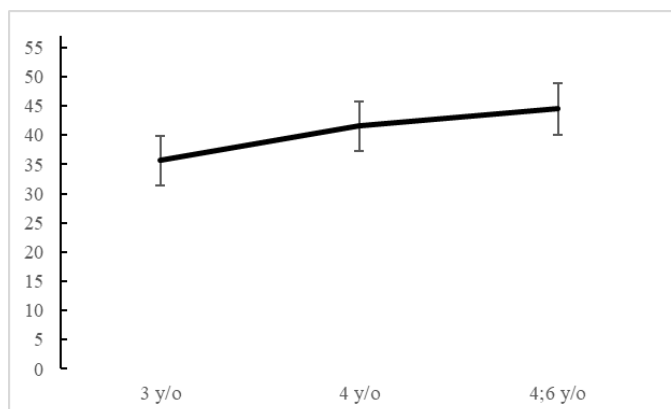
| Explored effect                               | Fixed effects |      |       |      |                  | Random effects |                |      |                |              |
|---|---------------|------|-------|------|------------------|----------------|----------------|------|----------------|--------------|
|   | Coeff         | SE   | t     | d.f. | p                | SD             | s <sup>2</sup> | d.f. | χ <sup>2</sup> | p            |
| Cubic time main effect                        | -0.11         | 0.18 | -0.61 | 77   | 0.54             |                |                |      |                |              |
| Linear time main effect                       | 7.70          | 0.81 | 9.49  | 78   | <b>&lt;0.001</b> |                |                |      |                |              |
| Inter-subject variability at baseline         |               |      |       |      |                  | 7.53           | 56.75          | 29   | 57.80          | <b>0.001</b> |
| Inter-subject variability through development |               |      |       |      |                  | 1.97           | 3.90           | 29   | 35.33          | 0.19         |
| Main gender effect at baseline                | 5.03          | 3.99 | 1.26  | 28   | 0.22             |                |                |      |                |              |
| Main gender effect through development        | -0.91         | 1.52 | -0.60 | 28   | 0.56             |                |                |      |                |              |

### Developmental trajectory of NSOMS

Mean *mobility* score at 3 years-old was 35.63 ( $SD = 4.19$ ) and increased significantly by an average of 2.87 points between each session. Figure 3 shows the overall evolution of the isolated movements. There was significant variability between children's performance at age 3 that was not explained by the children's gender. These differences disappeared during development. Detailed statistics results are available in Table 3.

**Figure 3.**

*Mean and standard deviation evolution of nonspeech isolated movements (max. 57 points) through time*



**Table 2.**

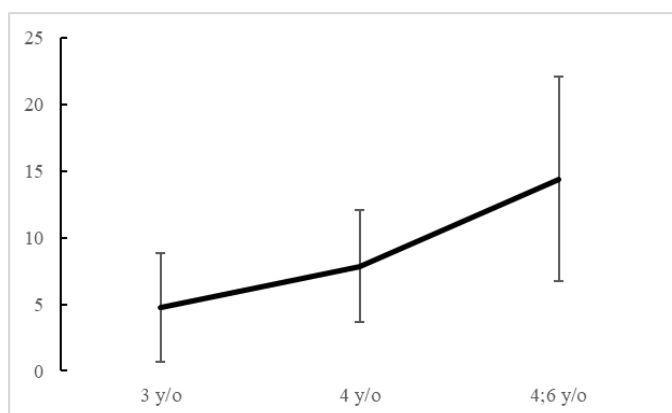
*Results of the growth curve model on nonspeech isolated movements' trajectory*

| Explored effect                               | Fixed effects |      |          |      |                  | Random effects |                       |      |          |                  |
|---|---------------|------|----------|------|------------------|----------------|-----------------------|------|----------|------------------|
|   | Coeff         | SE   | <i>t</i> | d.f. | <i>p</i>         | SD             | <i>s</i> <sup>2</sup> | d.f. | $\chi^2$ | <i>p</i>         |
| Linear time main effect                       | 2.87          | 0.23 | 12.22    | 31   | <b>&lt;0.001</b> |                |                       |      |          |                  |
| Inter-subject variability at baseline         |               |      |          |      |                  | 3.10           | 9.63                  | 31   | 75.87    | <b>&lt;0.001</b> |
| Inter-subject variability through development |               |      |          |      |                  | 0.04           | 0.19                  | 31   | 31.37    | 0.45             |
| Main gender effect at baseline                | 0.01          | 1.28 | 0.01     | 30   | 0.99             |                |                       |      |          |                  |

Mean number of sequenced movements in 10 seconds at 3-years-old was 4.75 ( $SD = 4.10$ ) and increased significantly by an average of 2.98 points between each session (Figure 4). There was no variability between children's performance at age 3 nor during development. Detailed statistics results are available in Table 4.

**Figure 4.**

*Mean and standard deviation evolution of nonspeech sequenced movements through time*



**Table 4.**

*Results of the growth curve model on nonspeech sequenced movement's trajectory*

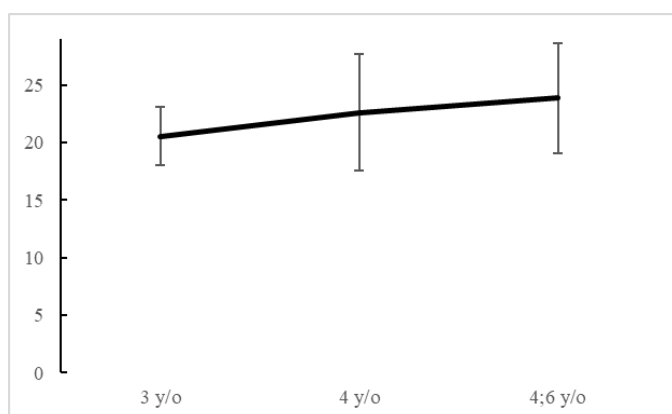
| Explored effect                               | Fixed effects |      |          |      |          | Random effects |                       |      |          |          |
|---|---------------|------|----------|------|----------|----------------|-----------------------|------|----------|----------|
|   | Coeff         | SE   | <i>t</i> | d.f. | <i>p</i> | SD             | <i>s</i> <sup>2</sup> | d.f. | $\chi^2$ | <i>p</i> |
| Linear time main effect                       | 2.98          | 0.39 | 7.64     | 86   | <0.001   |                |                       |      |          |          |
| Inter-subject variability at baseline         |               |      |          |      |          | 2.21           | 4.89                  | 31   | 39.24    | 0.15     |
| Inter-subject variability through development |               |      |          |      |          | 1.27           | 1.61                  | 31   | 41.66    | 0.10     |

### *Developmental trajectory of nonspeech orofacial functions*

Mean *function* score at 3 years-old was 20.53 (*SD*= 2.53) and increased significantly by an average of 1.33 points between each session (Figure 5). There was variability between children's performance at age that was not explained by the children's gender. These differences disappeared during development. Detailed statistics results are available in Table 5.

**Figure 5.**

*Mean and standard deviation evolution of nonspeech orofacial functions (max. 29 points) through time*



**Table 5.**

*Results of the growth curve model on nonspeech orofacial functions' trajectory*

| Explored effect                               | Fixed effects |      |          |      |                | Random effects |                       |      |          |              |
|---|---------------|------|----------|------|----------------|----------------|-----------------------|------|----------|--------------|
|   | Coeff         | SE   | <i>t</i> | d.f. | <i>p</i>       | SD             | <i>s</i> <sup>2</sup> | d.f. | $\chi^2$ | <i>p</i>     |
| Linear time main effect                       | 1.33          | 0.18 | 7.58     | 86   | < <b>0.001</b> |                |                       |      |          |              |
| Inter-subject variability at baseline         |               |      |          |      |                | 1.81           | 3.28                  | 31   | 52.74    | <b>0.009</b> |
| Inter-subject variability through development |               |      |          |      |                | 0.39           | 0.15                  | 31   | 29.23    | >0.50        |
| Main gender effect at baseline                | 0.52          | 0.59 | 0.88     | 30   | 0.39           |                |                       |      |          |              |

## **Main effects**

### *Influence of nonspeech orofacial functions on oral motor skills*

As it is described in Table 6, the improvement over time of the nonspeech orofacial functions measured by the OMES scores was not influenced by the development of the isolated movements, nor the development of sequenced movements, nor DDK results.

### *Influence of oral motor skills on speech accuracy*

The improvement of the isolated nonspeech movements and DDK does not influence the development of speech accuracy, whereas the development of sequenced nonspeech movement seemed to a negative play a role in the development of speech accuracy. Results are described in Table 6.

### *Influence of nonspeech orofacial functions on speech accuracy*

The improvement of the isolated nonspeech movement does not influence the development of speech accuracy. Results are described in Table 6.

**Table 6.**

*Results of the growth curve model on main effects during development*

| Explored effect   | Fixed effects |      |          |      |              |
|---|---------------|------|----------|------|--------------|
|   | Coeff         | SE   | <i>t</i> | d.f. | <i>p</i>     |
| <i>Oral motor skills effects on nonspeech orofacial functions</i> |               |      |          |      |              |
| Main effect of DDK on functions considering time                  | 0.03          | 0.04 | 0.87     | 48   | 0.39         |
| Main effect of mobility on functions considering time             | 0.08          | 0.09 | 0.98     | 48   | 0.39         |
| Main effect of sequences on functions considering time            | 0.09          | 0.08 | 1.14     | 48   | 0.26         |
| <i>Oral motor skills effects on speech accuracy</i>               |               |      |          |      |              |
| Main effect of DDK on PCC considering time                        | 0.20          | 0.12 | 1.70     | 29   | 0.09         |
| Main effect of mobility on PCC considering time                   | -0.46         | 0.31 | -1.49    | 31   | 0.15         |
| Main effect of sequences on PCC considering time                  | -0.51         | 0.23 | -2.20    | 31   | <b>0.036</b> |
| <i>Nonspeech orofacial effect functions on speech accuracy</i>    |               |      |          |      |              |
| Main effect of functions on PCC considering time                  | -0.10         | 0.33 | -0.30    | 31   | 0.77         |

## Discussion

The goal of this longitudinal study was to describe the developmental trajectories of nonspeech orofacial functions, oral motor skills and speech accuracy. Secondly, the study aimed to preliminary explore the potential role of oral motor skills from articulators as a common mechanism underlying both speech production and nonspeech orofacial functions during typical development in preschoolers. First, the study explored the developmental trajectories of speech accuracy, NSOMs, DDK and nonspeech orofacial functions in preschool children. All variables showed a linear evolution over time. The evolution of speech accuracy is expected (MacLeod et al., 2011) and consistent with the theoretical refinement phase (Green et al., 2000; Iuzzini-Seigel et al., 2015), even though the PCC results are overall lower compared to what is seen in the literature on French-speaking children (for more explanation about these results, see Warnier et al., 2022). Progress was also expected for NSOMs (Bearzotti et al., 2007; Canning & Rose, 1974; Ozanne, 1992) and DDK (see Kent et al., 2022 for a review). These results go against the observations of Williams and Stackhouse (1998, 2000) who did not find any evolution for the rate scoring of DDK and nonpseech sequenced movements of the tongue, raising questions about the inference and interpretation of developmental effects from cross-sectional data. The evolution of nonspeech orofacial functions has been little explored in experimental studies. McAllister and Lundeborg Hammarström (2014) also inferred the evolution of orofacial functions based on cross-sectional data with the NOT-S, but as we will discuss below, there are limitations for using such tool to assess orofacial functions. Besides, some subtests and scoring of the OMES' *functions* subtest had to be adapted (as described in the methodology section) because of major differences

with the originally targeted population. This information should be taken into consideration when interpreting the results. We added a tape test (Zaghi et al., 2020) to meet the requirements of the OMES *breathing* subtest scoring, yet inter-judge fidelity was still difficult to achieve. This highlights the need for better criteria to determine the breathing pattern. Moreover, OMES is normally validated in its entirety but we did not consider the *appearance* subtest and we split the two parts to be able to assess NSOMs and orofacial functions separately. The presence of a developmental effect for all our measurements confirms the importance of tool standardization according to age, which is currently not systematic. For example, the NOT-S and the OMES are based on cut-off value and PCC was originally designed for cut-off score too (Shriberg et al., 1997).

The second aim of the study was to explore the interaction between speech development and development of nonspeech orofacial functions through oral motor skills. It is interesting to explore these links at the preschool age. Indeed, the motor control is well studied during the emergence of speech because its role is crucial (Green et al., 2000) but much less during the refinement period of which still undergoes a progressive improvement in oral motor skills (Iuzzini-Seigel et al., 2015). First, the results do not confirm the involvement of oral motor skills in myofunctional development. The relationship between the two often been posited as rather straightforward. For example, the definition of OMDs is described as « pattern involving oral and orofacial musculature » (ASHA, n.d.-b; Billings et al., 2018). Tests like OMES, MBGR and NOT-S include NSOMs as part of the assessment of orofacial functions. This use may reflect the confusion about mixing quite heterogeneous concepts. On one hand, breathing, swallowing and chewing rely on different mechanisms even if they

interact (Junqueira et al., 2010) and have obvious common physiological and neurological processes (Avivi-Arber et al., 2011). Hence, it is plausible that they respond differently during the developmental trajectory (McAllister & Lundeborg Hammarström, 2014). On the other hand, what has been considered as NSOMs has been great variability in the literature (Kent, 2015) and could not be directly related to orofacial functions. Voluntary oral movements on request might not be representative of the fine oral motor underlying skills, as motor systems express differently according to the task (Vick et al., 2012; Whalen, 2019). As a final point, motor implications could be less striking in typically developing children, stressing the needed to further explore the link between NSOMs and nonspeech orofacial functions in OMDs to replicate divergent results previously described (Andrada e Silva et al., 2012; Hale et al., 1992; de Mattos, 2018; Prado et al., 2015).

In our study, the development of isolated motor skills and DDK turned out not to be involved in the development of speech accuracy in these typically developing children, as it was the case for several studies (Hale et al., 1992; Kehoe & Cretton, 2021) and congruent with Williams and Stackhouse hypothesis (2000). All oral motor skills measurements showed, as expected, significant variability at 3-year-old (Ozanne, 1992; Pam Williams & Stackhouse, 2000), but NSOMs and DDK variability was no longer significant during development. Variability in oral motor skills seems to stabilize, despite continuing to refine (Green et al., 2000; Grigos, 2016), while speech accuracy which continues to show great variability (Vick et al., 2012). It is interesting to note that gender was not an explanatory factor for any of the variability found in any of the measures, replicating the results found by Vick et al. (2012). The implication of gender as an explanatory factor for the



variability in speech can therefore be dismissed. Cross-sectional studies in different languages sometimes show no gender difference (Amayreh & Dyson, 1998; Vick et al., 2012), and sometimes better performance for girls (Fatemi Syada et al., 2018), especially late in the preschool period (Dodd et al., 2003). These potential differences would not be sufficient to explain a particular developmental trajectory, which is congruent with the results of Phoon et al. (2014) who found an effect of age on articulatory accuracy, but no age-gender interaction. To get back to the results on the absence of relationship between oral motor skills in speech accuracy, two hypotheses can be drawn. This first hypothesis is that there is indeed, as several authors claim, no link between nonverbal or quasi-speech skills and speech (Gadesmann & Miller, 2008; Maas, 2017). Another hypothesis could be that the absence of variability in the development of oral motor skills is a reason why no relationship can be demonstrated. The stability of oral motor skills could be a normal developmental stage that precedes the refinement of speech. In their study, Vick et al. (2012) found a relationship between oral movements and speech but also demonstrated a significant age difference between two of the three clusters of preschool children. The group with low phonemic accuracy was the youngest (mean age: 42.9 months) and the group with high stability of oral motor movements and high speech accuracy was the oldest (mean age: 49.3 months). The authors, because of the cross-sectional nature of the study, claimed that it was not possible to determine whether “*each child expresses the speech characteristics of a single cluster throughout development*”, whether “*each child will manifest the characteristics of each cluster in order through different periods of development*” or whether “*developmental periods elicit the characteristics of a specific cluster*” (Vick, 2012, p. 2897). According to

the hypothesis we formulate here, based on longitudinal data, the stability in oral motor skills might be a prerequisite for speech refinement, suggesting that developmental periods could in fact elicit some of the characteristics and that characteristics manifest sequentially within each child. There would be no direct link but rather a catalyzing role through key periods as it is the case for the vocabulary (Luzzini-Seigel et al., 2015). The negative relationship that we found between the sequenced NSOMs and the accuracy of speech would therefore be clarified by this development in phase opposition. However, this hypothesis must be replicated before drawing any conclusions.

Our developmental study also found no evidence of a relationship between the development of orofacial functions and the development of speech accuracy. Overall, clinical studies that explore the link between speech and nonspeech orofacial functions (Borox et al., 2018; Hitos et al., 2013; Junqueira et al., 2010; Laine et al., 1992; Pahkala et al., 1991; Wadsworth & Maul, 1998) have significant methodological weaknesses such as vague definitions of the underlying concepts, the absence of a comparison group, or no consideration for the developmental aspect. A recent systematic review of the literature investigates the link between orofacial myofunctional disorders (OMDs) and what authors call “articulation disorders”. Again, the terminologies used underlie very different concepts both for nonspeech dysfunctions (e.g., the review includes biting habits or bruxism) or articulation (outcomes of included articles vary from distortions observed by a dentist to speech intelligibility assessed by a Speech-Language Pathologist). In this context, it is difficult to compare results and great caution should be used in the

future, even more when direct links are suggested in clinical practice (Bahr, 2010; Merkel-Walsh, 2020; Senez, 2015).

Some elements could have influenced the general lack of link found in our results. Chosen statistical models are extremely relevant to reflect developmental effect as time is considered as an explanatory variable, which is consistent with our initial hypotheses. The change over time was significant for all variables and takes an extremely important explicative part in the model. Thus, time could mask possible effects if these existed but were of minor size. Moreover, our tasks were chosen for their clinical purpose, and thus had the advantage of having a practical implication but may have been less controlled than laboratory tasks. For instance, Rong (2020) highlighted very specific shared and independent motor mechanisms between speech and DDK. This kind of very controlled laboratory task can provide evidence of finer motor relationships but may not be replicated in a clinical environment, as was the case here.

The results of this study question the implication of voluntary oral movements for both speech and nonspeech orofacial functions. Both undeniably rely on fine oral motor systems during development but these systems could be either task-specific (Maas, 2017) or clinical tasks aren't able to express the potential relationship. Results are preliminary and should be interpreted with great caution.

## **Conclusion**

In summary, the present research showed great progression in speech accuracy, NSOMs, DDK and nonspeech orofacial functions in preschool children. Our study confirms that this is a period of great variability in speech production, but the variability among children for all oral motor skills assessed and nonspeech orofacial functions

stabilize over time, even though they continue to evolve. The results did not demonstrate any relationship between speech development and development of nonspeech orofacial functions through oral motor skills. However, a significant negative correlation between sequenced NSOMs and speech accuracy suggests that more research is needed on the subject. Studies on disordered population using consistent definitions of terminology and strong methodologies should now be implemented.

## References

- Alcock, K. (2006). The development of oral motor control and language. *Down's Syndrome, Research and Practice*, 11(1), 1–8. <https://doi.org/10.3104/reports.310>
- Almotairy, N., Kumar, A., Trulsson, M., & Grigoriadis, A. (2018). Development of the jaw sensorimotor control and chewing - a systematic review. *Physiology and Behavior*, 194(April), 456–465. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.06.037>
- Amayreh, M. M., & Dyson, A. T. (1998). The Acquisition of Arabic Consonants. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 41(3), 642–653. <https://doi.org/10.1044/jslhr.4103.642>
- Andrada e Silva, M. A., Marchesan, I. Q., Ferreira, L. P., Schmidt, R., & Ramires, R. R. (2012). Posture, lips and tongue tone and mobility of mouth breathing children. *Revista CEFAC*, 14(5), 853–860.
- Aram, D. M., & Horwitz, S. J. (1983). Sequential and Non-speech Praxic Abilities in Developmental Verbal Apraxia. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 25(2), 197–206. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1983.tb13744.x>
- ASHA. (n.d.). *Orofacial Myofunctional Disorders: overview*. Asha

- website. <https://www.asha.org/Practice-Portal/Clinical-Topics/Orofacial-Myofunctional-Disorders/>
- Avivi-Arber, L., Martin, R., Lee, J. C., & Sessle, B. J. (2011). Face sensorimotor cortex and its neuroplasticity related to orofacial sensorimotor functions. *Archives of Oral Biology*, *56*(12), 1440–1465. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2011.04.005>
- Bahr, D. (2010). *Nobody ever told me (or my mother) that! Everything from bottles and breathing to healthy speech development!* Arlington, Texas : Sensory World.
- Bakke, M., Bergendal, B., McAllister, A., Sjögreen, L., & Asten, P. (2007). Development and evaluation of a comprehensive screening for orofacial dysfunction. *Swed Dent J*, *31*(2), 75–84. [http://www.mun-h-center.se/siteassets/munhcenter/3-information-och-utbildning/4--not-s/not-s-guidance\\_eng\\_161123.pdf](http://www.mun-h-center.se/siteassets/munhcenter/3-information-och-utbildning/4--not-s/not-s-guidance_eng_161123.pdf)
- Barlow, S. M., Radder, J. P. L., Radder, M. E., & Radder, A. K. (2010). Central pattern generators for orofacial movements and speech. In S. M. Brudzynski (Ed.), *Handbook of Behavioral Neuroscience* (pp. 351–369). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374593-4.00033-4>
- Bearzotti, F., Tavano, A., & Fabbro, F. (2007). Development of orofacial praxis of children from 4 to 8 years of age. *Perceptual and Motor Skills*, *104*(3 II), 1355–1366. <https://doi.org/10.2466/PMS.104.4.1355-1366>
- Bertagnolli, A. P. C., Gubiani, M. B., Ceron, M., & Keske-Soares, M. (2015). Orofacial praxis abilities in children with speech disorders. *International Archives of Otorhinolaryngology*, *19*(4), 286–292. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1551550>
- Billings, M., Gatto, K., D’Onofrio, L., Merkel-Walsh, R., & Archambault,

- N. (2018). *Orofacial myofunctional disorders* (Report). IAOM. <http://iaom.com/wp-content/uploads/2018/10/OMD-Overview-IAOM.pdf>
- Borox, T., Leite, A. P. D., Bagarollo, M. F., Alencar, B. L. F. de, & Czlusniak, G. R. (2018). Speech production assessment of mouth breathing children with hypertrophy of palatines and/or pharyngeal tonsils. *Revista CEFAC*, *20*(4), 468–477. <https://doi.org/10.1590/1982-021620182043118>
- Bu'Lock, F., Woolridge, M. W., & Baum, J. D. (1990). Development of co-ordination of sucking, swallowing and breathing: ultrasound study of term and preterm infants. *Developmental Medicine & Child Neurology*, *32*, 669–678. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1990.tb08427.x>
- Canning, B. A., & Rose, M. F. (1974). Clinical Measurements of the Speed of Tongue and Lip Movements in British Children with Normal Speech. *International Journal of Language & Communication Disorders*, *9*(1), 45–50. <https://doi.org/10.3109/13682827409011607>
- Clarke, J. D. (2020). *Development of speech motor control for language: motor analysis from phonetic transcripts* [Doctoral thesis, The State University of New Jersey]. <https://doi.org/10.7282/T3-QP1Y-PX13>
- Connaghan, K. P., Moore, C. A., & Higashakawa, M. (2004). Respiratory Kinematics During Vocalization and Nonspeech Respiration in Children From 9 to 48 Months. *Journal of Speech Language and Hearing Research*, *47*(1), 70. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2004/007\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2004/007))
- de Felício, C. M., & Ferreira, C. L. P. (2008). Protocol of orofacial

- myofunctional evaluation with scores. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 72(3), 367–375. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2007.11.012>
- de Felício, C. M., Medeiros, A. P. M., & De Oliveira Melchior, M. (2012). Validity of the “protocol of oro-facial myofunctional evaluation with scores” for young and adult subjects. *Journal of Oral Rehabilitation*, 39(10), 744–753. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.2012.02336.x>
- Dodd, B., Holm, A., Hua, Z., & Crosbie, S. (2003). Phonological development: A normative study of British English-speaking children. *Clinical Linguistics and Phonetics*, 17(8), 617–643. <https://doi.org/10.1080/0269920031000111348>
- Dunn, L. M., Dunn, L. M., & Thériault-Whalen, C. M. (1993). *Échelle de vocabulaire en images Peabody adaptation française du Peabody Picture Vocabulary Test*. Psycan.
- Ettala-Ylitalo, U. M., & Laine, T. (1991). Functional disturbances of the masticatory system in relation to articulatory disorders of speech in a group of 6-8-year-old children. *Archives of Oral Biology*, 36(3), 189–194. [https://doi.org/10.1016/0003-9969\(91\)90085-9](https://doi.org/10.1016/0003-9969(91)90085-9)
- Farias, S. R. De, Regina, C., Ávila, B. De, & Vieira, M. M. (2006). Relationship between speech, tonus and non-verbal praxis of the stomatognathic system in preschoolers. *Pró-Fono Revista de Atualização Científica*, 18(3), 267–276.
- Fatemi Syada, S., Zarifian, T., Modarresi, Y., Zahedi, M. S., Ebrahimipour, M., & Biglarian, A. (2018). Percentage of Consonants Correct for 3-5 Years Old Kurdish-Speaking Children With Middle Kurmanji-Mukryani Dialect. *Iranian Rehabilitation Journal*, 16(2), 155–162. <https://doi.org/10.32598/irj.16.2.155>
- Green, J. R., Moore, C. A., Higashikawa, M., & Steeve, R. W. (2000).

- The Physiologic Development of Speech Motor Control: Lip and Jaw Coordination. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 43(1), 239–255. <https://doi.org/10.1044/jslhr.4301.239>
- Grigos, M. I. (2016). Speech Sound Disorders: What's Motor Got To Do With It? *Perspectives of the ASHA Special Interest Groups*, 1(1), 75–87. <https://doi.org/10.1044/persp1.sig1.75>
- Gubiani, M. B., & Carli, C. M. De. (2015). Phonological disorder and alterations of orofacial praxis and the stomatognathic system. *Rev CEFAC*, 17(1), 134–142.
- Gubiani, M. B., Pagliarin, K. C., & Keske-Soares, M. (2015). Tools for the assessment of childhood apraxia of speech. *Codas*, 27(6), 610–615. <https://doi.org/10.1590/2317-1782/20152014152>
- Gubiani, M., Ceron, M., & Keske-Soares, M. (2012). Relationship between the severity of speech impairment and skills orofacial practice. *International Archives of Otorhinolaryngology*, 16(Suppl 1), 32. <https://doi.org/10.7162/s1809-9777201200s1f-033>
- Hale, S., Kellum, G. D., Richardson, J. F., Messer, S. C., Gross, A. M., & Sisakun, S. (1992). Oral Motor Control, Posturing, and Myofunctional Variables in 8-Year-Olds. *Journal of Speech & Hearing Research*, 35(6), 1203. [https://doi.org/10.20595/jjbf.19.0\\_3](https://doi.org/10.20595/jjbf.19.0_3)
- Hammer, J., & Eber, E. (2005). The Peculiarities of Infant Respiratory Physiology. In J. B. Hammer & E. G. Eber (Eds.), *Progress in Respiratory Research* (pp. 2–7). Karger. <https://doi.org/10.1159/000083486>
- Hanson, M., & Mason, R. M. (2003). *Orofacial Myology: international perspectives*. Charles C Thomas.
- Hickok, G. (2012). Computational neuroanatomy of speech production. *Nature Reviews Neuroscience*, 13(2), 135–145.



<https://doi.org/10.1038/nrn3158>

Hitos, S. F., Arakaki, R., Solé, D., & Weckx, L. L. M. M. (2013). Oral breathing and speech disorders in children. *Jornal de Pediatria*, 89(4), 361–365. <https://doi.org/10.1016/j.jpmed.2012.12.007>

Ingram, D., & Ingram, K. D. (2011). Frame-content theory as an account of early phonological acquisition. *The Phonetician*, 103–104(I/II), 7–19.

Bureau International d'Audiophonologie (BIAP). (1996). *Audiometric Classification of Hearing Impairments* (Report 02/1). BIAP recommendation.

<https://www.biap.org/en/recommandations/recommendations/tc-02-classification/213-rec-02-1-en-audiometric-classification-of-hearing-impairments/file>

Iuzzini-Seigel, J., Hogan, T. P., Rong, P., & Green, J. R. (2015). Longitudinal Development of Speech Motor Control: Motor and Linguistic Factors. *Journal of Motor Learning and Development*, 3(1), 53–68. <https://doi.org/10.1123/jmld.2014-0054>

Junqueira, P., Marchesan, I. Q., de Oliveira, L. R., Ciccone, E., Haddad, L., & Rizzo, M. C. (2010). Speech-language pathology findings in patients with mouth breathing: multidisciplinary diagnosis according to etiology. *The International Journal of Orofacial Myology*, 36, 27–32. <https://ijom.iaom.com/cgi/viewcontent.cgi?article=1050&context=journal>

Jürgens, U. (1998). Speech evolved from vocalization, not mastication. *Behavioral and Brain Sciences*, 21(4), 519–520. <https://doi.org/10.1017/s0140525x98321263>

Kehoe, M., & Cretton, E. (2021). Intraword variability in French-speaking monolingual and bilingual children. *Journal of Speech*,

- Language, and Hearing Research*, 64(7), 2453–2471.  
[https://doi.org/10.1044/2021\\_JSLHR-20-00558](https://doi.org/10.1044/2021_JSLHR-20-00558)
- Kent, R. D. (2015). Nonspeech oral movements and oral motor disorders: A narrative review. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 24(4), 763–789.  
[https://doi.org/10.1044/2015\\_AJSLP-14-0179](https://doi.org/10.1044/2015_AJSLP-14-0179)
- Kent, R. D., Kim, Y., & Chen, L. M. (2022). Oral and laryngeal diadochokinesis across the life span: A scoping review of methods, reference data, and clinical applications. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 65(2), 574–623.  
[https://doi.org/10.1044/2021\\_JSLHR-21-00396](https://doi.org/10.1044/2021_JSLHR-21-00396)
- Knösel, M., Klein, S., Bleckmann, A., & Engelke, W. (2012). Coordination of tongue activity during swallowing in mouth-breathing children. *Dysphagia*, 27(3), 401–407.  
<https://doi.org/10.1007/s00455-011-9383-8>
- Laine, M. T., Pahkala, R. H., Jaroma, S. M., & Qvarnström, M. J. (1992). Associations among different orofacial dysfunctions in 6-8 year olds. *Archives of Oral Biology*, 37(11), 895–899.  
[https://doi.org/10.1016/0003-9969\(92\)90060-L](https://doi.org/10.1016/0003-9969(92)90060-L)
- Lancheros, M., Jouen, A. L., & Laganaro, M. (2020). Neural dynamics of speech and nonspeech motor planning. *Brain and Language*, 203, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2020.104742>
- Lancheros, M., Pernon, M., & Laganaro, M. (2022). Is there a continuum between speech and other oromotor tasks? Evidence from motor speech disorders. *Aphasiology*, 1–20.  
<https://doi.org/10.1080/02687038.2022.2038367>
- Lof, G. L. (2003). Oral motor exercises and treatment outcomes. *Perspectives on Language Learning and Education*, 10(1), 7–11.  
<https://doi.org/10.1044/lle10.1.7>

- Maas, E. (2017). Speech and nonspeech: What are we talking about? *International Journal of Speech-Language Pathology*, 19(4), 345–359. <https://doi.org/10.1080/17549507.2016.1221995>
- MacLeod, A. A. N., Sutton, A., Trudeau, N., & Thordardottir, E. (2011). The acquisition of consonants in Québécois French: A cross-sectional study of pre-school aged children. *International Journal of Speech-Language Pathology*, 13(2), 93–109. <https://doi.org/10.3109/17549507.2011.487543>
- MacNeilage, P. F. (1998). The frame/content theory of evolution of speech production. *Behavioral and Brain Sciences*, 21(4), 499–546. <https://doi.org/10.1017/S0140525X98001265>
- Marchesan, I. Q., Berretin-Félix, G., & Genaro, K. F. (2012). MBGR protocol of orofacial myofunctional evaluation with scores. *The International Journal of Orofacial Myology*, 38, 38–77.
- de Mattos, F. M. G. F. de. (2018). Orofacial myofunctional characteristics of oral and oronasal breathers. *Revista CEFAC*, 20(4), 459–467. <https://doi.org/10.1590/1982-021620182042818>
- McAllister, A., & Lundeborg Hammarström, I. (2014). Oral sensorimotor function in typically developing children 3 to 8 years old as assessed by the Nordic Orofacial Test, NOT-S. *Journal of Medical Speech-Language Pathology*, 21(1), 51–59.
- McAllister Byun, T., Inkelas, S., & Rose, Y. (2016). The A-map model: Articulatory reliability in child-specific phonology. *Language*, 92(1), 141–178. <https://doi.org/10.1353/lan.2016.0000>
- McFarland, D. H. (2022). *Netter's Atlas of Anatomy for Speech, Swallowing, and Hearing* (2nd ed.). Elsevier.
- Meloni, G., Schott-Brua, V., Vilain, A., Loevenbruck, H., Consortium, E., & MacLeod, A. A. N. (2020). Application of childhood apraxia of speech clinical markers to French-speaking children: A

- preliminary study. *International Journal of Speech-Language Pathology*, 22(6), 683–695.  
<https://doi.org/10.1080/17549507.2020.1844799>
- Merkel-Walsh, R. (2020). Orofacial myofunctional therapy with children ages 0-4 and individuals with special needs. *International Journal of Orofacial Myology and Myofunctional Therapy*, 46(1), 22–36. <https://doi.org/10.52010/ijom.2020.46.1.3>
- Mogren, Å., McAllister, A., & Sjögreen, L. (2021). Range of motion (ROM) in the lips and jaw during vowels assessed with 3D motion analysis in Swedish children with typical speech development and children with speech sound disorders. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 1–11. <https://doi.org/10.1080/14015439.2021.1890207>
- Mogren, Å., Sjögreen, L., Barr Agholme, M., & McAllister, A. (2020). Orofacial function in children with Speech Sound Disorders (SSD) persisting after the age of six years. *International Journal of Speech-Language Pathology*, 22(5), 526–536.  
<https://doi.org/10.1080/17549507.2019.1701081>
- Morgan, A. T., & Liégeois, F. (2010). Re-thinking diagnostic classification of the dysarthrias: A developmental perspective. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 62(3), 120–126.  
<https://doi.org/10.1159/000287210>
- Munson, B., Edwards, J., & Beckman, M. E. (2011). Phonological representations in language acquisition: climbing the ladder of abstraction. In *The Oxford Handbook of Laboratory Phonology*. Oxford University Press.  
<https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199575039.013.0012>
- Murray, E., Iuzzini-Seigel, J., Maas, E., Terband, H., & Ballard, K. J. (2021). Differential diagnosis of childhood apraxia of speech compared to other speech sound disorders: A systematic review.

- American Journal of Speech-Language Pathology*, 30(1), 279–300. [https://doi.org/10.1044/2020\\_AJSLP-20-00063](https://doi.org/10.1044/2020_AJSLP-20-00063)
- Newmeyer, A. J., Grether, S., Grasha, C., White, J., Akers, R., Aylward, C., Ishikawa, K., & Degrauw, T. (2007). Fine motor function and oral-motor imitation skills in preschool-age children with speech-sound disorders. *Clinical Pediatrics*, 46(7), 604–611. <https://doi.org/10.1177/0009922807299545>
- Noveen, S., Ullah, S. H., & Alam, B. (2018). Correlation between articulation disorders and oral motor mechanism. *Annals of King Edward Medical University*, 24(1), 653–658. <https://doi.org/https://doi.org/10.21649/akemu.v24i1.2366>
- Ozanne, A. E. (1992). Normative data for sequenced oral movements and movements in context for children aged Three to Five Years. *Australian Journal of Human Communication Disorders*, 20(2), 47–63. <https://doi.org/10.3109/asl2.1992.20.issue-2.04>
- Pahkala, R., Laine, T., Närhi, M., & Ettala-Ylitalo, U.-M. (1991). Relationship between craniomandibular dysfunction and pattern of speech sound production in a series of first-graders. *European Journal of Orthodontics*, 13(5), 378–385. <https://doi.org/10.1093/ejo/13.5.378>
- Phoon, H. S., Abdullah, A. C., Lee, L. W., & Murugaiah, P. (2014). Consonant acquisition in the Malay language: A cross-sectional study of preschool aged malay children. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 28(5), 329–345. <https://doi.org/10.3109/02699206.2013.868517>
- Piancino, M. G., Isola, G., Cannavale, R., Cutroneo, G., Vermiglio, G., Bracco, P., & Anastasi, G. P. (2017). From periodontal mechanoreceptors to chewing motor control: A systematic review. In *Archives of Oral Biology* (Vol. 78, pp. 109–121).

<https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2017.02.010>

- Prado, D. G. de A., Sovinski, S. R. P., Nary Filho, H., Brasolotto, A. G., & Berretin-Felix, G. (2015). Oral motor control and orofacial functions in individuals with dentofacial deformity. *Audiology - Communication Research*, 20(1), 76–83. <https://doi.org/10.1590/S2317-64312015000100001427>
- Redford, M. A. (2019). Speech production from a developmental perspective. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 62(8), 2946-2962. [https://doi.org/10.1044/2019\\_JSLHR-S-CSMC7-18-0130](https://doi.org/10.1044/2019_JSLHR-S-CSMC7-18-0130)
- Rong, P. (2020). Neuromotor Control of Speech and Speechlike Tasks: Implications From Articulatory Gestures. *Perspectives of the ASHA Special Interest Groups*, 5(5), 1324–1338. [https://doi.org/10.1044/2020\\_persp-20-00070](https://doi.org/10.1044/2020_persp-20-00070)
- Rose, Y., & MacWhinney, B. (2014). The Phonbank Project: Data and software-assisted methods for the study of phonology and phonological development. *The Oxford Handbook of Corpus Phonology*, 380–401. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199571932.013.023>
- Ruscello, D. M. (2010). Collective findings neither support nor refute the use of oral motor exercises as a treatment for speech sound disorders<sup>1</sup>. *Evidence-Based Communication Assessment and Intervention*, 4(2), 65–72. <https://doi.org/10.1080/17489539.2010.501168>
- Rvachew, S., & Brosseau-Lapré, F. (2018). *Developmental phonological disorders : foundations of clinical practice* (2nd ed.). Plural Publishing.
- Sampallo-Pedroza, R. M., Cardona-López, L. F., & Ramírez-G mez, K. E. (2014). Description of oral-motor development from birth to

- six years of age. *Revista Facultad de Medicina*, 62(4), 593–604.  
<https://doi.org/10.15446/revfacmed.v62n4.45211>
- Senez, C. (2015). *Rééducation des troubles de l'oralité et de la déglutition*. De Boeck Supérieur.
- Shriberg, L. D., Austin, D., Lewis, B. A., McSweeney, J. L., & Wilson, D. L. (1997). The Percentage of Consonants Correct (PCC) Metric. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 40(4), 708–722. <https://doi.org/10.1044/jslhr.4004.708>
- Shriberg, L. D., Kwiatkowski, J., & Mabbie, H. L. (2019). Estimates of the prevalence of motor speech disorders in children with idiopathic speech delay. *Clinical Linguistics and Phonetics*, 33(8), 679–706. <https://doi.org/10.1080/02699206.2019.1595731>
- Smith, A. (2006). Speech motor development: Integrating muscles, movements, and linguistic units. *Journal of Communication Disorders*, 39(5), 331–349. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2006.06.017>
- Smith, A. (2010). Development of Neural Control of Orofacial Movements for Speech. In W. J. Hardcastle, J. Laver, & F. E. Gibbon (Eds.), *The Handbook of Phonetic Sciences: Second Edition* (pp. 251–296). Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781444317251.ch7>
- Sousa, V. D., & Rojjanasrirat, W. (2011). Translation, adaptation and validation of instruments or scales for use in cross-cultural health care research: A clear and user-friendly guideline. *Journal of Evaluation in Clinical Practice*, 17(2), 268–274. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2753.2010.01434.x>
- Steeve, R. W., & Moore, C. A. (2009). Mandibular motor control during the early development of speech and nonspeech behaviors. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 52(6),

- 1530–1554. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2009/08-0020\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2009/08-0020))
- Sylvestre, A., Bouchard, C., Di Sante, M., Julien, C., Martel-Sauvageau, V., & Leblond, J. (2020). Normative indicators of language development in québec french at 36, 42, and 48 months of age: Results of the ellan study. *Canadian Journal of Speech-Language Pathology and Audiology*, *44*(3), 137–150. [https://cjslpa.ca/files/2020\\_CJSLPA\\_Vol\\_44/No\\_3/CJSLPA\\_Vol\\_44\\_No\\_3\\_2020\\_1200.pdf](https://cjslpa.ca/files/2020_CJSLPA_Vol_44/No_3/CJSLPA_Vol_44_No_3_2020_1200.pdf)
- Takai, O., Brown, S., & Liotti, M. (2010). Representation of the speech effectors in the human motor cortex: Somatotopy or overlap? *Brain and Language*, *113*(1), 39–44. <https://doi.org/10.1016/J.BANDL.2010.01.008>
- Thijs, Z., Bruneel, L., De Pauw, G., & Van Lierde, K. M. (2022). Oral myofunctional and articulation disorders in children with malocclusions: A systematic review. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, *74*(1), 1–16. <https://doi.org/10.1159/000516414>
- Thordardottir, E., Keheyia, E., Lessard, N., Sutton, A., & Trudeau, N. (2010). Typical performance on tests of language knowledge and language processing of French-speaking 5-year-olds. *Canadian Journal of Speech-Language Pathology and Audiology*, *34*(1), 5–16. [https://cjslpa.ca/files/2010\\_CJSLPA\\_Vol\\_34/No\\_01\\_1-80/Thordardottir\\_CJSLPA\\_2010.pdf](https://cjslpa.ca/files/2010_CJSLPA_Vol_34/No_01_1-80/Thordardottir_CJSLPA_2010.pdf)
- Vick, J. C., Campbell, T. F., Shriberg, L. D., Green, J. R., Abdi, H., Rusiewicz, H. L., Venkatesh, L., & Moore, C. A. (2012). Distinct developmental profiles in typical speech acquisition. *Journal of Neurophysiology*, *107*(10), 2885–2900. <https://doi.org/10.1152/jn.00337.2010>
- Vick, J., Campbell, T. F., Shriberg, L. D., Green, J. R., Truemper, K., Rusiewicz, H., & Moore, C. A. (2014). Data-driven



- subclassification of speech sound disorders in preschool children. *Journal of Speech & Hearing Research*, 57(6), 1–66.  
<https://doi.org/10.1044/2014>
- Wadsworth, D. D., & Maul, C. A. (1998). The prevalence of orofacial myofunctional disorders among children identified with speech and language disorders in grades kindergarten through six. *The International Journal of Orofacial Myology*, 24(1), 1–19.
- Waite, M. C., Theodoros, D. G., Russell, T. G., & Cahill, L. M. (2012). Assessing children's speech intelligibility and oral structures, and functions via an internet-based telehealth system. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 18(4), 198–203.  
<https://doi.org/10.1258/jtt.2012.111116>
- Warnier, M., Maillart, C., Rose, Y., & MacLeod, A. A. N. (2022). Exploring word production in three-year-old monolingual French-speaking children. *Clinical Linguistics & Phonetics*.  
<https://doi.org/10.1080/02699206.2022.2092424>
- Wechsler, D., & Naglieri, J. A. (2006). *Wechsler nonverbal scale of ability*. Pearson.
- Whalen, D. H. (2019). The motor theory of speech perception. In M. Aronoff (Ed.), *Oxford Research Encyclopedia of Linguistics*. Oxford University Press.  
<https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199384655.013.404>
- Williams, P., & Stackhouse, J. (1998). Diadochokinetic skills: normal and atypical performance in children aged 3-5 years. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 33, 481–486.  
<https://doi.org/10.3109/13682829809179472>.
- Williams, P., & Stackhouse, J. (2000). Rate, accuracy and consistency: Diadochokinetic performance of young, normally developing children. *Clinical Linguistics and Phonetics*, 14(4), 267–293.

<https://doi.org/10.1080/02699200050023985>

Zaghi, S., Peterson, C., Shamtoob, S., Fung, B., Kwok-Keung Ng, D., Jagomagi, T., Archambault, N., O'connor, B., Winslow, K., Peeran, Z., Lano, M., Murdock, J., Valcu-Pinkerton, S., & Morrissey, L. (2020). Nasal breathing using lip taping: A simple and effective screening tool. *International Journal of Otorhinolaryngology*, 6(1), 10–15.  
<https://doi.org/10.11648/j.ijo.20200601.13>

## Appendices

### Appendix 1.

#### *Chosen research equations for growth curves models*

| Analyses  | Research equations  |
|---|---|
| <b>Developmental trajectory of speech accuracy</b>                          |   |
| Cubic time main effect  | $PCC_{tij} = \pi_{0ij} + \pi_{1ij}*(TIME_{tij}) + \pi_{2ij}*(TIME\_CUBIC_{tij}) + e_{tij}$ $\pi_{0ij} = \beta_{00j}$ $\pi_{1ij} = \beta_{10j}$ $\pi_{2ij} = \beta_{20j}$                  |
| Linear time main effect   | $PCC_{tij} = \pi_{0ij} + \pi_{1ij}*(TIME_{tij}) + e_{tij}$ $\pi_{0ij} = \beta_{00j}$ $\pi_{1ij} = \beta_{10j}$  |
| Inter-subject variability at baseline                                       | $PCC_{tij} = \pi_{0ij} + \pi_{1ij}*(TIME_{tij}) + e_{tij}$ $\pi_{0ij} = \beta_{00j} + r_{0ij}$ $\pi_{1ij} = \beta_{10j} + r_{1ij}$  |
| Inter-subject variability through development                               | $PCC_{tij} = \pi_{0ij} + \pi_{1ij}*(TIME_{tij}) + e_{tij}$ $\pi_{0ij} = \beta_{00j} + r_{0ij}$ $\pi_{1ij} = \beta_{10j} + r_{1ij}$  |
| Main gender effect at baseline  | $PCC_{tij} = \pi_{0ij} + \pi_{1ij}*(TIME_{tij}) + e_{tij}$ $\pi_{0ij} = \beta_{00j} + \beta_{01j}*(GENDER_{ij}) + r_{0ij}$ $\pi_{1ij} = \beta_{10j} + \beta_{11}*(GENDER_{ij}) + r_{1ij}$ |
| Main gender effect through development                                      | $PCC_{tij} = \pi_{0ij} + \pi_{1ij}*(TIME_{tij}) + e_{tij}$ $\pi_{0ij} = \beta_{00j} + \beta_{01j}*(GENDER_{ij}) + r_{0ij}$ $\pi_{1ij} = \beta_{10j} + \beta_{11}*(GENDER_{ij}) + r_{1ij}$ |
| <b>Developmental trajectory of DDK</b>                                      |   |
| Cubic time main effect  | $DDK_{tij} = \pi_{0ij} + \pi_{1ij}*(TIME_{tij}) + \pi_{2ij}*(TIME\_CUBIC_{tij}) + e_{tij}$ $\pi_{0ij} = \beta_{00j}$ $\pi_{1ij} = \beta_{10j}$ $\pi_{2ij} = \beta_{20j}$                  |
| Linear time main effect   | $DDK_{tij} = \pi_{0ij} + \pi_{1ij}*(TIME_{tij}) + e_{tij}$ $\pi_{0ij} = \beta_{00j}$ $\pi_{1ij} = \beta_{10j}$  |
| Inter-subject variability at baseline                                       | $DDK_{tij} = \pi_{0ij} + \pi_{1ij}*(TIME_{tij}) + e_{tij}$ $\pi_{0ij} = \beta_{00j} + r_{0ij}$ $\pi_{1ij} = \beta_{10j} + r_{1ij}$  |
| Inter-subject variability through development                               | $DDK_{tij} = \pi_{0ij} + \pi_{1ij}*(TIME_{tij}) + e_{tij}$ $\pi_{0ij} = \beta_{00j} + r_{0ij}$ $\pi_{1ij} = \beta_{10j} + r_{1ij}$  |
| Main gender effect at baseline  | $DDK_{tij} = \pi_{0ij} + \pi_{1ij}*(TIME_{tij}) + e_{tij}$ $\pi_{0ij} = \beta_{00j} + \beta_{01j}*(GENDER_{ij}) + r_{0ij}$ $\pi_{1ij} = \beta_{10j} + \beta_{11}*(GENDER_{ij}) + r_{1ij}$ |
| Main gender effect through development                                      | $DDK_{tij} = \pi_{0ij} + \pi_{1ij}*(TIME_{tij}) + e_{tij}$ $\pi_{0ij} = \beta_{00j} + \beta_{01j}*(GENDER_{ij}) + r_{0ij}$ $\pi_{1ij} = \beta_{10j} + \beta_{11}*(GENDER_{ij}) + r_{1ij}$ |
| <b>Developmental trajectory of isolated NSOMS (<i>mobility</i> subtest)</b> |   |
| Linear time main effect   | $MOBILITY_{tij} = \pi_{0ij} + \pi_{1ij}*(TIME_{tij}) + e_{tij}$ $\pi_{0ij} = \beta_{00j}$ $\pi_{1ij} = \beta_{10j}$   |

|   |  |
|---|--|
| Inter-subject variability at baseline         | $MOBILITY_{ij} = \pi_{0ij} + \pi_{1ij}*(TIME_{ij}) + e_{ij}$<br>$\pi_{0ij} = \beta_{00j} + r_{0ij}$<br>$\pi_{1ij} = \beta_{10j} + r_{1ij}$                   |
| Inter-subject variability through development | $MOBILITY_{ij} = \pi_{0ij} + \pi_{1ij}*(TIME_{ij}) + e_{ij}$<br>$\pi_{0ij} = \beta_{00j} + r_{0ij}$<br>$\pi_{1ij} = \beta_{10j} + r_{1ij}$                   |
| Main gender effect at baseline                | $MOBILITY_{ij} = \pi_{0ij} + \pi_{1ij}*(TIME_{ij}) + e_{ij}$<br>$\pi_{0ij} = \beta_{00j} + \beta_{01j}*(GENDER_{ij}) + r_{0ij}$<br>$\pi_{1ij} = \beta_{10j}$ |

---

#### Developmental trajectory of sequenced NSOMS

|   |   |
|---|---|
| Linear time main effect                       | $SEQUENCED_{ij} = \pi_{0ij} + \pi_{1ij}*(TIME_{ij}) + e_{ij}$<br>$\pi_{0ij} = \beta_{00j}$<br>$\pi_{1ij} = \beta_{10j}$                     |
| Inter-subject variability at baseline         | $SEQUENCED_{ij} = \pi_{0ij} + \pi_{1ij}*(TIME_{ij}) + e_{ij}$<br>$\pi_{0ij} = \beta_{00j} + r_{0ij}$<br>$\pi_{1ij} = \beta_{10j} + r_{1ij}$ |
| Inter-subject variability through development | $SEQUENCED_{ij} = \pi_{0ij} + \pi_{1ij}*(TIME_{ij}) + e_{ij}$<br>$\pi_{0ij} = \beta_{00j} + r_{0ij}$<br>$\pi_{1ij} = \beta_{10j} + r_{1ij}$ |

---

#### Developmental trajectory of nonspeech orofacial functions

|   |   |
|---|---|
| Linear time main effect                       | $FUNCTIONS_{ij} = \pi_{0ij} + \pi_{1ij}*(TIME_{ij}) + e_{ij}$<br>$\pi_{0ij} = \beta_{00j}$<br>$\pi_{1ij} = \beta_{10j}$                                       |
| Inter-subject variability at baseline         | $FUNCTIONS_{ij} = \pi_{0ij} + \pi_{1ij}*(TIME_{ij}) + e_{ij}$<br>$\pi_{0ij} = \beta_{00j} + r_{0ij}$<br>$\pi_{1ij} = \beta_{10j} + r_{1ij}$                   |
| Inter-subject variability through development | $FUNCTIONS_{ij} = \pi_{0ij} + \pi_{1ij}*(TIME_{ij}) + e_{ij}$<br>$\pi_{0ij} = \beta_{00j} + r_{0ij}$<br>$\pi_{1ij} = \beta_{10j} + r_{1ij}$                   |
| Main gender effect at baseline                | $FUNCTIONS_{ij} = \pi_{0ij} + \pi_{1ij}*(TIME_{ij}) + e_{ij}$<br>$\pi_{0ij} = \beta_{00j} + \beta_{01j}*(GENDER_{ij}) + r_{0ij}$<br>$\pi_{1ij} = \beta_{10j}$ |

---

#### Influence of oral motor skills on nonspeech orofacial functions

|   |   |
|---|---|
| Main effect of DDK on functions considering time      | $FUNCTIONS_{ij} = \pi_{0ij} + \pi_{1ij}*(TIME_{ij}) + \pi_{2ij}*(DDK_{ij}) + e_{ij}$<br>$\pi_{0ij} = \beta_{00j} + r_{0ij}$<br>$\pi_{1ij} = \beta_{10j}$<br>$\pi_{2ij} = \beta_{20j}$       |
| Main effect of mobility on functions considering time | $FUNCTIONS_{ij} = \pi_{0ij} + \pi_{1ij}*(TIME_{ij}) + \pi_{2ij}*(MOBILITY_{ij}) + e_{ij}$<br>$\pi_{0ij} = \beta_{00j} + r_{0ij}$<br>$\pi_{1ij} = \beta_{10j}$<br>$\pi_{2ij} = \beta_{20j}$  |
| Main effect of sequence on functions considering time | $FUNCTIONS_{ij} = \pi_{0ij} + \pi_{1ij}*(TIME_{ij}) + \pi_{2ij}*(SEQUENCES_{ij}) + e_{ij}$<br>$\pi_{0ij} = \beta_{00j} + r_{0ij}$<br>$\pi_{1ij} = \beta_{10j}$<br>$\pi_{2ij} = \beta_{20j}$ |

---

#### Influence of oral motor skills on speech accuracy

|                           |   |
|---------------------------|---|
| Main effect of DDK on PCC | $PCC_{ij} = \pi_{0ij} + \pi_{1ij}*(TIME_{ij}) + \pi_{2ij}*(DDK_{ij}) + e_{ij}$<br>$\pi_{0ij} = \beta_{00j} + r_{0ij}$<br>$\pi_{1ij} = \beta_{10j}$<br>$\pi_{2ij} = \beta_{20j} + r_{2ij}$ |
|---------------------------|---|

|  |  |
|--|--|
| Main effect of isolated movements on PCC | $PCC_{ij} = \pi_{0ij} + \pi_{1ij}*(TIME_{ij}) + \pi_{2ij}*(MOBILITY_{ij})$ $+ e_{ij}$ $\pi_{0ij} = \beta_{00j} + \Gamma_{0ij}$ $\pi_{1ij} = \beta_{10j}$ $\pi_{2ij} = \beta_{20j}$ |
|--|--|

|   |  |
|---|--|
| Main effect of sequenced movements on PCC | $PCC_{ij} = \pi_{0ij} + \pi_{1ij}*(TIME_{ij}) + \pi_{2ij}*(SEQUENCES_{ij})$ $+ e_{ij}$ $\pi_{0ij} = \beta_{00j} + \Gamma_{0ij}$ $\pi_{1ij} = \beta_{10j}$ $\pi_{2ij} = \beta_{20j} + \Gamma_{2ij}$ |
|---|--|

---

**Influence of nonspeech orofacial functions on speech accuracy**

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| Main effect of functions on PCC | $PCC_{ij} = \pi_{0ij} + \pi_{1ij}*(TIME_{ij}) + \pi_{2ij}*(FUNCTIONS_{ij})$ $+ e_{ij}$ $\pi_{0ij} = \beta_{00j} + \Gamma_{0ij}$ $\pi_{1ij} = \beta_{10j}$ $\pi_{2ij} = \beta_{20j} + \Gamma_{2ij}$ |
|---------------------------------|--|

---

## **Complément à l'étude 2.**

# **Trajectoires développementales et rôle des habiletés somatosensorielles orales dans le développement des fonctions orofaciales non verbales et de la parole**

### **Objectifs et hypothèses**

Dans le même objectif que l'étude 2 et sur base des éléments présentés dans l'introduction théorique générale, nous avons souhaité explorer l'interaction potentielle entre le développement de la parole et le développement des fonctions orofaciales non vocales de la respiration, de la déglutition et de la mastication chez les enfants d'âge préscolaire. Nous avons postulé que les habiletés somatosensorielles orales pourraient être un mécanisme commun sous-jacent à la parole et aux fonctions de respiration, déglutition et mastication.

### **Méthodologie**

Cette étude a été menée dans le même cadre que l'étude 2. Elle inclut donc les mêmes participants, les mêmes mesures de parole, le même traitement de données et les mêmes statistiques que cette dernière. Afin d'évaluer les habiletés somatosensorielles, nous avons employé une épreuve de sensibilité linguale tactile fine avec le Semmes-Weinstein tactile monofilament avec les grammages de 0,07g – 0,16g – 0,4g et 0,6g. Lors de la passation, les enfants étaient assis, les yeux fermés. Il leur était demandé de sortir la langue et la consigne suivante

leur était donnée : « *Je vais mettre un petit fil sur ta langue. Des fois je vais toucher et des fois je fais semblant, je ne touche pas. Tu vas me dire 'oui' si tu as senti le fil et 'non' si tu n'as pas senti le fil : tu vas me dire si j'ai touché ou si je n'ai pas touché* ». Le filament était appliqué sur le dos de la langue jusqu'à ce qu'il se plie. Dans le cas où le filament ne touchait pas la langue, l'expérimentateur imitait le même mouvement et laissait le fil à proximité de la bouche pour ne laisser aucun indice externe. Les filaments étaient présentés systématiquement dans le même ordre, du grammage le plus léger au moins léger. Pour chacun des cinq grammages, le filament était réellement proposé sur la langue à trois reprises et le fil ne touchait pas la langue à deux reprises, dans un ordre aléatoire. Une réponse correcte se voyait attribuer 1 point et une réponse incorrecte se voyait attribuer 0 point pour un total maximum de 20 points reconverti en pourcentage de réussite.

Afin de compléter cette mesure, le test de discrimination de 2 points a proposé avec un disque Baseline 2-Point Discrim-A-Gon. Les distances choisies entre les pointes étaient de 2mm, 5mm et 8mm, systématiquement proposées dans cet ordre. Lors des premières sessions, le disque était d'abord présenté sur la main pour habituer l'enfant et montrer que l'expérience n'était pas douloureuse. Lors de la passation, les enfants étaient assis, les yeux fermés. Il leur était demandé de sortir la langue et le disque était présenté sur le dos de la langue. Selon les recommandations de Boliek et al. (2007), un exemple était montré à l'enfant pour chaque distance. Une pointe du disque était présentée sur la langue et nous indiquions à l'enfant « là, il y a un petit point » puis les deux pointes étaient présentées et nous indiquions « Là, il y a deux petits points, tu sens la différence ? Maintenant, tu vas me dire si tu sens un petit point ou deux petits

points ». Pour chaque distance, un point était proposé à deux reprises et un point était proposé à trois reprises, dans un ordre aléatoire. Une réponse correcte se voyait attribuer 1 point et une réponse incorrecte se voyait attribuer 0 point pour un total maximum de 15 points reconverti en pourcentage de réussite.

Un graphique Bland-Altman (Bland & Altman, 1999) a été utilisé pour visualiser les différences de mesures entre les deux instruments. Ce type d'analyse est largement reconnu et employé pour comparer deux méthodes censées évaluer la même variable (Yellareddygari & Gudmestad, 2017). Toutes les valeurs de chaque mesure répétée ont été intégrées dans le graphique. Si les mesures des outils s'avèrent corrélées, une seule d'entre elles sera utilisée pour les analyses mixtes.

## Résultats

### *Trajectoire développementale du toucher léger*

Le modèle représentant le mieux les données inclut une décomposition aléatoire de l'intercept et de la pente (équation de recherche :  $\text{monofilament}_{tij} = \pi_{0ij} + \pi_{1ij} * (\text{temps}_{tij}) + e_{tij}$  ;  $\pi_{0ij} = \beta_{00j} + r_{0ij}$  ;  $\pi_{1ij} = \beta_{10j} + r_{1ij}$ ). Le score moyen à 3 ans est de 70,06% ( $SD = 4,09$ ) puis augmente de façon significative d'en moyenne 6,91% ( $SD = 1,61$ ) entre chaque session. Il existe des variations significatives entre les performances des enfants à l'âge de 3 ans qui persistent lors du développement. Ces variations ne sont pas expliquées par le genre. Les résultats sont présentés dans le Tableau 1.



## Tableau 1.

### Résultats du modèle mixte multiniveaux sur la trajectoire du toucher léger

| Explored effect                                   | Fixed effects |      |       |      |        | Random effects |                |      |                |        |
|---|---------------|------|-------|------|--------|----------------|----------------|------|----------------|--------|
|   | Coeff         | SE   | t     | d.f. | p      | SD             | s <sup>2</sup> | d.f. | χ <sup>2</sup> | p      |
| Effet principal du temps linéaire                 | 6.91          | 1.61 | 4.29  | 29   | <0.001 |                |                |      |                |        |
| Variabilité inter-sujet au départ                 |               |      |       |      |        | 17.68          | 312.70         | 29   | 39.79          | <0.001 |
| Variabilité inter-sujet au cours du développement |               |      |       |      |        | 6.14           | 37.70          | 29   | 59.39          | <0.001 |
| Effet principal du sexe au départ                 | -3.95         | 8.12 | -0.49 | 28   | 0.63   |                |                |      |                |        |
| Effet principal du sexe au cours du développement | 2.93          | 3.27 | 0.90  | 28   | 0.38   |                |                |      |                |        |

### Trajectoire développementale de la discrimination de deux points

Le modèle représentant le mieux les données inclut une décomposition aléatoire de l'intercept uniquement (équation de recherche :  $disque_{ij} = \pi_{0ij} + \pi_{1ij} * (temps_{ij}) + e_{ij}$ ;  $\pi_{0ij} = \beta_{00j} + r_{0ij}$ ;  $\pi_{1ij} = \beta_{10j}$ ). Le score moyen à 3 ans est de 66,35% ( $SD = 2,79$ ) puis augmente de façon significative d'en moyenne 3,59% ( $SD = 1,14$ ) entre chaque session. Il n'y a pas de variation entre les enfants. Les résultats sont présentés dans le Tableau 2.

## Tableau 2.

### Résultats du modèle mixte multiniveaux sur la trajectoire de la discrimination de deux points

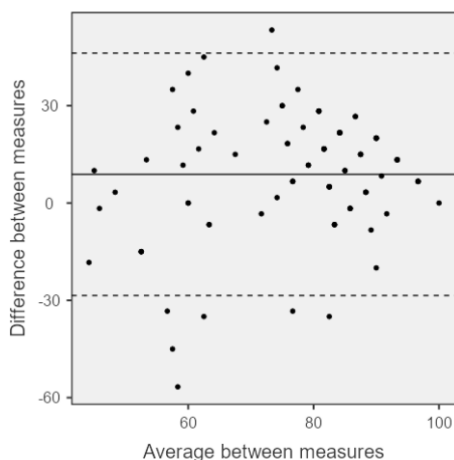
| Explored effect                   | Fixed effects |      |      |      |       | Random effects |                |      |                |      |
|-----------------------------------|---------------|------|------|------|-------|----------------|----------------|------|----------------|------|
|                                   | Coeff         | SE   | t    | d.f. | p     | SD             | s <sup>2</sup> | d.f. | χ <sup>2</sup> | p    |
| Effet principal du temps linéaire | 3.59          | 1.14 | 3.15 | 49   | 0.003 |                |                |      |                |      |
| Variabilité inter-sujet au départ |               |      |      |      |       | 4.15           | 17.22          | 29   | 36.49          | 0.16 |

### *Corrélation entre les mesures*

L'analyse Bland-Altman est présentée en Figure 1. L'axe des x du graphique représente la mesure moyenne des deux instruments et l'axe des y représente la différence des mesures entre les deux instruments de mesure. La ligne supérieure discontinue représente la limite supérieure de l'intervalle de confiance à 95 % pour la différence moyenne et la ligne inférieure discontinue représente la limite inférieure de l'intervalle de confiance à 95 % pour la différence moyenne. La ligne continue tracée au milieu du graphique désigne la différence moyenne des mesures entre les deux instruments. Plus cette valeur est proche de zéro, plus la différence moyenne des mesures entre les instruments est petite. Il est possible de conclure qu'il existe une corrélation, bien que faible à modérée entre les deux instruments, et ce malgré la présence de données extrêmes. Puisque les deux outils de mesures montrent une certaine corrélation dans l'évaluation des HSO, nous avons choisi de baser l'analyse des interactions sur base du pourcentage de réussite à l'épreuve du monofilament. En effet, cette épreuve a été montrée comme la plus adaptée chez l'adulte (Boliek et al., 2007) et montre davantage de variabilité potentiellement révélatrice d'un effet principal et sensible au développement.

**Figure 1.**

*Bland-Altman Plot représentant la corrélation entre le pourcentage de réussite au test de toucher léger et le pourcentage de réussite au test de discrimination de deux points lors de l'ensemble des sessions*



*Influence des habiletés somatosensorielles sur les fonctions orofaciales non verbales*

Le modèle représentant le mieux les données inclut une décomposition aléatoire de l'intercept uniquement (équation de recherche :  $OMES_{tij} = \pi_{0ij} + \pi_{1ij}*(temps_{tij}) + \pi_{2ij}*(monofilament_{tij}) + e_{tij}$  ;  $\pi_{0ij} = \beta_{00j} + r_{0ij}$  ;  $\pi_{1ij} = \beta_{10j}$  ;  $\pi_{2ij} = \beta_{20j}$ ). Le tableau 3 montre que les scores au monofilament ne permettent pas de prédire le développement des fonctions orofaciales non verbales mesurées par le subtest *fonctions* de l'OMES.

*Influence des habiletés somatosensorielles sur la précision consonantique*

Le modèle représentant le mieux les données inclut une décomposition aléatoire de l'intercept uniquement (équation de

recherche :  $PCC_{tij} = \pi_{0ij} + \pi_{1ij}*(temps_{tij}) + \pi_{2ij}*(monofilament_{tij}) + e_{tij}$  ;  $\pi_{0ij} = \beta_{00j} + r_{0ij}$  ;  $\pi_{1ij} = \beta_{10j}$  ;  $\pi_{2ij} = \beta_{20j} + r_{2ij}$ ). Le tableau 3 montre que les scores au monofilament ne permettent pas de prédire la trajectoire développementale du PCC.

**Tableau 3.**

*Résultats du modèle mixte multiniveaux sur l'effet des scores au monofilament*

| Effet explore                              | Effets fixes |      |       |      |      |
|--|--------------|------|-------|------|------|
|  | Coeff        | SE   | t     | d.f. | p    |
| Effet principal du monofilament sur l'OMES | 0.01         | 0.01 | 1.02  | 48   | 0.31 |
| Effet principal du monofilament sur le PCC | -0.04        | 0.90 | -0.48 | 29   | 0.64 |

**Discussion**

Comme pour chez l'adulte (Boliek et al., 2007), nos résultats suggèrent que l'épreuve du monofilament serait un outil optimal pour évaluer la sensibilité tactile fine chez l'enfant. L'utilisation de cet outil est d'ailleurs très largement répandue pour évaluer la sensibilité chez des populations extrêmement hétéroclites, mais aussi des zones corporelles extrêmement variées. Les principaux freins à l'utilisation de ce type d'outil sont son prix et sa disponibilité. Le disque étant plus accessible, mais leurs mesures étant corrélées, il pourrait être utilisé si un compromis devait être trouvé. Il est important de noter que l'analyse que nous avons choisie pour effectuer les corrélations admet un certain degré de désaccord entre les deux méthodes car toutes deux sont sujettes à une erreur de mesure et ne sont pas identiques (Yellareddygar & Gudmestad, 2017).

Les résultats de cette étude permettent d'attester d'une évolution significative des HSO chez l'enfant, confirmant la sensibilité

de ces mesures à l'âge (Bangcuyo & Simons, 2017; Calhoun et al., 1992). Par contre, la trajectoire des performances au monofilament ne permet pas de prédire la trajectoire des fonctions orofaciales ni celle de la parole. D'autres études (voir dans la discussion générale) suggéraient pourtant l'existence d'une relation. Cependant, ces dernières emploient d'autres outils, d'autres designs d'études et d'autres populations ce qui rend les résultats peu comparables. Nous avons pensé à deux interprétations possibles pour ces résultats. Il est possible d'une part que les relations ne soient pas observables chez l'enfant tout-venant là où elles semblent l'être dans la pathologie (pour les OMDs : Bergheim, 2019; Dahan et al., 2000; Fish, 1975; Koczorowski et al., 2012; et pour la parole : Fucci et al., 1991; McNutt, 1977; Milbrandt, 1974; Mogren et al., 2022; Ringel et al., 1970; Ruscello & Lass, 1977; Wood & Smith, 1992) et/ou que la tâche clinique ne soit pas suffisamment subtile pour mettre en évidence ces hypothétiques relations. Il est important de rappeler qu'aucune tâche clinique ne peut constituer une mesure suffisamment pure pour évaluer les différents composants des HSO avec précision (Potter et al., 2019). Nous l'avons spécifié dans l'introduction théorique, la sensibilité tactile ne dépeint d'ailleurs qu'une partie des HSO, il est donc possible que celle-ci ne soit pas représentative des mécanismes sous-jacents aux fonctions non verbales et de la parole sans pour autant permettre de conclure que les HSO n'interviennent d'aucune manière au cours du développement. D'ailleurs l'épreuve du monofilament implique une composante consciente alors que les HSO liées aux fonctions orofaciales et à la parole sont hautement automatisées et peu conscientisées. Dans cette optique, il serait intéressant d'explorer des mesures de laboratoire évaluant la proprioception. On sait également que la sensibilité tactile légère est

dépendante de la location de l'application du monofilament (Boliek et al., 2007), ce qui constitue une limite liée à l'outil, mais également propre à la population étudiée. En effet, il est complexe d'appliquer le monofilament avec une extrême rigueur chez un enfant préscolaire dans un contexte clinique. La tâche du monofilament de Semmes-Weinstein n'en reste pas moins un outil standardisé et largement reconnu pour l'évaluation de la sensibilité orale (Boliek et al., 2007; Vaira et al., 2018).

## Références

- Bakhtiyari, J., Dadgar, H., Sadolahi, A., & Khatoonabadi, A. R. (2014). Oral Stereognosis in Children With Cleft Palate and Normal Children. *Middle East Journal of Rehabilitation and Health*, 1(1), 4–6. <https://doi.org/10.17795/mejrh-20840>
- Bangcuyo, R. G., & Simons, C. T. (2017). Lingual tactile sensitivity: effect of age group, sex, and fungiform papillae density. *Experimental Brain Research*, 235(9), 2679–2688. <https://doi.org/10.1007/s00221-017-5003-7>
- Bergheim, S. (2019). *Untersuchung des Zusammenhanges zwischen orofazialen Dysfunktionen (OFD) im Kindesalter und dem somatosensorischen System* [Investigation of the relationship between orofacial dysfunctions (OFD) in childhood and the somatosensory system] [doctoral thesis, University of Berlin]. <https://refubium.fu-berlin.de/handle/fub188/25525>
- Bland, J. M., & Altman, D. G. (1999). Measuring agreement in method comparison studies. *Statistical Methods in Medical Research*, 8(2), 135–160. <https://doi.org/10.1191/096228099673819272>
- Boliek, C. A., Rieger, J. M., Li, S. Y. Y., Mohamed, Z., Kickham, J., & Amundsen, K. (2007). Establishing a reliable protocol to measure

- tongue sensation. *Journal of Oral Rehabilitation*, 34(6), 433–441.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.2007.01735.x>
- Calhoun, K. H., Gibson, B., Hartley, L., Minton, J., & Hokanson, J. A. (1992). Age-related changes in oral sensation. *The Laryngoscope*, 102(2), 109-116.  
<https://doi.org/10.1288/00005537-199202000-00001>
- Dahan, J. S., Lelong, O., Celant, S., & Leysen, V. (2000). Oral perception in tongue thrust and other oral habits. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 118(4), 385–391. <https://doi.org/10.1067/mod.2000.109101>
- Engelen, L., Van Der Bilt, A., & Bosman, F. (2004). Relationship between oral sensitivity and masticatory performance. *Journal of Dental Research*, 83(5), 388–392.  
<https://doi.org/10.1177/154405910408300507>
- Fish, L. C. (1975). Oral form discrimination and tongue-thrust swallowing. *International Journal of Orofacial Myology*, 1(1), 5–20. <https://doi.org/10.52010/ijom.1975.1.1.4>
- Fucci, D., Petrosino, L., Underwood, G., & Clark, K. (1991). Differences in lingual vibrotactile threshold shifts during magnitude-estimation scaling between normal-speaking children and children with articulation problems. *Perceptual and Motor Skills*, 75(2), 495–504.  
<https://doi.org/10.2466/pms.1992.75.2.495>
- Fukutake, M., Ogawa, T., Ikebe, K., Mihara, Y., Inomata, C., Takeshita, H., Matsuda, K., Hatta, K., Gondo, Y., Masui, Y., Inagaki, H., Arai, Y., Kamide, K., Ishizaki, T., & Maeda, Y. (2019). Impact of cognitive function on oral perception in independently living older people. *Clinical Oral Investigations*, 23(1), 267–271.  
<https://doi.org/10.1007/s00784-018-2433-y>

- Gisel, E. G., & Schwob, H. (1988). Relation between an oral form discrimination task and chewing behavior in normal 5- to 8-year-old Children. *The Occupational Therapy Journal of Research*, 8(4), 211–223. <https://doi.org/10.1177/153944928800800402>
- Hirano, K., Hirano, S., & Hayakawa, I. (2004). The role of oral sensorimotor function in masticatory ability. *Journal of Oral Rehabilitation*, 31(3), 199–205. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.2004.01175.x>
- Holland, G. (2020). *The relationship between oral stereognosis and functional measures of swallowing* [Master thesis, University of Canterbury]. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.26021/2716>
- Jacobs, R., Bou Serhal, C., & van Steenberghe, D. (1998). Oral stereognosis: a review of the literature. In *Clinical oral investigations*, 2(1), 3–10. <https://doi.org/10.1007/s007840050035>
- John, S. A., Janardhanan, R., Soman, A., & Sukumaran, A. (2021). Evaluation of the association of oral stereognosis with malocclusion in children. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 14(S1), 18–21. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10005-2050>
- Kingston, L. M., & Rosenthal, J. B. (1987). Oral stereognosis in children with disordered articulation: measurement issues, and a treatment study. *Australian Journal of Human Communication Disorders*, 15(1), 1–14. <https://doi.org/10.3109/asl2.1987.15.issue-1.01>
- Koczorowski, M., Gedrange, T., & Koczorowski, R. (2012). Changes of oral sensibility in subjects with partial anterior open bite and the incorrect position of the tongue. *Annals of Anatomy*, 194(2), 220–223. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2011.01.012>



- Lonegan, D. S. (1974). Vibrotactile Thresholds and Oral Stereognosis in Children. *Perceptual and Motor Skills*, 38(1), 11–14. <https://doi.org/10.2466/pms.1974.38.1.11>
- Madison, C. L., & Fucci, D. J. (1971). Speech-sound discrimination and tactile-kinesthetic discrimination in reference to speech production. *Perceptual and Motor Skills*, 33(3), 831–838. <https://doi.org/10.2466/pms.1971.33.3.831>
- Malandraki, G. A., Perlman, A. L., Karampinos, D. C., & Sutton, B. P. (2011). Reduced somatosensory activations in swallowing with age. *Human Brain Mapping*, 32(5), 730–743. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/hbm.21062>
- McNutt, J. C. (1977). Oral sensory and motor behaviors of children with /s/ or /r/ misarticulations. *Journal of Speech and Hearing Research*, 20(4), 694–703. <https://doi.org/10.1044/jshr.2004.694>
- Milbrandt, M. J. (1974). *An investigation of oral stereognosis and articulation in sighted and blind children* [Master thesis, Utah State University]. <https://doi.org/https://doi.org/10.26076/eb80-803c>
- Mogren, Å., Sand, A., Havner, C., Sjögren, L., Westerlund, A., Agholme, M. B., & Mcallister, A. (2022). Children and adolescents with speech sound disorders are more likely to have orofacial dysfunction and malocclusion. *Clinical and Experimental Dental Research*. Advance online publication. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/cre2.602>
- Ringel, R. L., House, A. S., Burk, K. W., Dolinsky, J. P., & Scott, C. M. (1970). Some relations between orosensory discrimination and articulatory aspects of speech production. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 35(1), 3–11. <https://doi.org/10.1044/jshd.3501.03>
- Running, C. A. (2016). Human oral sensory systems and swallowing.

*Perspectives of the ASHA Special Interest Groups*, 1(13), 38–47.  
<https://doi.org/10.1044/persp1.SIG13.38>

Ruscello, D. M., & Lass, N. J. (1977). Articulation improvement and oral tactile changes in children. *Perceptual and Motor Skills*, 44(1), 155–159. <https://doi.org/10.2466/pms.1977.44.1.155>

Schliesser, H. F., & Cary, M. H. (1973). Oral stereognosis in predicting speech performance: preliminary report. *Perceptual and Motor Skills*, 36(3), 707–711.  
<https://doi.org/10.2466/pms.1973.36.3.707>

Shupe, G. E., Wilson, A., & Lockett, C. R. (2019). The effect of oral tactile sensitivity on texture perception and mastication behavior. *Journal of Texture Studies*, 50(4), 285–294.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jtxs.12451>

Vaira, L. A., Massarelli, O., Gobbi, R., Biglio, A., & De Riu, G. (2018). Tactile recovery assessment with shortened Semmes-Weinstein monofilaments in patients with buccinator myomucosal flap oral cavity reconstructions. *Oral and Maxillofacial Surgery*, 22(2), 151–156. <https://doi.org/10.1007/s10006-018-0682-1>

Wood, J. L., & Smith, A. (1992). Cutaneous oral-motor reflexes of children with normal and disordered speech. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 34(9), 797–812.  
<https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1992.tb11518.x>

Yellareddygari, S. K. R., & Gudmestad, N. C. (2017). Bland-Altman comparison of two methods for assessing severity of Verticillium wilt of potato. *Crop Protection*, 101, 68–75.  
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.07.019>

## **Etude 3.**

# **Assessment of mouth breathing by Speech-Language Pathologists: An international Delphi consensus**

**Morgane Warnier<sup>a\*</sup>, Léonor Piron<sup>a</sup>, Dominique Morsomme<sup>a</sup>, and Christelle Maillart<sup>a</sup>**

*<sup>a</sup>Department of Speech-Language Pathology, Research Unit for a life-Course perspective on Health and Education, University of Liege, Liège, Belgium*

### **Citation**

Warnier, M., Piron, L., Morsomme, D., & Maillart, C. (In Press). *Assessment of mouth breathing by Speech-Language Pathologists: An international Delphi consensus*. CoDAS.

### **Acknowledgment**

The authors warmly thank each expert for the time they devoted to this study. The authors would also like to thank Vincent Didone and Damien Lesenfants, research logisticians at the University of Liege, for their valuable methodological and statistical advice.

### **Abstract**

Purpose: mouth breathing (MB) has detrimental effects on children's growth. Diagnosis of MB is possible through a multidisciplinary approach including Speech-Language Pathologist's (SLP)

assessment; however, SLPs currently have little to no defined selection criteria to determine the awake and habitual breathing pattern. This study aims at identifying relevant criteria for the assessment of the habitual and awake breathing pattern of preschool children, and developing a grid that would help SLPs diagnose MB in their clinical practice.

**Method:** A three-rounded online international Delphi process was conducted to achieve a consensus on the relevant items and their interpretation. Agreement was established through a Content Validity Ratio calculation. Based on the agreed items, we developed a grid through a scoring function.

**Results:** Observing the child at rest (i.e. time spent with an open/closed mouth and position of tongue/lips) was considered the most important criterion. The experts also considered that observing the breathing pattern while chewing (open/closed mouth) and after swallowing (i.e. air intake and open/ closed mouth just after swallowing) should provide relevant but secondary information in decision-making. We were able to establish a clinical grid based on those criteria.

**Conclusions and implications:** The Delphi procedure provided content-valid criteria and conditions of observation for the myofunctional SLP assessment of the awake and habitual breathing pattern in preschoolers. A clinical validation of the developed prototype grid should be conducted in preschool children to explore its effectiveness in the diagnosis of MB.

## **Introduction**

Mouth breathing (MB), formerly sometimes called oral breathing, is considered as a sign of orofacial myofunctional disorder and is

gradually being recognized as an important health issue because of its comorbid conditions (Abreu et al., 2008a). MB is particularly studied in children because it creates a self-perpetuating vicious circle between causes and consequences during growth. Indeed, the literature describes MB children as being at risk for swallowing and chewing disorders (Junqueira et al., 2010), developing dental malocclusions (Fraga et al., 2018), impaired craniofacial growth (Zhao et al., 2021) and the onset of obstructive sleep disordered breathing (Guilleminault & Huang, 2017). Children who breathe through the mouth are also more likely to have attention deficits, working memory deficits, reading comprehension disorders and arithmetical difficulties, among others (Ribeiro et al., 2016). Speech sound disorders, in particular atypical placements for speech production like interdental lisp, are often seen in mouth breathers (Hitos et al., 2013). But most importantly, MB has been suspected to affect children's quality of life (Bandyopadhyay & Slaven, 2021). The preschool period is a particularly good time for early diagnosis to prevent the onset of those comorbidities (Torre & Guilleminault, 2018).

Understanding the taxonomy of MB is a key step to facilitate diagnosis. It is well known that nasal breathing (NB) is the physiological pattern of breathing, however MB is extremely rare (De Menezes et al., 2006). For that reason, many authors consider mixed or oronasal breathing (OB) and MB as a whole (Bandyopadhyay & Slaven, 2021; De Menezes et al., 2006; Saitoh et al., 2018), whereas some authors distinguish the two conditions (Hitos et al., 2013). It is currently not clear whether this distinction is useful for clinical purpose. When mouth breathing turns out to be the preferential and natural breathing pattern, the term habitual MB may be used regardless of the etiology of the habit (obstructive MB or functional MB) (Fujimoto et al.,

2009; Sano et al., 2018). In addition, some authors refer to mouth breathing syndrome (MBS) when a set of signs and symptoms are completely or incompletely present, e.g. craniofacial features (Nogami et al., 2021; Saitoh et al., 2018). Breathing through the mouth is especially problematic when it becomes chronic, manifesting itself over the long term. A period of 6 months or more is often considered as a benchmark (Guilleminault & Huang, 2017). MB can occur either during sleep and/or while awake. Current literature doesn't always make the difference and both conditions are generally combined (Abreu et al., 2008a; Saitoh et al., 2018; Sano et al., 2018). Therefore, very little is known about how they interact with each other. Sleep breathing pattern is more studied, mainly for its presence in the continuum of sleep-disordered breathing (Guilleminault & Huang, 2017) whereas less information is available on awake mouth breathing.

A multidisciplinary approach is commonly indicated to confirm the diagnosis and identify the characteristics in a syndromic perspective. The team commonly includes an orthodontist, an otorhinolaryngologist (ENT), a physiotherapist and a Speech-Language Pathologist's (SLP) (Abreu et al., 2008a; Junqueira et al., 2010; Milanesi et al., 2018). The orthodontist relies mainly on morphological and dental characteristics (Zhao et al., 2021); the ENT is able to differentiate obstructive MB (e.g. because of allergic rhinitis) from functional causes (e.g. by persistence after adenotonsillectomy) thanks to endoscopic examinations (Milanesi et al., 2017) and the physiotherapist identifies head and body posture characteristics (Neiva et al., 2018).

The SLP takes part in the diagnosis with a full myofunctional examination and provides information about the awake and habitual

breathing pattern from a functional perspective (Junqueira et al., 2010). Among the published myofunctional protocols that include the assessment of breathing patterns are the Orofacial Myofunctional Evaluation with Scores (OMES) (de Felício & Ferreira, 2008), the Expanded Orofacial Myofunctional Evaluation with Scores (OMES-E) (de Felício et al., 2010), which is a more complete version of the OMES, and the MBGR protocol (Marchesan et al., 2012). Whether in these protocols or in the clinical practice, there are currently no precise criteria to guide the clinician in the decision-making process regarding the awake and habitual breathing pattern. The choice generally relies on the clinical expertise in the field and the experience with previous MB patients. Objective diagnostic methods exist, such as the CO<sub>2</sub> sensor used by Fujimoto et al. (Fujimoto et al., 2009), but to our knowledge none has been conducted in children.

In addition, the contexts to observe the habitual breathing pattern have been little explored. Some authors have suggested that the breathing pattern could be assessed at rest, for example during a five continuous minutes condition (Fujimoto et al., 2009). De Felício also suggests that awake and habitual breathing could also be observed during chewing (de Felício et al., 2010). Knösel and colleagues (2012) hypothesized that it could be observed after swallowing. In the clinical practice, the contexts in which to observe the child to define his/her awake and habitual breathing pattern are also often left to the discretion of the SLP.

In sum, the multidisciplinary diagnosis is mainly based on a set of features that define the MBS rather than the habit of MB (Milanesi et al., 2018; Pacheco et al., 2015). It is currently complicated not only to determine the categories of classification of the breathing pattern, but also to define the contexts of observation and the criteria used by

SLPs to determine the child's awake and habitual breathing pattern. It also seems necessary to define the criteria that SLP use to guide their choice in determining the awake and habitual breathing pattern. These criteria are particularly necessary for preschool children since the early onset of MB may show more detrimental effects on growth (Guilleminault & Huang, 2017). This will provide clear and reproducible recommendations to determine the habitual breathing pattern in young children.

## **Methods**

The present research was approved by the Research Ethics Committee of the University of Liège, Belgium (protocol n°1819-35). Participants gave their full consent to enter the study.

## ***Objectives***

The first objective of this study was to achieve a consensus on the relevant items and their interpretation to classify the breathing pattern in preschool children. Specifically, we wanted to identify:

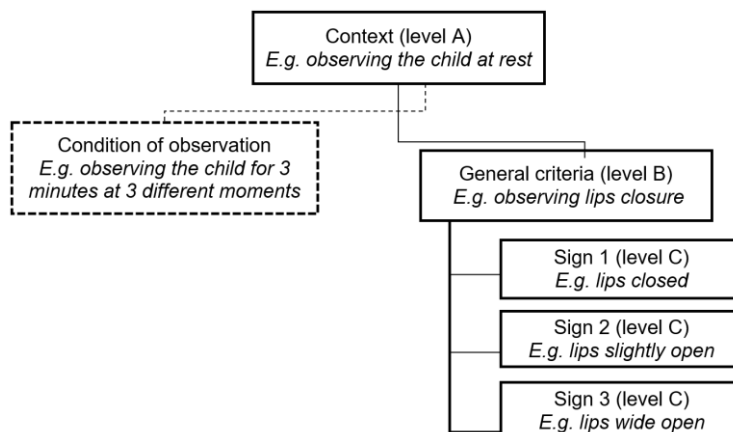
- (a) The contexts in which to observe the children's breathing so that they are representative of the habitual breathing behavior (level A); as well as (b) the conditions of the child's observation
- (c) Within each context, the general relevant criteria to observe (level B)
- (d) Within each criterion, the tangible manifestations or signs that would help to classify the breathing pattern (level C)

Figure 1 schematically represents these different objectives and their organization. An example is assigned to facilitate understanding.



**Figure 1.**

*Organisation of items aiming to determine the breathing pattern in preschool children*



After establishing this consensus, the second main objective was to develop a content-validated clinical grid that could be used as part of the SLP's clinical assessment to classify the awake and habitual breathing pattern of preschoolers.

### ***Study design***

SLPs completed an iterative online survey according to a Delphi technique, which is a facilitating process to anonymously reach group consensus through multiple rounds (Iqbal & Pison-Young, 2009). Three rounds took place in the present study. Data were collected through multiple choices questionnaires and participants were left with the possibility of leaving comments under each item. This survey was held online on a protected platform developed at the University of Liège, Belgium. The participants received an email invitation to take part in each round and were free not to participate or to stop the study at any time. Participants were not required to take part in all rounds. Data were collected anonymously.

## ***Participants***

Both academics and clinicians were invited to participate in the study as a heterogeneous panel is recommended for a Delphi process (Rowe & Wright, 2001). Participants were selected either for their relevant publications about MB, for their lecture about MB at international congresses or for being internship supervisors, instructors or teachers in the field of orofacial myology/myofunctional sciences. Only SLPs were included since this study focuses on the SLPs' assessment in the diagnostic process. The moderators made sure to include an international panel of experts, as advised for a Delphi process (Rowe & Wright, 2001). This was possible because the classification of the breathing pattern is not subject to linguistic constraints. Represented countries were Australia, Austria, Belgium, Brazil, Canada, Chile, France, Italy, United Kingdom and United States of America. Participants were recruited by email, 32 experts were approached and 18 agreed to participate. Professional experience mean was of 19.28 years, ranging from 4 to 40 years. The majority of participants were clinicians, but three participants also had a research activity. Out of the 18 experts who agreed to participate, 14 experts actually participated in the first round, 15 experts participated in the second round and 9 in the last round. Responsive-rate was respectively 44%, 46.8% and 28%.

## ***Procedure***

### ***Baseline items***

Before the first round, a list of core items was established to create the baseline protocol proposal. This list was based on a comprehensive review of the current literature found on Medline, Scopus, as well as through a hand search, Google scholar search and references of

included articles. The search strategy including the MeSH and text words applied in the initial search was: ((habitual OR functional) AND ((mouth OR oral OR open) AND breathing) AND (sign OR symptoms OR diagnosis OR screening). No age restrictions were applied to the review process due to the small number of specific studies on preschool children. Baseline items were selected from articles or test protocols when meeting three main inclusion criteria, i.e.:

- (a) considered as functional criteria that could help with the detection of the awake and habitual breathing pattern,
- (b) considered as suitable for the SLP's myofunctional assessment or when used in myofunctional assessment (de Felício & Ferreira, 2008; de Felício et al., 2010), and
- (c) considered as empirically relevant (Fujimoto et al., 2009; Junqueira et al., 2010; Milanese et al., 2018; Zaghi et al., 2020) or employed as criteria for selecting a population of mouth breathers (de Felício & Ferreira, 2008; Saitoh et al., 2018).

As we focused on the functional assessment of habitual breathing pattern rather than the diagnosis of MBS, items were excluded if they based the breathing pattern classification on:

- (a) anatomical or physical factors, e.g. long face or dark circles
- (b) supposed consequences of MB, e.g. malocclusion
- (c) causes of MB, e.g. nasal obstruction

The first author, who has clinical and research experience in the field, also clarified the items when they were insufficiently precise. Baseline items were written in simple and accessible English, without ambiguity and in a neutral manner (Ermis-Demirtas, 2018).

### Round 1

The first round of the Delphi process aimed at identifying and validating relevant criteria for the assessment of the awake and habitual breathing pattern in preschoolers. It consisted in three questionnaires. The first questionnaire included general information about the participants such as their years of experience, country or language. The second questionnaire asked the experts to share assessment criteria from their personal experience. Participants were then invited to identify the main categories to classify the breathing pattern (e.g. NB and MB or NB, MB and OB). In the last questionnaire, participants were then asked to judge each baseline item from each level (A, B and C) as *essential*, *non-essential* or *essential but imperfect/incomplete*. Participants could suggest the removal or revision of each item in the comments, provide more details or add new items in comments. Agreement on items was calculated through a Content Validity Ratio (CVR) according to this equation (Lawshe, 1975) :  $\frac{n_e - \frac{N}{2}}{\frac{N}{2}}$  ( $n_e$  is the number of experts who judge item as *essential* and  $N$  is the number of experts who participated in the round). CVR was then compared to the Wilson adapted reference table for a unilateral test ( $\alpha=0.05$ ). When an item did not reach sufficient CVR, it was reworded following the experts' comments and the adapted item was proposed in the next round.

### Round 2

The second round pursued the exact same goals as the first one but with the aim of defining the final items. The exact same methodology was applied to the adapted list of items, including modified and added items following the controlled feedback of the first round. Agreement

on items was calculated in the same manner. This time, when an item happened to be under the CVR threshold, it was definitively removed from the list. The removal of an item automatically resulted in the removal of items from underlying levels. Overall content validity of definitive items validated through the CVR agreement was measured through the S-CVI/Ave<sup>2</sup> method. In the particular case where CVR was not sufficient but the majority of the experts indicated in their comments that the item was essential, we used the qualitative validation method from Boateng et al. (Boateng et al., 2018) to reword the final item.

### *Round 3*

The third and last round aimed at obtaining sufficient information to organize validated items in an assessment tool. This third round was also conditioned by previous answers. It was divided in three parts to establish a link between each level.

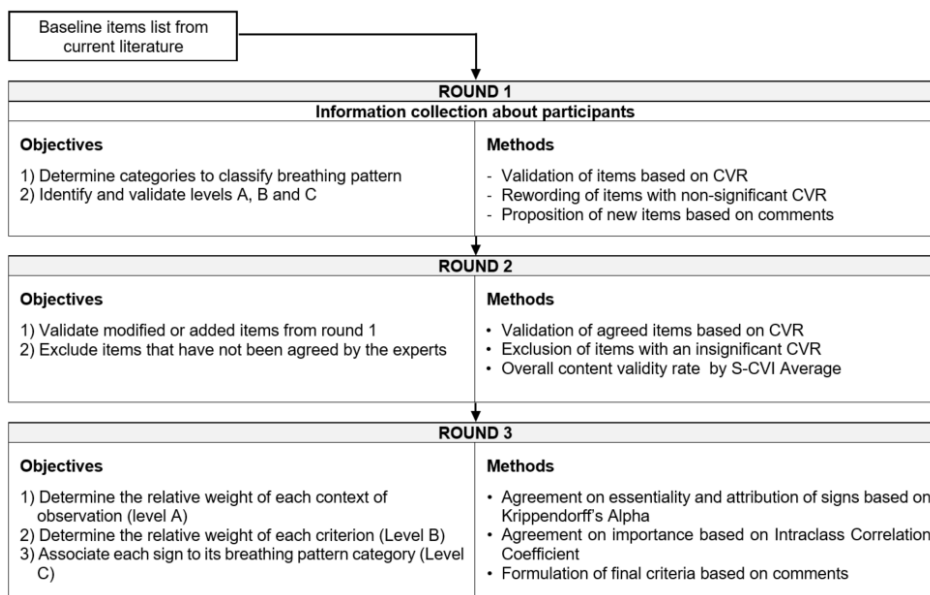
- 1) We asked participants to judge contexts (level A) as *fundamental* (highly necessary to define the breathing pattern) or *secondary* (information brought are less decisive to define the breathing pattern). Agreement between experts was calculated through a Krippendorff's Alpha for non-parametric data.
- 2) We asked participants to judge relative importance of each criterion (level B) via a 0 to 10 gauge. Subsequent signs received the same ranking. Agreement between experts was calculated through a two-way mixed effects Intraclass Correlation Coefficient (ICC) for multiple raters (Koo & Li, 2016). Relative importance of criteria was calculated based on the mean and standard deviation.

3) We finally asked participants to match each sign (level C) to one or more breathing pattern. If one sign was associated with two patterns, we considered the most significant association ( $p < .01$ ) to be the main profile and less significant association ( $p < .05$ ) to be the second profile. Agreement between experts was calculated through a Krippendorff's Alpha for non-parametric data. To assess the association between each sign and their matched pattern, a Wilcoxon signed-rank test was used. This test provides a probability that the results are due to chance or not.

Figure 2 displays the three rounds of the Delphi procedure and their respective objectives in this study and summarizes the methodology that was used.

**Figure 2.**

*Objectives and methods of analyses for each round within the Delphi procedure*



### *Clinical grid*

The clinical grid includes all items that were validated during the Delphi process. An automatic calculation is used to determine both a main and a secondary breathing pattern. The outcome relies on weight coefficients attributed to each sign based on their importance and the breathing pattern(s) previously assigned by the experts. The calculation for the weight coefficient for each criterion (level B) was based on central tendency measures. This option was chosen as we expected agreements between experts (Koo & Li, 2016). A scoring function was computed to calculate weight coefficients. The chosen method transformed each criterion's central tendency scores according to the following function:  $coefficient = \frac{mean^2}{Standard\ Deviation+4}$ . The mean was squared, so that it became a quadratic function, which increases the variations of the score for an equal variation of the mean. As we expected an agreement between experts, we also expected that some standard deviation values may fall below 1 and reverse the variation function. So, we decided to anticipate this potential risk by enhancing the value of the standard deviation. The number 4 appeared to be a good choice for managing this risk while highlighting the respective impact of each criterion in the decision-making process.

## **Results**

### ***Baseline items***

The literature search allowed us to select 31 articles to establish the baseline items. Baseline items and associated references are presented in Appendix 1.

## **Round 1**

The first questionnaire reached a consensus on the classifications of the breathing pattern. Experts agreed to classify the breathing pattern into three categories: NB, MB and OB. CVR reached .57 and was above the critical value of .44 (N = 14). Then, out of the overall 49 items proposed, 28 were content validated. Out of the four contexts of observation (level A), three were validated: observation at rest, after swallowing and during mastication. Four criteria (level B) and 20 signs (level C) were validated. None of the observation conditions were validated at this time. Experts also suggested in their comments to add one criterion (level B) and subsequent signs: the position of the tongue while the child breathes at rest. All the non-validated items were analyzed and modified according to the experts' comments. The added and the modified items were proposed in the second questionnaire for a new attempt at consensus.

## **Round 2**

Out of the 29 proposed (23 modified and 6 added), 16 items reached consensus with a CVR value above the critical value of 0.425 (N = 15). Items were removed from the list if they did not reach the CVR threshold and were considered as non-essential in the comments. The first removed item (level A and subsequent items) was "*Encouraging or forcing the child to breathe through the nose (forced nasal breathing) is relevant to determine the awake and habitual breathing pattern*" (CVR = .14; below critical value of .425). Experts justified their decision on the basis that noises are a symptom of obstruction rather than a reflection of habitual MB. The second item (level B and subsequent items) rejected by experts was "*Observing more than one occurrence of some habits/behaviors (finger sucking, nose itching, lips*



*playing*) during the entire observation is relevant to determine the awake and habitual breathing pattern" (CVR = .33; below critical value of .425). Again, the experts considered that these signs were more predictive behaviors or causal factors of MB. Last rejected item was (level B and subsequent items) "*Knowing that the child does not present any medical condition, hearing noisy breathing at rest is relevant to determine the awake and habitual breathing pattern*" (CVR = -.20; below critical value of .425).

The conditions of observation linked to the contexts of breathing, swallowing and chewing did not reach the CVR threshold either. The experts considered them as essential in the comments but did not agree on the wording of the conditions. For this reason, they were retained and rewritten following the experts' suggestions. Baseline conditions, expert's comments and reworded conditions are presented in Appendix 2.

Finally, we rejected two signs (level C) linked to the chewing context : "*Observing the child chewing with his/her mouth open*" ; "*Observing the child chewing with his/her mouth closed*" because they were too similar to the signs of the criterion "*The time spent chewing with an open or a closed mouth*". Description of all items from the first and the second round with their respective CVR are detailed in Appendix 3.

### **Round 3**

#### *Importance and weight of items*

Experts judged the context (level A) of "breathing at rest" as *fundamental* and the contexts of "breathing after swallowing" and "breathing while chewing" as *secondary* ( $\alpha = .21$ , fair agreement).

Order of importance of the criteria (level B) are shown in Table 1. Agreement for the order of importance was good (ICC = .8).

**Table 1.**

*Relative importance of each criterion (level B) from 0 to 10 and their global mean and standard deviation*

|                  | Time spent with open/closed mouth | Tongue posture     | Lips position      | Tongue position after swallowing | Time spent chewing with open/closed mouth | Air intake after swallowing |
|------------------|-----------------------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|---|-----------------------------|
| Expert1          | 10                                | 10                 | 10                 | 5                                | 3   | 3                           |
| Expert2          | 7                                 | 7                  | 10                 | 8                                | 5   | 8                           |
| Expert3          | 5                                 | 5                  | 5                  | 5                                | 5   | 5                           |
| Expert4          | 10                                | 9                  | 9                  | 8                                | 10  | 8                           |
| Expert5          | 10                                | 10                 | 5                  | 6                                | 7   | 7                           |
| Expert6          | 10                                | 10                 | 5                  | 5                                | 5   | 5                           |
| Expert7          | 10                                | 7                  | 10                 | 6                                | 6   | 6                           |
| Expert8          | 8                                 | 8                  | 8                  | 8                                | 6   | 8                           |
| Expert9          | 9                                 | 9                  | 9                  | 7                                | 7   | 3                           |
| <b>Mean (SD)</b> | <b>8.78 (1.79)</b>                | <b>8.33 (1.73)</b> | <b>7.89 (2.26)</b> | <b>6.44 (1.33)</b>               | <b>6.00 (1.94)</b>                        | <b>5.89 (2.03)</b>          |

*Association of signs with the breathing pattern*

Agreement on the association of sign with the breathing pattern was fair ( $\alpha = .22$ ). After the Wilcoxon for signed rank test (for a mean or median equals to 0), each sign was linked to one or two breathing pattern(s). Main and second profiles and their respective association are detailed in Table 2.

**Table 2.***Signs (level C) and matched breathing pattern(s)*

|   | NB              | OB              | MB              |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|
| SIGNS   | n (p)           | n (p)           | n (p)           |
| Observing fully closed lips for more than half of the time                                | 8<br>(0.0078)** | 4 (0.1250)      | 0 (1)           |
| Observing slightly open lips for more than half of the time                               | 2 (0.5)         | 8<br>(0.0078)** | 3 (0.25)        |
| Observing half-open lips for more than half of the time                                   | 0 (1)           | 8<br>(0.0078)** | 6 (0.0313)*     |
| Observing wide open lips for more than half of the time                                   | 0 (1)           | 4 (0.1250)      | 8<br>(0.0078)** |
| Not observing a main pattern (sometimes the lips are open, sometimes the lips are closed) | 3 (0.25)        | 9<br>(0.0039)** | 2 (0.5)         |
| Observing an upper tongue position for more than half of the time                         | 9<br>(0.0039)** | 3 (0.25)        | 0 (1)           |
| Observing a low tongue position for more than half of the time                            | 3 (0.25)        | 5 (0.0625)      | 6 (0.0313)*     |
| Observing a low and forward tongue position for more than half of the time                | 0 (1)           | 3 (0.25)        | 9<br>(0.0039)** |
| Not observing the tongue position (because of closed lips) for more than half of the time | 8<br>(0.0078)** | 4 (0.1250)      | 1(1)            |
| Observing an open mouth posture for more than half of the time                            | 2 (0.5)         | 6 (0.0313)*     | 8<br>(0.0078)** |
| Observing the mouth closed for more than half of the time                                 | 8<br>(0.0078)** | 6 (0.0313)*     | 0 (1)           |
| Observing an open mouth posture for the entire observation time                           | 0 (1)           | 2 (0.5)         | 9<br>(0.0039)** |
| Observing the mouth closed for the entire observation time                                | 9<br>(0.0039)** | 2 (0.5)         | 0 (1)           |
| Observing an open mouth posture for more than half of the chewing occurrence              | 3 (0.25)        | 6 (0.0313)*     | 5 (0.0625)      |
| Observing the mouth closed for more than half of the chewing occurrences                  | 8<br>(0.0078)** | 7 (0.0156)*     | 0 (1)           |
| Observing an open mouth posture for all the chewing occurrences                           | 3 (0.25)        | 4 (0.1250)      | 8<br>(0.0078)** |
| Observing the mouth closed for all the chewing occurrences                                | 9<br>(0.0039)** | 3 (0.25)        | 0 (1)           |
| Observing the child breathing through his/her mouth just after swallowing                 | 0 (1)           | 7 (0.0156)*     | 6(0.0313)*      |
| Observing the child breathing through his/her nose just after swallowing                  | 8<br>(0.0078)** | 3 (0.25)        | 0 (1)           |

*NB = nasal breather; OB = oronasal breather; MB = mouth breather*

*\*p < .05 \*\*p < .01*

***Final consensus***

At the end of the Delphi process, we were able to extract three main observation contexts (level A) as well as four conditions of observation,

six criteria (level B) and twenty-one signs (level C). The first context (level A), judged by far as the most important by experts, consists in observing the child while at rest in a spontaneous and stress-free context. For example, while the child is watching a movie, drawing or playing without talking. We initially proposed to observe the child for five consecutive minutes (Fujimoto et al., 2009), but experts mentioned in their comments that it was more interesting to observe the child in several contexts and at different non-consecutive times. We therefore rewrote the final condition taking into account their suggestions: “*To observe the child for three consecutive minutes at rest in three different situations*”. Within this first context, the proportion of time spent with lips open (level B) was readily accepted by the experts and was considered as the most important criterion. Experts also suggested adding a criterion on tongue position (level B). For instance, observing a low and forward position of the tongue for more than half of the observation time was associated with MB. The position of the lips was also considered as a relevant criterion (e.g. wide-open lips were associated with MB whereas slightly open lips were associated with OB and half-open lips were first associated with OB and then to MB). However, the position of the tongue has been found to be more important.

Two other contexts of observation (level A) were accepted: the observation of the breathing pattern while chewing and the observation of the air intake just after swallowing. These contexts and their respective items were considered to have a much lower weight and importance than observing breathing at rest. During chewing, the experts considered that at least three bites of a biscuit were sufficient to observe the breathing pattern. Experts suggested that the posture of the mouth was the only factor to observe. For air intake after

swallowing, the experts considered three swallowing movements of a solid or liquid to be sufficient. They considered closed lips and nose breathing just after swallowing to be consistent with the NB profile. All retained final items, their conditions of observation, their order of importance and the main and secondary pattern attributed are summarized in Table 3.

**Table 3.**

*Summary of the main results*

| Items  | Order of importance | Main pattern | Second pattern |
|--|---------------------|--------------|----------------|
| Observing the child breathing at rest<br><i>Observe the child for 3 consecutive minutes at rest in 3 different resting situations (e.g. watching a movie, drawing, playing quietly or threading beads) and at different moments of the assessment's situation.</i> |                     |              |                |
| The time spent breathing at rest with a closed or open mouth   |                     |              |                |
| - Observing an open mouth posture for more than half of the time   |                     | MB           | OB             |
| - Observing the mouth closed for more than half of the time  |                     | NB           | OB             |
| - Observing an open mouth posture for the entire observation time  | 1                   | MB           |                |
| - Observing the mouth closed for the entire observation time   |                     | NB           |                |
| At rest, the position that the tongue occupies for more than half of the time  |                     |              |                |
| - Observing an upper tongue position for more than half of the time  |                     | NB           |                |
| - Observing a low tongue position for more than half of the time   |                     |              | MB             |
| - Observing a low and forward tongue position for more than half of the time   | 2                   | MB           |                |
| - Not observing the tongue position (because of closed lips) for more than half of the time  |                     | NB           |                |
| At rest, watching how open the lips are for more than half of the time   |                     |              |                |
| - Observing fully closed lips for more than half of the time   |                     | NB           |                |
| - Observing slightly open lips for more than half of the time  |                     | OB           |                |
| - Observing half-open lips for more than half of the time  | 3                   | OB           | MB             |
| - Observing wide open lips for more than half of the time  |                     | MB           |                |
| - Not observing a main pattern (sometimes the lips are open, sometimes the lips are closed)  |                     | OB           |                |
| Observing the child's breathing while chewing<br><i>Observe the child eating 1 or 2 biscuits (at least 3 bites)</i>  |                     |              |                |

|   |   |    |    |
|---|---|----|----|
| The time spent chewing with an open or a closed mouth   |   |    |    |
| - Observing an open mouth posture for more than half of the chewing occurrences   |   | OB | MB |
| - Observing the mouth closed for more than half of the chewing occurrences  |   | NB | OB |
| - Observing an open mouth posture for all the chewing occurrences   | 5 | MB |    |
| - Observing the mouth closed for all the chewing occurrences  |   | NB |    |
| Observing the child's air intake after swallowing   |   |    |    |
| <i>Observe the child drinking a small glass of water (at least 3 sips) and watch the air intake after each swallow</i>                        |   |    |    |
| <i>Observe the child eating 1 or 2 biscuits (at least 3 swallows) and watch the air intake after each swallow</i>                             |   |    |    |
| The rest position of the mouth just after swallowing (observing that after swallowing, the child directly opens the mouth or keeps it closed) |   |    |    |
| - Observing the mouth closed just after swallowing in most cases  |   | NB |    |
| - Observing a mouth opening just after swallowing in most cases   | 4 | MB | OB |
| The air intake pattern just after swallowing (through the mouth or through the nose)  |   |    |    |
| - Observing the child breathing through his/her mouth just after swallowing   |   | OB | MB |
| - Observing the child breathing through his/her nose just after swallowing  | 6 | NB |    |

---

*NB = nasal breathing, MB = mouth breathing, OB = oronasal breathing*

**Table 4.**

*Weight of the relative importance of each item (level B) for the clinical grid creation*

| <b>Criterion</b>   | <b>Weight</b> |
|--|---------------|
| The time spent breathing at rest with a closed or open mouth   | 13,31         |
| At rest, the position that the tongue occupies for more than half of the time  | 12,11         |
| At rest, watching how open the lips are for more than half of the time   | 9,94          |
| The rest position of the mouth just after swallowing (observing that after swallowing, the child directly opens the mouth or keeps it close) | 7,78          |
| The time spent chewing with an open or a closed mouth  | 6,06          |
| The air intake pattern just after swallowing (through the mouth or through the nose)   | 5,75          |

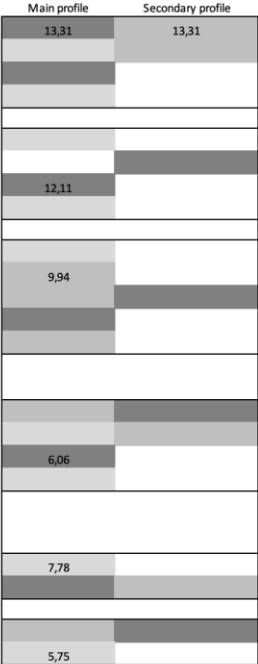
Only one sign can be selected within each criterion to describe the child's behavior. The clinician will select a total of six signs as they are mutually exclusive. When selecting a sign, its respective weight coefficient and assigned breathing pattern(s) influence the final score. Main and secondary patterns will ultimately come out according to the

weight coefficient and the breathing pattern linked to the six signs selected. The prototype of this clinical grid, completed with a fictional profile, is displayed in Figure 3.

**Figure 3.**

*Prototype of the clinical grid completed with a fictional profile*

| <b>Observing the child at rest</b>   |   |
|--|---|
| <b>The time spent breathing at rest with a closed or open mouth</b>  |   |
| Observing an open mouth posture for more than half of the time   | X |
| Observing the mouth closed for more than half of the time  |   |
| Observing an open mouth posture for the entire observation time  |   |
| Observing the mouth closed for the entire observation time   |   |
| <b>At rest, the position the tongue occupies for more than half of the time</b>  |   |
| Observing an upper tongue position for more than half of the time  |   |
| Observing a low tongue position for more than half of the time   |   |
| Observing a low and forward tongue position for more than half of the time   | X |
| Not observing the tongue position (because of closed lips) for more than half of the time  |   |
| <b>At rest, watching how open the lips are for more than half of the time</b>  |   |
| Observing fully closed lips for more than half of the time   |   |
| Observing slightly open lips for more than half of the time  | X |
| Observing half-open lips for more than half of the time  |   |
| Observing wide open lips for more than half of the time  |   |
| Not observing a main pattern (sometimes the lips are open, sometimes the lips are closed)  |   |
| <b>Observing the child's breathing while chewing</b>   |   |
| <b>The time spent chewing with an open or a closed mouth</b>   |   |
| Observing an open mouth posture for more than half of the chewing occurrence   |   |
| Observing the mouth closed for more than half of the chewing occurrences   |   |
| Observing an open mouth posture for all the chewing occurrences  | X |
| Observing the mouth closed for all the chewing occurrences   |   |
| <b>Observing the child's air intake after swallowing</b>   |   |
| <b>The rest position of the mouth just after swallowing (observing that after swallowing, the child directly opens the mouth or keeps it closed)</b> |   |
| Observing the mouth closed just after swallowing in most cases   | X |
| Observing a mouth opening just after swallowing in most cases  |   |
| <b>The air intake pattern just after swallowing (through the mouth or through the nose)</b>  |   |
| Observing the child breathing through his/her mouth just after swallowing  |   |
| Observing the child breathing through his/her nose just after swallowing   | X |



|                          |       |
|--------------------------|-------|
| <b>MAIN PATTERN</b>      |       |
| Nasal breather           | 13,53 |
| Mixt breather            | 9,94  |
| Mouth breather           | 31,48 |
| <b>SECONDARY PATTERN</b> |       |
| Mixt breather            | 13,31 |
| Mouth breather           | 0,00  |



## **Discussion**

The importance of early management of MB led us to focus on preschool children (Sano et al., 2018). We also decided to focus on the diagnosis of the awake and habitual breathing pattern by referring to the way the child breathes naturally and without constraint in everyday life. Indeed, habitual breathing is the reflection of the natural orofacial function, which is at the center of the SLP' scope of practice (Junqueira et al., 2010; Milanesi et al., 2018; Sano et al., 2018).

Given the lack of clear recommendations and valid clinical tools for SLPs, this study aimed to achieve an international consensus on the relevant items and their interpretation used to distinguish and classify the awake and habitual breathing pattern in preschool children. Our main results showed that observing the child at rest (i.e. time spend with an open/closed mouth and position of tongue/lips) was considered the most important criterion. The experts also considered that observing the breathing pattern while chewing (open/closed mouth) and after swallowing (i.e. air intake and open/ closed mouth just after swallowing) should provide relevant but secondary information in decision-making. On the basis of this consensus, we have developed a clinical grid to guide clinicians in their decision-making.

### ***Determine the habitual awake breathing pattern in preschool children***

Many authors had previously considered MB and OB as part of the same classification (Abreu et al., 2008a; de Felício & Ferreira, 2008; Saitoh et al., 2018). Experts who participated in this study agreed however to differentiate between NB, MB and OB, as it previously seen in the literature (Fujimoto et al., 2009; Marchesan et al., 2012; Valera

et al., 2003). This suggests that the breathing pattern should be best described as a general and predominant trend (De Menezes et al., 2006; Valera et al., 2003), which fluctuates over time. Some children therefore tend to fall in between the two main patterns.

Observing the child while at rest is very common to assess the breathing pattern (de Felício et al., 2010; Fujimoto et al., 2009). However, experts of this study brought new information by suggesting the breathing function should be observed in several different contexts and at non-consecutive times to take into account fluctuations over time. These recommendations should help to corroborate the observed information and better represent the preferential and natural breathing pattern.

The most frequently observed criterion in the literature is the position of the mouth and/or lips (de Felício et al., 2010; Junqueira et al., 2010; Milanese et al., 2018; Sano et al., 2018; Valera et al., 2003). The position of the mouth and lips was considered as relevant but again the proportion of time spent with lips/mouth open was considered as a major factor. Very few studies had then included this notion of time (Fujimoto et al., 2009), although it seems essential as the breathing pattern should be considered as a general trend. Experts also suggested to add a criterion on tongue position, as often included in SLP's assessment (Milanese et al., 2018). This is consistent with the idea that the base of the tongue plays a role of sealing while NB (Fujimoto et al., 2009) and undergoes an adaptive response to free oropharyngeal space while MB (Junqueira et al., 2010; Valera et al., 2003). As tongue position was considered more important than the lips position, a child with open lips (irrespective of amplitude) but a tongue in a high position would match with a NB profile. Experts also associated the sign "slightly open lips" with OB, whereas "half-open

lips” was primarily associated with OB and secondarily with MB. Milanese et al. (2017) previously underlined the need to consider the range of lips opening in the identification of MB. Our results allowed us to go further by specifying the breathing patterns associated with these signs.

The observation of the breathing pattern while chewing and the observation of the air intake just after swallowing as well as their respective items were considered relevant, as previously suggested by some authors (de Felício & Ferreira, 2008; Knösel et al., 2012). However, both contexts were considered to be of secondary significance. It is important to note that this item does not correspond to assess the quality of chewing or swallowing function. Indeed, although MB may impact these functions (Junqueira et al., 2010), assessing the quality of chewing and swallowing functions does not directly inform the child's preferred and habitual breathing pattern.

Our study supports prior findings to assess breathing pattern during functional assessment. However, we also found important differences with previous studies. First, within the context of observation at rest, experts judged the observation of noisy breathing as irrelevant. These results are in disagreement with the study of Valera et al. (Valera et al., 2003), who observed inspiratory noises in 60% of preschool mouth breathers. Experts of this study justified their decision on the basis that noises are a symptom of obstruction rather than a reflection of habitual MB. Second, all signs linked to habits/behaviors like finger sucking, nose itching or lips playing were considered irrelevant, as these signs were more predictive behaviors or causal factors of MB. Third, based on the literature review, we had initially proposed to observe the child during induced or forced NB (de Felício et al., 2010; Pacheco et al., 2015; Zaghi et al., 2020). This

criterion was considered non-reliable to describe the habitual mouth breathing. Assessing the child's ability to breathe through the nose has been showed to effectively differentiate obstructive MB from functional MB. However, many children who usually breathe through the mouth are quite capable of breathing through their nose when forced to do so (Zaghi et al., 2020). Same limitations could apply to tests used by SLP in the myofunctional assessment, for instance lip seal or water retention tests (Pacheco et al., 2015).

### ***Limitations and strengths***

This study has some limitations. First, the number of experts who participated in the Delphi process barely reached the minimum threshold generally recommended for the first two rounds (minimum 10 participants) (Iqbal & Pison-Young, 2009). The third round reached only nine participants. It is also important to note that the grid is currently at a prototypical stage and cannot be used as it stands in practice yet. Though it has been content validated, it now requires clinical validation in terms of internal consistency, inter-rater reliability, sensitivity and specificity in comparison to an objective tool, such as the one used by Fujimoto and colleagues (Fujimoto et al., 2009) As mentioned earlier, the notion of chronicity is central to the diagnosis of MB (Guilleminault & Huang, 2017). It will therefore be essential to consider it if the grid proves to be valid. Finally, the presence of open lips position is not systemically considered to be sufficient to prove the presence of MB (Fujimoto et al., 2009; Sano et al., 2018). A child who breathes through the mouth has automatically the lips opened; on the contrary, a child with open lips could as well breathe through the nose. Despite the fact that this grid provides more information, such as the position of the tongue, clinical visual examination alone may not be

reliable and representative enough to establish diagnosis. Hence, a multidisciplinary approach remains essential.

On the other hand, the strong methodology provided by the Delphi process adds reliability to the development of clinical guidelines in the field of SLP specialized in orofacial myology/myofunctional sciences. Each item is based on clear recommendations and well-defined observation contexts taking into account the constraints peculiar to the SLP's assessment, such as limited session time. If validated, this grid would facilitate early diagnosis of awake and habitual MB and initiate early management to avoid long-term consequences of MB.

## **Conclusion**

The experts who participated in the Delphi process considered that awake and habitual in preschoolers should be classified in three categories: NB, OB and MB. Children should be assessed primarily at rest. Time spent with an open mouth posture was considered as the most relevant sign to determine the breathing pattern. SLPs also reported the position of the lips and tongue as being essential to observe. The consensus highlights the fact that mouth posture while chewing and just after swallowing should complete the examination.

A clinical grid was developed based on this international consensus. This grid is intended to help the SLP make a nuanced decision, through a primary and secondary profile, on the awake habitual breathing pattern during the myofunctional assessment. While this grid seems a promising tool, further studies should explore its validity in comparison to an objective and reliable diagnosis tool.

## References

- Abreu, R. R., Rocha, R. L., Lamounier, J. A., & Guerra, Â. F. M. (2008). Etiology, clinical manifestations and concurrent findings in mouth-breathing children. *Jornal de Pediatria*, *84*(6), 529–535. <https://doi.org/10.2223/JPED.1844>
- Bandyopadhyay, A., & Slaven, J. E. (2021). Health outcomes associated with improvement in mouth breathing in children with OSA. *Sleep and Breathing*, *25*(3), 1635–1639. <https://doi.org/10.1007/s11325-020-02247-2>
- Boateng, G. O., Neilands, T. B., Frongillo, E. A., Melgar-Quiñonez, H. R., & Young, S. L. (2018). Best Practices for Developing and Validating Scales for Health, Social, and Behavioral Research: A Primer. *Frontiers in Public Health*, *6*(June), 1–18. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2018.00149>
- de Felício, C. M., & Ferreira, C. L. P. (2008). Protocol of orofacial myofunctional evaluation with scores. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, *72*(3), 367–375. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2007.11.012>
- de Felício, C. M., Folha, G. A., Ferreira, C. L. P., & Medeiros, A. P. M. (2010). Expanded protocol of orofacial myofunctional evaluation with scores: Validity and reliability. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, *74*(11), 1230–1239. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2010.07.021>
- De Menezes, V. A., Leal, R. B., Pessoa, R. S., & Pontes, R. M. E. S. (2006). Prevalence and factors related to mouth breathing in school children at the Santo Amaro project-Recife, 2005. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, *72*(3), 394–398. [https://doi.org/10.1016/s1808-8694\(15\)30975-7](https://doi.org/10.1016/s1808-8694(15)30975-7)

- Ermis-Demirtas, H. (2018). Establishing Content-Related Validity Evidence for Assessments in Counseling: Application of a Sequential Mixed-Method Approach. *International Journal for the Advancement of Counselling*, 40(4), 387–397. <https://doi.org/10.1007/s10447-018-9332-4>
- Fraga, W. S., Seixas, V. M., Santos, J. C., Paranhos, L. R., & César, C. P. (2018). Mouth breathing in children and its impact in dental malocclusion: a systematic review of observational studies. *Minerva Stomatologica*, 67(3), 129–138. <https://doi.org/10.23736/s0026-4970.18.04015-3>
- Fujimoto, S., Yamaguchi, K., & Gunjigake, K. (2009). Clinical estimation of mouth breathing. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 136(5), 630.e1-630.e7. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2009.03.034>
- Guilleminault, C., & Huang, Y. S. (2017). From oral facial dysfunction to dysmorphism and the onset of pediatric OSA. *Sleep Medicine Reviews*, 40, 203–214. <https://doi.org/10.1016/j.smr.2017.06.008>
- Hitos, S. F., Arakaki, R., Solé, D., & Weckx, L. L. M. M. (2013). Oral breathing and speech disorders in children. *Jornal de Pediatria*, 89(4), 361–365. <https://doi.org/10.1016/j.jpmed.2012.12.007>
- Iqbal, S., & Pipon-Young, L. (2009). The delphi method. A step-by-step guide. *Psychologist*, 22(7), 598–601.
- Junqueira, P., Marchesan, I. Q., de Oliveira, L. R., Ciccone, E., Haddad, L., & Rizzo, M. C. (2010). Speech-language pathology findings in patients with mouth breathing: multidisciplinary diagnosis according to etiology. *The International Journal of Orofacial Myology: Official Publication of the International*

*Association of Orofacial Myology*, 36, 27–32.

- Knösel, M., Klein, S., Bleckmann, A., & Engelke, W. (2012). Coordination of tongue activity during swallowing in mouth-breathing children. *Dysphagia*, 27(3), 401–407. <https://doi.org/10.1007/s00455-011-9383-8>
- Koo, T. K., & Li, M. Y. (2016). A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *Journal of Chiropractic Medicine*, 15(2), 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012>
- Lawshe, C. H. (1975). A quantitative approach to content validity. *Personnel Psychology*, 28(4), 563–575.
- Marchesan, I. Q., Berretin-Félix, G., & Genaro, K. F. (2012). MBGR protocol of orofacial myofunctional evaluation with scores. *The International Journal of Orofacial Myology*, 38, 38–77.
- Milanesi, J. de M., Berwig, L. C., Marquezan, M., Schuch, L. H., de Moraes, A. B., da Silva, A. M. T., & Corrêa, E. C. R. (2018). Variables associated with mouth breathing diagnosis in children based on a multidisciplinary assessment. *CODAS*, 30(4), 20170071. <https://doi.org/10.1590/2317-1782/20182017071>
- Milanesi, J. de M., Berwig, L. C., Schuch, L. H., Ritzel, R. A., Silva, A. M. T. da, & Corrêa, E. C. R. (2017). Nasal patency and otorhinolaryngologic-orofacial features in children. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 85(1), 83–91. <https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2017.10.014>
- Neiva, P. D., Kirkwood, R. N., Mendes, P. L., Zabjek, K., Becker, H. G., & Mathur, S. (2018). Postural disorders in mouth breathing children: a systematic review. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 22(1), 7–19. <https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2017.06.011>



- Nogami, Y., Saitoh, I., Inada, E., Murakami, D., Iwase, Y., Kubota, N., Nakamura, Y., Kimi, M., Hayasaki, H., Yamasaki, Y., & Kaihara, Y. (2021). Prevalence of an incompetent lip seal during growth periods throughout Japan : a study. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 26(11), 1–9.
- Pacheco, M. C. T., Casagrande, C. F., Teixeira, L. P., Finck, N. S., & de Araújo, M. T. M. (2015). Guidelines proposal for clinical recognition of mouth breathing children. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 20(4), 39–44. <https://doi.org/10.1590/2176-9451.20.4.039-044.oar>
- Ribeiro, G. C. A., dos Santos, I. D., Santos, A. C. N., Paranhos, L. R., & César, C. P. H. A. R. (2016). Influence of the breathing pattern on the learning process: a systematic review of literature. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 82(4), 466–478. <https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2015.08.026>
- Rowe, G., & Wright, G. (2001). Expert Opinions in Forecasting: The Role of the Delphi Technique. In J. S. Armstrong (Ed.), *Principles of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners* (pp. 125–144). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-0-306-47630-3\\_7](https://doi.org/10.1007/978-0-306-47630-3_7)
- Saitoh, I., Inada, E., Kaihara, Y., Nogami, Y., Murakami, D., Kubota, N., Sakurai, K., Shirazawa, Y., Sawami, T., Goto, M., Nosou, M., Kozai, K., Hayasaki, H., & Yamasaki, Y. (2018). An exploratory study of the factors related to mouth breathing syndrome in primary school children. *Archives of Oral Biology*, 92(August 2017), 57–61. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2018.03.012>
- Sano, M., Sano, S., Kato, H., Arakawa, K., & Arai, M. (2018). Proposal for a screening questionnaire for detecting habitual mouth breathing, based on a mouth-breathing habit score. *BMC Oral*

*Health*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-018-0672-6>

Torre, C., & Guilleminault, C. (2018). Establishment of nasal breathing should be the ultimate goal to secure adequate craniofacial and airway development in children. *Jornal de Pediatria*, 94(2), 101–103. <https://doi.org/10.1016/j.jpmed.2017.08.002>

Valera, F. C. P., Travitzki, L. V. V., Mattar, S. E. M., Matsumoto, M. A. N., Elias, A. M., & Anselmo-Lima, W. T. (2003). Muscular, functional and orthodontic changes in pre school children with enlarged adenoids and tonsils. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 67(7), 761–770. [https://doi.org/10.1016/S0165-5876\(03\)00095-8](https://doi.org/10.1016/S0165-5876(03)00095-8)

Zaghi, S., Peterson, C., Shamtoob, S., Fung, B., Kwok-Keung Ng, D., Jagomagi, T., Archambault, N., O'connor, B., Winslow, K., Peeran, Z., Lano, M. ', Murdock, J., Valcu-Pinkerton, S., Morrissey, L., & Assessment, L. M. (2020). Nasal breathing using lip taping: A simple and effective screening tool. *International Journal of Otorhinolaryngology*, 6(1), 10–15. <https://doi.org/10.11648/j.ijo.20200601.13>

Zhao, Z., Zheng, L., Huang, X., Li, C., Liu, J., & Hu, Y. (2021). Effects of mouth breathing on facial skeletal development in children: a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health*, 21(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s12903-021-01458-7>

## Appendices

### Appendix 1.

#### List of the baseline items initially presented to the experts for reviewing

| Level | Baseline items  | References   |
|-------|---|--|
| A     | <b>The breathing pattern classification should be split in three main and proper categories: Mouth breathing, nasal breathing or oronasal breathing</b> | Felício et al., 2010 ; Felício & Ferreira, 2008 ; Fujimoto et al., 2009 ; Grandi et al., 2012 ; Marchesan et al., 2012 ; Valera et al., 2003 ; Basheer et al., 2014 ; Sano et al., 2018 ; Yamaguchi et al., 2015 ; Ikenaga et al., 2013 ; De Mattos, 2018 ; Milanesi et al., 2018 ; Andrade et al., 2012 |
| A     | <b>Watching a child breathing at rest in a spontaneous and stress-free context is relevant to determine the awake and habitual breathing pattern.</b>   | Felício et al., 2010 ; Felício & Ferreira, 2008 ; Fujimoto et al., 2009 ; Ieto, 2011 ; Andrade et al., 2012  |
|       | <u>Observing the child for 5 consecutive minutes at rest is enough to be relevant to determine the awake and habitual breathing pattern</u>             | Fujimoto et al., 2009 ; Nagaiwa et al., 2016 ; Ikenaga et al., 2013  |
| B     | Observing an open mouth posture at rest (in a spontaneous and stress-free context) is relevant to determine the awake and habitual breathing pattern    | Basheer et al., 2014 ; Bueno et al., 2015 ; Cuccia et al., 2008 ; Harari et al., 2010 ; Junqueira et al., 2010 ; Lopes et al., 2014 ; Milanesi et al., 2018 ; Pacheco et al., 2015 ; Saitoh et al., 2018 ; Sano et al., 2018 ; Valera et al., 2003   |
| B     | Amplitude of mouth opening is relevant to determine the awake and habitual breathing pattern  | Cattoni et al., 2007 ; Milanesi et al., 2018 ; Andrade et al., 2012  |
| C     | <i>Observing fully closed lips will influence your decision</i>   |  |
| C     | <i>Observing the lips slightly open will influence your decision</i>  |  |
| C     | <i>Observing half-open lips will influence your decision</i>  |  |
| C     | <i>Observing wide open lips will influence your decision</i>  |  |
| C     | <i>Observing that sometimes the mouth is open, sometimes the mouth is closed will influence your decision.</i>  |  |
| B     | Time spent with an open mouth posture is relevant to determine the awake and habitual breathing pattern   | Fujimoto et al., 2009  |

|   |  |  |
|---|--|--|
| C | <i>Observing an open mouth posture (lips slightly, half or wide open) for the half of the observation time or more will influence your decision.</i>         |  |
| C | <i>Observing the mouth closed for the half of the observation time or more will influence your decision.</i>   |  |
| C | <i>Observing an open mouth posture for the entire observation time will influence your decision.</i>   |  |
| C | <i>Observing the mouth closed for the entire observation time will influence your decision.</i>  |  |
| B | Hearing noisy breathing at rest is relevant to determine the awake and habitual breathing pattern  | Felcar et al., 2010 ; Marchesan, 2000 ; Valera et al., 2003  |
| C | <i>Hearing nasal inspiration noises will influence your decision.</i>  |  |
| C | <i>Hearing oral inspiration noises will influence your decision.</i>   |  |
| B | Watching the child's behaviors/habits at rest is relevant to determine the awake and habitual breathing pattern  | Abreu et al., 2008 ; Lopes et al., 2014 ; Saitoh et al., 2018 ; Trawitzki et al., 2005 ; Valera et al., 2003 |
| C | <i>Observing the child itching his/her nose will influence your decision.</i>  |  |
| C | <i>Observing the child licking and/or playing with his/her lips, or sticking out the tongue will influence your decision.</i>                                |  |
| C | <i>Observing the child sucking his/her finger, lower lip or an object will influence your decision.</i>  |  |
| C | <i>Observing not any behaviors/habits will influence your decision.</i>  |  |
| C | <i>One occurrence of one of these behaviors during the entire observation is enough to be relevant to determine the awake and habitual breathing pattern</i> |  |
| A | <b>Watching a child just after swallowing is relevant to determine the awake and habitual breathing pattern</b>  | Bueno et al., 2015 ; Knösel et al., 2011 ; Saitoh et al., 2018 ; Valera et al., 2003                         |
|   | <u>Observing at least 2 sips is enough and relevant to determine the awake and habitual breathing pattern</u>  |  |
| B | Observing the air intake just after swallowing is relevant to determine the awake and habitual breathing pattern.  |  |
| C | <i>Observing the child breathing through his/her mouth just after swallowing will influence your decision</i>  |  |
| C | <i>Observing the child breathing through his/her nose just after swallowing will influence your decision</i>   |  |
| C | <i>Observing a mouth opening just after swallowing will influence your decision.</i>   |  |
| C | <i>Observing the mouth closed just after swallowing will influence your decision.</i>  |  |

|   |  |  |
|---|--|--|
| A | <p><b>Watching the child while chewing is relevant to determine awake and habitual breathing pattern</b></p> <p><u>Observing 2 bites is enough to be relevant to determine awake and habitual breathing pattern</u></p>  | <p>Felício et al., 2010 ; Felício &amp; Ferreira, 2008 ; Saitoh et al., 2018 ; Silva et al., 2007 ; Valera et al., 2003 ; Ikenaga et al., 2013 ; Nagaiwa et al., 2016 ; Sano et al., 2018 ; Bueno et al., 2015</p> |
| B | <p>Time spent with an open mouth posture while chewing is relevant to determine the awake and habitual breathing pattern</p>   |  |
| C | <p><i>Observing an open mouth posture for the half of the chewing occurrences or more will influence your decision.</i></p>  |  |
| C | <p><i>Observing the mouth closed for the half of the chewing occurrences or more will influence your decision.</i></p>   |  |
| C | <p><i>Observing an open mouth posture for all the chewing occurrences will influence your decision.</i></p>  |  |
| C | <p><i>Observing the mouth closed for all the chewing occurrences will influence your decision.</i></p>   |  |
| C | <p><i>Observing the child chewing with his/her mouth open will influence your decision.</i></p>  |  |
| A | <p><b>Encouraging or forcing the child to breathe through the nose (forced nasal breathing) is relevant to determine awake and habitual breathing pattern</b></p> <p><u>Placing tape on the child's lips for 3 minutes is enough and relevant to determine awake and habitual breathing pattern</u></p> <p><u>Verbally ask the child to take 5 consecutive breaths through the nose is enough and relevant to determine awake and habitual breathing pattern</u></p> | <p>Bakke et al., 2007 ; Felício et al., 2010 ; Felício &amp; Ferreira, 2008 ; Pacheco et al., 2015 ; Zaghi et al., 2020</p>  |
| C | <p><i>Observing signs of tiredness while the child is forced to breathe through the nose will influence your decision.</i></p>   |  |
| C | <p><i>Observing signs of dyspnea while the child is forced to breathe through the nose will influence your decision.</i></p>   |  |
| C | <p><i>Observing signs of efforts to maintain labial closure (wrinkles on the chin, contraction of face muscles, ...) when the child is forced to breathe through the nose will influence your decision.</i></p>  |  |
| C | <p><i>Observing none of the signs (tiredness, dyspnea, efforts) above will influence your decision.</i></p>  |  |
| C | <p><i>Observing that the child fails to breathe through the nose during the entire exercise will influence your decision.</i></p>  |  |
| B | <p>Observing the air intake just after the forced breathing will influence your decision</p>   |  |

## Appendix 2.

### Expert's comments on conditions

| Baseline items   | Items in the second questionnaire   | Experts' suggestions   | Modified items according to experts' suggestions   |
|--|---|--|--|
| Observing the child for 5 consecutive minutes at rest is enough to be relevant to determine the awake and habitual breathing pattern | Observing the child for 3 consecutive minutes at rest in several different resting situations is relevant to determine the awake and habitual breathing pattern.          | 8/13 experts agreed with the proposal. The other mentioned essentiality and suggested modifications, such as increasing the number of observation opportunities rather than lengthen the observation time.<br>They generally proposed between 2 and 4 different situations to observe: watching a film, stringing beads, drawing, playing, listening to a story. They also suggest observing the child at the beginning and end of the assessment. | Conditions of observation at rest:<br>Observe the child for 3 consecutive minutes at rest <b>in 3 different resting situations (watching a movie, drawing, playing quietly, threading beads)</b> and at different moments of the assessment's situation. |
| Observing at least 2 sips is enough and relevant to determine the awake and habitual breathing pattern                               | When observing the child's air intake after swallowing, at least 3 sips of water are enough and relevant to determine the awake and habitual breathing pattern.           | 6/13 experts agreed with this proposal. The other mentioned essentiality and suggested modifications, such as increasing the number of sips. Most experts suggested up to 5 or 6 swallows, others suggested not to give a specific number but rather to offer a small glass of water.  | Condition of observation of the child's air intake after swallowing:<br><b>Observe the child drinking a small glass of water (at least 3 sips)</b> and watch the air intake after each swallow.  |
|  | When observing the child's air intake after swallowing, at least 3 swallows of solid bolus are enough and relevant to determine the awake and habitual breathing pattern. | 6/13 experts agreed with this proposal. The other mentioned essentiality and suggested modifications in line with the previous item: about 5 swallows or a whole food (like a biscuit).  | Condition of observation of the child's air intake after swallowing:<br><b>Observe the child eating 1 or 2 biscuits (at least 3 swallows)</b> and watch the air intake after each swallow.   |
| Observing 2 bites is enough to be relevant to determine awake and habitual breathing pattern   | When observing the child's breathing during chewing, at least 3 bites are enough to be relevant to determine the awake and habitual breathing pattern.                    | 6/13 experts agreed with this proposal. The other mentioned essentiality and suggested modifications in line with the previous item: about 5 bites or a whole food (like a biscuit).   | Condition of observation of the child's breathing during chewing:<br><b>Observe the child eating 1 or 2 biscuits (at least 3 bites).</b>   |

### Appendix 3.

#### Details of each item and their respective CVR

| FIRST ROUND |  |    |               | SECOND ROUND (modified items) |   |    |                |             |
|-------------|--|----|---------------|-------------------------------|---|----|----------------|-------------|
| LEVEL       | Items  | N  | CVR threshold | CVR                           | Items   | N  | CVR thresh old | CVR         |
| A           | Watching a child breathing at rest in a spontaneous and stress-free context is relevant to determine the awake and habitual breathing pattern.       | 14 | 0.44          | <b>0.57</b>                   | Validated in the first round  |    |                |             |
|             | Observing the child for 5 consecutive minutes at rest is enough to be relevant to determine the awake and habitual breathing pattern                 | 14 | 0.44          | -0.86                         | Observing the child for 3 consecutive minutes at rest in several different resting situations is relevant to determine the awake and habitual breathing pattern | 15 | 0.425          | 0.20        |
| B           | Observing an open mouth posture at rest (in a spontaneous and stress-free context) is relevant to determine the awake and habitual breathing pattern | 14 | 0.44          | 0.00                          | Observing the mouth posture (lips and tongue) at rest is relevant to determine the awake and habitual breathing pattern   | 15 | 0.425          | <b>0.60</b> |
| B           | Amplitude of mouth opening is relevant to determine the awake and habitual breathing pattern   | 14 | 0.44          | -0.29                         | Watching how open the lips are for more than half of the time at rest, is relevant to determine the awake and habitual breathing pattern                        | 15 | 0.425          | <b>0.47</b> |
| C           | <i>Observing fully closed lips will influence your decision</i>  | 7  | 0.622         | 0.43                          | <i>Observing fully closed lips for more than half of the time will influence your decision</i>  | 11 | 0.496          | <b>0.82</b> |
| C           | <i>Observing the lips slightly open will influence your decision</i>   | 7  | 0.622         | -0.43                         | <i>Observing the lips slightly open for more than half of the time will influence your decision</i>   | 11 | 0.496          | <b>0.64</b> |
| C           | <i>Observing half-open lips will influence your decision</i>   | 7  | 0.622         | -0.14                         | <i>Observing half-open lips for more than half of the time will influence your decision</i>   | 11 | 0.496          | <b>1.00</b> |
| C           | <i>Observing wide open lips will influence your decision</i>   | 7  | 0.622         | 0.43                          | <i>Observing wide open lips for more than half of the time will influence your decision</i>   | 11 | 0.496          | <b>0.64</b> |
| C           | <i>Observing that sometimes the mouth is open, sometimes the mouth is closed will influence your decision.</i>                                       | 7  | 0.622         | 0.14                          | <i>Not observing a main pattern (sometimes the lips are open, sometimes the lips are closed) will influence your decision.</i>                                  | 11 | 0.496          | <b>0.64</b> |
| B           |  |    |               |                               | Observing the position occupied by the tongue for more than half of the time at rest is relevant to determine the awake and habitual breathing pattern          | 15 | 0.425          | <b>0.73</b> |
| C           |  |    |               |                               | <i>Observing an upper tongue position for more than half of the time will influence your decision</i>   | 14 | 0.44           | <b>0.86</b> |
| C           | Non-existent in first round  |    |               |                               | <i>Observing a low tongue position for more than half of the time will influence your decision</i>  | 14 | 0.44           | <b>0.71</b> |
| C           |  |    |               |                               | <i>Observing a low and forward tongue position for more than half of the time will influence your decision</i>  | 14 | 0.44           | <b>0.86</b> |
| C           |  |    |               |                               | <i>Not observing the tongue position (because of closed lips) for more than half of the time will influence your decision</i>                                   | 14 | 0.44           | <b>0.57</b> |
| B           | Time spent with an open mouth posture is relevant to determine the awake and habitual breathing pattern  | 14 | 0.44          | <b>0.71</b>                   | Validated in the first round  |    |                |             |

|   |  |    |       |             |  |    |                   |
|---|--|----|-------|-------------|--|----|-------------------|
| C | Observing an open mouth posture (lips slightly, half or wide open) for the half of the observation time or more will influence your decision.  | 13 | 0.456 | <b>0.69</b> |  |    |                   |
| C | Observing the mouth closed for the half of the observation time or more will influence your decision.  | 13 | 0.456 | <b>0.69</b> |  |    |                   |
| C | Observing an open mouth posture for the entire observation time will influence your decision.  | 13 | 0.456 | <b>0.54</b> |  |    |                   |
| C | Observing the mouth closed for the entire observation time will influence your decision.   | 13 | 0.456 | <b>0.85</b> |  |    |                   |
| B | Hearing noisy breathing at rest is relevant to determine the awake and habitual breathing pattern  | 14 | 0.44  | -0.29       | Knowing that the child does not present any medical condition, hearing noisy breathing at rest is relevant to determine the awake and habitual breathing pattern   | 15 | 0.425 -0.20       |
| C | Hearing nasal inspiration noises will influence your decision.   | 9  | 0.548 | -0.11       | Knowing that the child does not present any medical condition, hearing nasal inspiration noises on repeated breathing cycles will influence your decision.   | 11 | 0.496 0.27        |
| C | Hearing oral inspiration noises will influence your decision.  | 9  | 0.548 | -0.33       | Knowing that the child does not present any medical condition, hearing oral inspiration noises on repeated breathing cycles will influence your decision.  | 11 | 0.496 0.27        |
| B | Watching the child's behaviors/habits at rest is relevant to determine the awake and habitual breathing pattern  | 14 | 0.44  | <b>0.71</b> | Validated in the first round   |    |                   |
|   | One occurrence of one of these behaviors during the entire observation is enough to be relevant to determine the awake and habitual breathing pattern (ex. Observing the child sticking out his/her tongue just once is enough to be relevant to determine awake and habitual breathing pattern) | 13 | 0.456 | -0.85       | In addition to other the signs, observing more than one occurrence of some habits/behaviors (finger sucking, nose itching, lips playing) during the entire observation is relevant to determine the awake and habitual breathing pattern | 15 | 0.425 0.33        |
| C | Observing the child itching his/her nose will influence your decision.   | 13 | 0.456 | -0.69       | In addition to the other signs, observing the child itching his/her nose on more than one occasion will influence your decision.   | 11 | 0.496 -0.09       |
| C | Observing the child licking and/or playing with his/her lips, or sticking out the tongue will influence your decision.   | 13 | 0.456 | -0.23       | In addition to the other signs, observing the child licking and/or playing with his/her lips, or sticking out the tongue on more than one occasion will influence your decision.   | 11 | 0.496 <b>0.82</b> |
| C | Observing the child sucking his/her finger, lower lip or an object will influence your decision.   | 13 | 0.456 | -0.38       | In addition to the other signs, observing the child sucking his/her thumb, sucking his/her lower lip or sucking an object on more than one occasion will influence your decision.  | 11 | 0.496 <b>0.82</b> |
| C | Observing not any behaviors/habits will influence your decision.   | 13 | 0.456 | -0.54       | In addition to the other signs, not observing any behaviors/habits will influence your decision.   | 11 | 0.496 <b>0.82</b> |
| A | Watching a child just after swallowing is relevant to determine the awake and habitual breathing pattern   | 14 | 0.44  | <b>0.57</b> | Validated in the first round   |    |                   |



|   |   |    |       |             |                              |  |    |       |             |
|---|---|----|-------|-------------|------------------------------|--|----|-------|-------------|
|   | Observing at least 2 sips is enough and relevant to determine the awake and habitual breathing pattern                | 11 | 0.496 | -0.09       |                              | When observing the child's air intake after swallowing, at least 3 sips of water are enough and relevant to determine the awake and habitual breathing pattern           | 15 | 0.425 | -0.07       |
|   | Non-existent in first round   |    |       |             |                              | When observing the child's air intake after swallowing, at least 3 swallows of solid bolus are enough and relevant to determine the awake and habitual breathing pattern | 15 | 0.425 | -0.07       |
| B | Observing the air intake just after swallowing is relevant to determine the awake and habitual breathing pattern.     | 11 | 0.496 | <b>0.64</b> |                              |  |    |       |             |
| C | <i>Observing the child breathing through his/her mouth just after swallowing will influence your decision</i>         | 10 | 0.52  | <b>0.60</b> | Validated in the first round |  |    |       |             |
| C | <i>Observing the child breathing through his/her nose just after swallowing will influence your decision</i>          | 10 | 0.52  | <b>0.80</b> |                              |  |    |       |             |
| C | <i>Observing a mouth opening just after swallowing will influence your decision.</i>                                  | 11 | 0.496 | 0.09        |                              | <i>When watching the child's air intake after swallowing, observing a mouth opening in most cases will influence your decision.</i>                                      | 15 | 0.425 | <b>0.87</b> |
| C | <i>Observing the mouth closed just after swallowing will influence your decision.</i>                                 | 11 | 0.496 | <b>0.64</b> |                              |  |    |       |             |
| A | Watching the child while chewing is relevant to determine the awake and habitual breathing pattern                    | 14 | 0.44  | <b>0.57</b> | Validated in the first round |  |    |       |             |
|   | Observing 2 bites is enough to be relevant to determine the awake and habitual breathing pattern                      | 12 | 0.475 | -0.50       |                              | When observing the child's breathing during chewing, at least 3 bites are enough to be relevant to determine the awake and habitual breathing pattern                    | 15 | 0.425 | -0.33       |
| C | <i>Observing the child chewing with his/her mouth open will influence your decision.</i>                              | 12 | 0.475 | <b>0.83</b> |                              |  |    |       |             |
| C | <i>Observing the child chewing with his/her mouth closed will influence your decision.</i>                            | 12 | 0.475 | <b>0.50</b> |                              |  |    |       |             |
| B | Time spent with an open mouth posture while chewing is relevant to determine the awake and habitual breathing pattern | 12 | 0.475 | <b>0.83</b> |                              |  |    |       |             |
| C | <i>Observing an open mouth posture for the half of the chewing occurrences or more will influence your decision.</i>  | 11 | 0.496 | <b>0.82</b> | Validated in the first round |  |    |       |             |
| C | <i>Observing the mouth closed for the half of the chewing occurrences or more will influence your decision.</i>       | 11 | 0.496 | <b>0.64</b> |                              |  |    |       |             |
| C | <i>Observing an open mouth posture for all the chewing occurrences will influence your decision.</i>                  | 11 | 0.496 | <b>1.00</b> |                              |  |    |       |             |
| C | <i>Observing the mouth closed for all the chewing occurrences will influence your decision.</i>                       | 11 | 0.496 | <b>0.64</b> |                              |  |    |       |             |

|                                |  |                            |      |                            |  |    |       |       |
|--------------------------------|--|----------------------------|------|----------------------------|--|----|-------|-------|
| A                              | Encouraging or forcing the child to breathe through the nose (forced nasal breathing) is relevant to determine the awake and habitual breathing pattern  | 14                         | 0.44 | 0.14                       | In addition to the other contexts of observation, encouraging or forcing the child to breathe through the nose (forced nasal breathing) is relevant to determine the awake and habitual breathing pattern      | 15 | 0.425 | 0.33  |
|                                | Placing tape on the child's lips for 3 minutes is enough and relevant to determine the awake and habitual breathing pattern  | 10                         | 0.52 | -0.60                      | In addition to the other signs or assessment situations, placing tape on the child's lips for 3 minutes is enough and relevant to determine the awake and habitual breathing pattern                           | 13 | 0.496 | -0.69 |
|                                | Verbally ask the child to take 5 consecutive breaths through the nose is enough and relevant to determine the awake and habitual breathing pattern   | 10                         | 0.52 | -0.20                      | In addition to the other signs or assessment situations, verbally asking the child to take 7 consecutive breaths through the nose is enough and relevant to determine the awake and habitual breathing pattern | 13 | 0.496 | -0.23 |
| C                              | <i>Observing signs of tiredness while the child is forced to breathe through the nose will influence your decision.</i>  | 10                         | 0.52 | <b>0.60</b>                | Validated in the first round   |    |       |       |
| C                              | <i>Observing signs of dyspnea while the child is forced to breathe through the nose will influence your decision.</i>  | 10                         | 0.52 | <b>0.60</b>                |  |    |       |       |
| C                              | <i>Observing signs of efforts to maintain labial closure (wrinkles on the chin, contraction of face muscles, ...) when the child is forced to breathe through the nose will influence your decision.</i> | 10                         | 0.52 | <b>0.80</b>                |  |    |       |       |
| C                              | <i>Observing none of the signs (tiredness, dyspnea, efforts) above will influence your decision.</i>   | 10                         | 0.52 | 0.00                       | <i>In addition to the other signs or assessment situations, not observing any sign of tiredness, dyspnea or effort when the child is forced to breathe through the nose will influence your decision.</i>      | 13 | 0.496 | 0.38  |
| C                              | <i>Observing that the child fails to breathe through the nose during the entire exercise will influence your decision.</i>   | 10                         | 0.52 | <b>0.80</b>                | Validated in the first round   |    |       |       |
| B                              | Observing the air intake just after the forced breathing will influence your decision  | 10                         | 0.52 | <b>0.60</b>                |  |    |       |       |
| S-CVI average round 1= 0.63    |  | S-CVI average round 2= 0.6 |      | S-CVI total average = 0.77 |  |    |       |       |
| Bold items are CVR > threshold |  |                            |      |                            |  |    |       |       |

## **Etude 4.**

# **Towards a better diagnosis of mouth breathing: validity and reliability of a protocol for assessing the awake breathing pattern in preschool children**

**Morgane Warnier<sup>a\*</sup>, Léonor Piron<sup>a</sup>, and Christelle Maillart<sup>a</sup>**

*<sup>a</sup>Department of Speech-Language Pathology, Research Unit for a life-Course perspective on Health and Education, University of Liege, Liège, Belgium*

### **Status**

Article submitted on September 5, 2022 in *International Journal of Language & Communication Disorders*

### **Acknowledgment**

The authors would like to express their deep gratitude to PLHealthcare for providing the CO2 measurement material as well as for the development of the analysis software. They would also like to give special thanks to the children, parents, teachers and principals for their participation and support. They acknowledge Vincent Didone for his statistical advice and Victoria Lanero for her participation in the data processing.

## **Abstract**

**Introduction:** The Awake Breathing Pattern Assessment (ABPA) is a clinical grid recently designed through an international Speech-Language Pathologists (SLPs) consensus to address the lack of tools categorizing the awake and habitual breathing pattern during the myofunctional assessment. The prototype of the ABPA allows classifying the breathing pattern into three groups: nasal, oronasal and mouth breathing. This cross-sectional study aimed to explore the psychometric proprieties of the ABPA in a preschool population.

**Methodology:** 133 children from 2;11 to 6 years old were assessed with the ABPA. The percentage of time spent breathing through the mouth was objectively measured by a CO<sub>2</sub> sensor and used as the reference measurement. We first performed a multivariate Latent Profile Analysis based on the CO<sub>2</sub> measurement and a parental questionnaire to define the number of categories that best characterize the pattern. Subsequently, the intra- and inter-rates reliability were assessed by Cohen's kappa, internal consistency by a Cronbach's Alpha, criterion validity by a Spearman's correlation and construct validity by a known group technique. The APBA classification was compared to the reference measure with a Chi Square test and a Spearman rank test. A receiver operating characteristic was conducted to assess sensitivity and specificity.

**Results:** The awake breathing pattern can best be described as two groups: nasal and mouth breathing. The prototype of the ABPA was adjusted accordingly. This final version showed excellent intra-rate (0.90) and inter-rate (0.92) reliability. There was a significant correlation between the ABPA and the reference test ( $p < 0.001$ ). The

ABPA showed a poor sensibility (62.71%) but a good specificity (82.43%).

Conclusion: The reference tool was used in children for the first time and was found to be reliable. The ABPA is a fair tool to confirm the diagnosis of MB in preschool children if more sensitive screening tools are used beforehand.

## **Introduction**

Screening, diagnosing and treating mouth breathing (MB, also called oral breathing) in the preschool period is a major issue. Nasal breathing (NB) is a prerequisite for the harmonious craniofacial and upper airway development especially before the age of 6 (Torre & Guilleminault, 2018). However, the diagnosis of MB remains challenging (Bokov et al., 2022) as current tools are not numerous. Overall, the identification of the MB population in the literature is mostly based on two elements. First, a set of signs and symptoms that are completely or incompletely present, such as craniofacial features, in the context of a mouth breathing syndrome (MBS) (Lima et al., 2019). Second, parental questionnaires combining questions about awake and sleep MB features. The most reliable measurements to diagnose sleep MB are those taken by a sensor during polysomnography, for which a pathological cutoff is estimated at 15% of the time spent breathing through the mouth (Guilleminault et al., 2019). New methods in this regard are particularly promising (Huang et al., 2021). A cannula with a sensor has also already been used to identify awake MB in adults in the study by Fujimoto et al. (2009) and Nagaiwa et al. (2016). This kind of tool is rarely used because its complexity of implementation in clinical settings, but has the advantage of being quantitative, objective and directly evaluate the respiratory function

without intermediary information. Other authors use rhinomanometry (Chaaban & Corey, 2011), peak nasal airflow (Cardoso de Melo et al., 2015) or graded mirror, water retention, and lip seal tests (Pacheco et al., 2015; Zaghi et al., 2020). These tools are not reliable for the preschool population, but above all they base the identification of MB on nasal airflow obstruction rather than on the habitual and preferred breathing pattern in everyday life (Warnier et al., In Press). Yet, MB does not always result from obstruction since functional MB, sometimes called MB by habit (Bokov et al., 2022), is very frequent in children (Junqueira et al., 2010).

Most recently, a clinical grid for the Awake Breathing Pattern Assessment (ABPA) was created to address the lack of tools that Speech-Language Pathologists (SLPs) can use to categorize awake and habitual breathing pattern in the myofunctional assessment (Warnier et al., In Press). Orofacial functions are definitely within the SLP' scope of practice (Junqueira et al., 2010; Milanese et al., 2018; Sano et al., 2018), but the categorization of breathing pattern still too often relies on the clinical expertise in orofacial myology/myofunctional therapy and the experience with previous MB patients. This leads to a low agreement between clinicians, as found in other professions (Costa et al., 2017). To address this, an international panel of experts helped establish a consensus enabling the development of a prototype of the ABPA. The international consensus in this study is that breathing should be observed at rest, while chewing and after swallowing, which is congruent with previous data (Junqueira et al., 2010; Milanese et al., 2018). The experts also determined that breathing should be classified into three categories as suggested by some authors (Fujimoto et al., 2009; Marchesan et al., 2012; Valera et al., 2003), although the existence of a separate category for oronasal breathing (OB) is not

unanimous (Abreu et al., 2008a; de Felício & Ferreira, 2008; Saitoh et al., 2018). To our knowledge, no study has attempted to answer this question with objective methods.

The aim of this current study was to explore the psychometric proprieties of the ABPA in the preschool population in terms of construct and criterion validity, internal consistency, intra-rater reliability, inter-rater reliability, sensitivity, specificity and accuracy. To assess the construct validity, we tested the hypothesis of the existence of three categories describing the breathing pattern (NB, OB, MB) using an objective reference measure similar to that described in the study of Fujimoto et al. (2009).

## **Methods**

### ***Study design and population***

This cross-sectional study was conducted between November 2021 and February 2022 and was part of a larger project on speech and myofunctional development of preschool children. It was approved by the Research Ethics Committee of the University of Liège under the protocol B707201940403. Parent's participants gave full consent for their child to participate in the study. Children were recruited in kindergarten in the Liège area, Belgium, and were included if they did not present craniofacial anomaly, pulmonary, neurological or cardiac pathology and/or identified genetic syndromes. We prior estimated the required sample size for the validity analysis on G\*Power (Faul et al., 2009). A two-tailed correlation test with a moderate effect size (0.3), a power of 0.8, and an alpha of 0.05 requires at least 125 participants. The sample comprised 133 children aged from 2;11 to 6 years old, with

a mean of 4;6. The sample included a higher proportion of girls (54.1%) than boys (45.9%).

### ***Parental questionnaire***

Parents were first invited to fill in a questionnaire on their child’s habits of breathing. We designed a parental questionnaire based on items proved to be discriminating and relevant for the diagnosis of mouth breathing in four studies (Abreu et al., 2008a; Milanese et al., 2018; Sano et al., 2018; Yamaguchi et al., 2015). Items were selected if they met the conditions for a functional observation of the child’s habitual and awake breathing pattern described by Warnier et al. (In Press). We designed a five-point Likert scale ranging from 1 = “never” to 5 = “always” in order to be as comprehensive as possible for the classification of the habitual awake breathing pattern. Items are presented in Table 1.

**Table 1.**

#### *Parental questionnaire*

| During the day, does your child   | Never | Hardly ever | Sometimes | Very often | Always |
|---|-------|-------------|-----------|------------|--------|
| have a blocked/runny nose   | •     | •           | •         | •          | •      |
| have a itchy nose   | •     | •           | •         | •          | •      |
| sneeze  |       |             |           |            |        |
| keep the mouth open while engaged in a quiet activity (e.g. watching a movie, drawing, ...) | •     | •           | •         | •          | •      |
| breathe through the mouth   | •     | •           | •         | •          | •      |
| appear irritable  | •     | •           | •         | •          | •      |
| seem sleepy   | •     | •           | •         | •          | •      |
| tend to eat slowly or to be a picky eater   | •     | •           | •         | •          | •      |



## ***Mouth breathing assessment***

Children's awake breathing pattern was assessed by the ABPA and an objective measurement of CO<sub>2</sub> expired from the mouth was used as the reference measurement. The second author, assisted by a trained Speech-Language Pathology Master student, assessed two children at a time in a quiet room. While one child was assessed with the ABPA, the other was assessed with the CO<sub>2</sub> tool. Then they switched places, which helped encourage young children. Before the assessment, each child was given a tissue and asked to blow his/her nose.

The ABPA includes three main contexts of observation: breathing at rest, breathing after swallowing and breathing while chewing. For the resting items, children were observed while watching a 3-minute cartoon, then a 3-minute coloring and finally another 3-minute cartoon. Activities were displayed on a tablet (Medion Lifetab E10421, Essen, Germany) inclined at 45 degrees. We have selected two silent 3-minute cartoons adapted to children and devoid of any funny parts in order to induce as little speech or laughs as possible. Children were asked not to speak. Resting contexts were interspersed with the swallowing and chewing contexts. Children drank at least three sips of water from a transparent cup and ate a cookie (Speculoos, Lotus®). The whole assessment was recorded with a HD camera (Canon LEGRIA HF G10, Tokyo, Japan) and lasted about 15 minutes. The dispositive is displayed in Figure 1. Scoring of the ABPA was based on the video recordings: three criteria assessed breathing at rest, two assessed breathing after swallowing, and the last assessed breathing during chewing. Within each criterion, a single sign that described the best the child's behavior was selected. In the original

grid (Warnier et al., In Press), each sign was associated with a weight coefficient linked to a main and a secondary breathing pattern. Thus, when selecting a sign, its respective weight coefficient and its assigned breathing pattern(s) influenced the final score. In this study, we choose to consider only the main pattern in order to validate this against the percentage of time measurement by the CO<sub>2</sub>. The ABPA was adapted so that only one main breathing pattern would ultimately appear according to the weight coefficient and the pattern linked to the six signs selected. A SLP Master student was intensively trained to complete the scoring based on the recordings. Inter-judge reliability was calculated in comparison to the first author's rating.

**Figure 1.**

*Photograph of the assessment display of the ABPA*



On the other hand, the reference assessment consisted in a CO<sub>2</sub> sensor (Nihon Kohden Cap-ONE Mainstream, Tokyo, Japan) placed on the child's upper lip while watching a 15-minute cartoon, with characteristics similar to those described above, on a computer. The sensor was originally designed to detect airflow coming from the nose and the mouth. As described in Fujimoto et al.'s study (2009), we

blocked the nasal tubes of the cannula so that the CO<sub>2</sub> sensor could only detect the airflow from the mouth. The dispositive is displayed in Figure 2 and Figure 3. Wires connected to the left and right ends of the cannula ran around the ears and held the sensor in place. Children were asked not to touch or move the sensor and not to talk until the cartoon was over. The dispositive was connected to a CO<sub>2</sub> recording monitor (Nihon Kohden PVM-4000, Tokyo, Japan) which was itself connected to a computer (DELL Latitude 5590, Round Rock Texas, US). The mouth airflow was recorded by a custom-made software called “CO<sub>2</sub>-Analyzer”. The program had been created by PHealth Care, in collaboration with the University of Liège for the purpose of the study. The software was launched at the same time as the cartoon and transformed data to obtain the precise amount of the time (expressed in percent) spent breathing through the mouth. This latter percentage was the final score included in the analyses. A camera (Logitech C920, Lausanne, Switzerland) was placed to the right of the child to record the face in order to ensure that there was no defect in the recording.

**Figure 2.**

*Photograph of the CO<sub>2</sub> sensor dispositive measuring expiratory airflow*



### **Figure 3.**

*Photograph of the CO<sub>2</sub> sensor assessment display*



### ***Statistical analyses***

Statistical analyses were performed using R Studio and JAMOVI 1.6.23 software.

Two steps were needed before assessing psychometrics properties of the ABPA. First, we needed to test the hypothesis that awake breathing is best described by three groups (NB, OB and MB), as suggested by the consensus of experts who participated in developing the clinical grid (Warnier et al., In Press). Second, as the CO<sub>2</sub> percentage continuous variable was selected as the reference measurement for the psychometric assessment of the ABPA, we needed to discretize it into categories in order to make it suitable to the categorical nature of the grid's data.

The first step of this process was to determine the number of groups with a multivariate Latent Profile Analysis (LPA). We tested the hypothesis of the existence of two or three groups in the sample. LPA identifies subgroups within a population on the basis of one variable or

one set of variables that are conceptually related but distinct (Spurk et al., 2020). LPA runs several hypothetical groups of the population and determines the best fit based on probabilistic indices (Spurk et al., 2020). The percentage recorded with the CO<sub>2</sub> sensor was used as an indicator. Moreover, we decided to add the eight items of the parental questionnaire for more reliability, for a total of nine indicators. Data were either ordinal or continuous variables, which allowed us to use the R package tidyLPA (Rosenberg et al., 2018). Guidelines for this purpose are available in the literature (Spurk et al., 2020). When conducting an LPA, 6 types of models can be chosen depending on the nature of the means, variances and covariances of the estimated subgroups (Spurk et al., 2020). We choose the model 4: a varying variance across profiles and equal covariances. The second step of the process was the discretization of the CO<sub>2</sub> variable. We discretized the variable from the means and standard deviations (SD) obtained by the LPA.

Psychometrics properties of the ABPA were assessed with several analyses (Boateng et al., 2018). Intra-rater and inter-rater reliability were assessed through Cohen's kappa measurements on 15% of the sample. Internal consistency was measured through a Cronbach's Alpha.

A Cronbach's alpha ( $\alpha$ )  $< 0.7$  indicates a lack of internal consistency,  $\alpha = 0.7-0.9$  suggests an adequate internal consistency and  $\alpha \geq 0.91$  indicates an excellent internal consistency. Interpretation of the agreement based on kappa ( $k$ ) was as follows:  $< 0$  poor, 0.01-0.20 slight, 0.21-0.40 fair, 0.41-0.60 moderate, 0.61-0.80 substantial and 0.81-1 almost perfect. The percentage of agreement was considered high if greater than 75%, moderate if between 40 and 75% and low if less than 40%. Construct validity was assessed by a known

group technique. This analysis assessed the ABPA's ability to discriminate among the two distinct groups (i.e., NB and MB). The groups were known based on the discretized CO<sub>2</sub> classification, as it was the reference measurement. A Chi-square test of independence was conducted between groups from the ABPA and from the reference measurement. A significant  $\chi^2$  value indicates that the two distributions are not independent and thus discriminate the group in a similar manner. Criterion validity was assessed by concurrent validity through a Spearman rank test between the ABPA and the discretized CO<sub>2</sub>. The correlation coefficient (r) was considered as follows: < 0.19 very weak, 0.2-0.39 weak, 0.4-0.59 moderate, 0.6-0.79 high and 0.8 very high. Finally, a receiver operating characteristic (ROC) curve was designed to assess the sensitivity, specificity and accuracy of the ABPA and its composite scores. The Area Under the Curve (AUC) was calculated. The AUC quantifies the overall ability of a test to discriminate between 2 outcomes. AUC values range from 0.5 to 1.0. An AUC of 1.0 indicates a perfect test, 0.9–0.99 an excellent test, 0.8–0.89 a good test, 0.7–0.79 a fair test, 0.51–0.69 is a poor test, and 0.5 or less is of no value. Data are available in OpenAccess on request.

## Results

### ***Classification of the breathing patterns***

Table 2 shows the descriptive features of the nine indicators that were included in the multivariate LPA in order to determine which classification fitted better between two or three groups. Table 3 shows results from the LPA. According to this model, the classification is best described by the existence of two groups (with a lower AIC and BIC, a significant BLRT\_p and a higher entropy).

**Table 2.***Descriptive data of the indicators used the Latent Profiles Analysis*

| Code | Indicators   | N   | Mean  | Median | SD     | Min | Max |
|------|--|-----|-------|--------|--------|-----|-----|
| AN1  | Blocked/runny nose by day  | 133 | 2.31  | 2      | 0.665  | 1   | 4   |
| AN2  | Itchy nose by day  | 133 | 1.59  | 2      | 0.640  | 1   | 3   |
| AN3  | Sneezing by day  | 133 | 1.95  | 2      | 0.535  | 1   | 3   |
| AM1  | Open mouth posture at rest by day                                    | 133 | 2.00  | 2      | 0.953  | 1   | 4   |
| AM2  | Mouth breathing by day   | 133 | 2.15  | 2      | 0.812  | 1   | 4   |
| AB1  | Irritable during the day   | 133 | 2.05  | 2      | 0.767  | 1   | 4   |
| AB2  | Sleepy during the day  | 133 | 1.31  | 1      | 0.510  | 1   | 3   |
| AB3  | Slow or picky eater  | 133 | 2.28  | 2      | 0.948  | 1   | 4   |
| CO2  | Percentage of time spent breathing through the mouth with CO2 sensor | 133 | 24.35 | 14     | 25.252 | 0   | 85  |

**Table 3.***Results of the Latent Profiles Analysis*

| Model | Classes | AIC     | BIC     | SABIC   | Entropy | N_min | N_max | BLRT-p |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|--------|
| 4     | 2       | 3243.58 | 3428.56 | 3226.12 | 1,00    | 0.29  | 0.71  | 0.01*  |
| 4     | 3       | 3394.33 | 3608.22 | 3374.15 | 0.95    | 0.30  | 0.69  | 0.69   |

*\*statistically significant results****Discretization of the CO<sub>2</sub> percentage***

The discretization of the CO<sub>2</sub> percentage was based on the two groups from the LPA. Values are shown in Table 4. We chose 1.5 SD as a cutoff to discretize the groups, as it better covers the full range of the CO<sub>2</sub> percentage variable with no overlap between categories. Therefore, scores ranged between 0% and 13.96% for the first profile and between 13.97% and 80.23% for the second profile. The first profile was considered as the NB group the second profile was considered as the MB group. As shown in Table 4, the average percentage of expiratory airflow through the mouth was 7.09% for the NB group and 46.9% for the MB group.

**Table 4.**

*Mean and standard deviations of the two significant latent profiles from Latent Profile Analyses*

| Profile | -2 SD | -1.5 SD | -1 SD | Mean  | +1 SD | +1.5 SD | +2 SD |
|---------|-------|---------|-------|-------|-------|---------|-------|
| 1=NB    | -3,85 | -1,11   | 1,62  | 7,09  | 12,56 | 15,29   | 18,03 |
| 2=MB    | 2,99  | 13,97   | 24,95 | 46,90 | 68,85 | 79,83   | 90,81 |

*NB = nasal breathers; MB = mouth breathers*

### ***Adaptation of the initial clinical grid (ABPA)***

We modified the prototypical grid according to the LPA results. Originally, there were three groups to classify the awake and habitual breathing pattern. They were merged into two groups, gathering the OB and the MB patterns into one unique group. This revision did not modify any of the original criteria or signs. This revision only affected the signs that were previously associated with the OB pattern. These signs are now associated with the MB pattern. An example of the adapted and final version of the ABPA is available in Figure 4.



**Figure 4.**

*Revised clinical grid (ABPA) including two possible categories of awake and habitual breathing pattern*

| Observing the child at rest   | Select the item of your choice |
|---|--------------------------------|
| <b>C1 - The time spent breathing at rest with a closed or open mouth</b>  |                                |
| <i>Observing an open mouth posture for more than half of the time</i>   | x                              |
| <i>Observing the mouth closed for more than half of the time</i>  |                                |
| <i>Observing an open mouth posture for the entire observation time</i>  |                                |
| <i>Observing the mouth closed for the entire observation time</i>   |                                |
| <b>C2 - At rest, the position the tongue occupies for more than half of the time</b>  |                                |
| <i>Observing an upper tongue position for more than half of the time</i>  |                                |
| <i>Observing a low tongue position for more than half of the time</i>   | x                              |
| <i>Observing a low and forward tongue position for more than half of the time</i>   |                                |
| <i>Not observing the tongue position (because of closed lips) for more than half of the time</i>  |                                |
| <b>C3 - At rest, watching how open the lips are for more than half of the time</b>  |                                |
| <i>Observing fully closed lips for more than half of the time</i>   |                                |
| <i>Observing slightly open lips for more than half of the time</i>  | x                              |
| <i>Observing half-open lips for more than half of the time</i>  |                                |
| <i>Observing wide open lips for more than half of the time</i>  |                                |
| <i>Not observing a main pattern (sometimes the lips are open, sometimes the lips are closed)</i>  |                                |
| <b>Observing the child's breathing while chewing</b>  |                                |
| <b>C4 - The time spent chewing with an open or a closed mouth</b>   |                                |
| <i>Observing an open mouth posture for more than half of the chewing occurrence</i>   | x                              |
| <i>Observing the mouth closed for more than half of the chewing occurrences</i>   |                                |
| <i>Observing an open mouth posture for all the chewing occurrences</i>  |                                |
| <i>Observing the mouth closed for all the chewing occurrences</i>   |                                |
| <b>Observing the child's air intake after swallowing</b>  |                                |
| <b>C5 - The rest position of the mouth just after swallowing (observing that after swallowing, the child directly opens the mouth or keeps it closed)</b> |                                |
| <i>Observing the mouth closed just after swallowing in most cases</i>   | x                              |
| <i>Observing a mouth opening just after swallowing in most cases</i>  |                                |
| <b>C6 - The air intake pattern just after swallowing (through the mouth or through the nose)</b>  |                                |
| <i>Observing the child breathing through his/her mouth just after swallowing</i>  |                                |
| <i>Observing the child breathing through his/her nose just after swallowing</i>   | x                              |

| Result                               |                |
|--------------------------------------|----------------|
| Awake and habitual breathing pattern |                |
| 13,53                                | Nasal Breather |
| 29,32                                | Mouth breather |

Make sure to select only one item per criterion

### ***Psychometrics properties of the ABPA***

Intra-rater and inter-rater agreement on the ABPA was excellent (96% for both agreements). Cohen's Kappa was also excellent for intra-rater reliability ( $k = 0.90$ ,  $Z = 4.34$ ,  $p < 0.001$ ) and inter-rater reliability ( $k = 0.92$ ,  $Z = 4.50$ ,  $p < 0.001$ ). Internal consistency of the grid was good (Cronbach's Alpha = 0.85).

According to the grid, 83 children were classified as NB and 50 children were classified as MB. According to the CO<sub>2</sub> measurement, 74 children were classified as NB and 59 children were classified as MB. The chi-square test of independence showed a significant association between the classification results of the ABPA and the discretized CO<sub>2</sub> ( $\chi^2 = 28.5$ ,  $df = 1$ ,  $N = 133$ ,  $p < 0.001$ ). A moderate but significant Spearman correlation was found between the two classifications ( $r = 0.46$ ,  $N = 133$ ,  $p < 0.001$ ).

We finally assessed the discriminant validity and accuracy of the ABPA and each criterion of the grid, in comparison to the CO<sub>2</sub> measurement. Table 5 summarizes the results of the sensitivity, specificity, Positive Predictive Value, Negative Predictive Value and AUC of the composite and total score. Figure 5 displays the ROC curves showing that the distinction between NB and MB according to the ABPA was not due to chance ( $AUC = 0.726 > 0.5$ ). The revised ABPA was a fair test ( $0.7 < AUC < 0.9$ ).

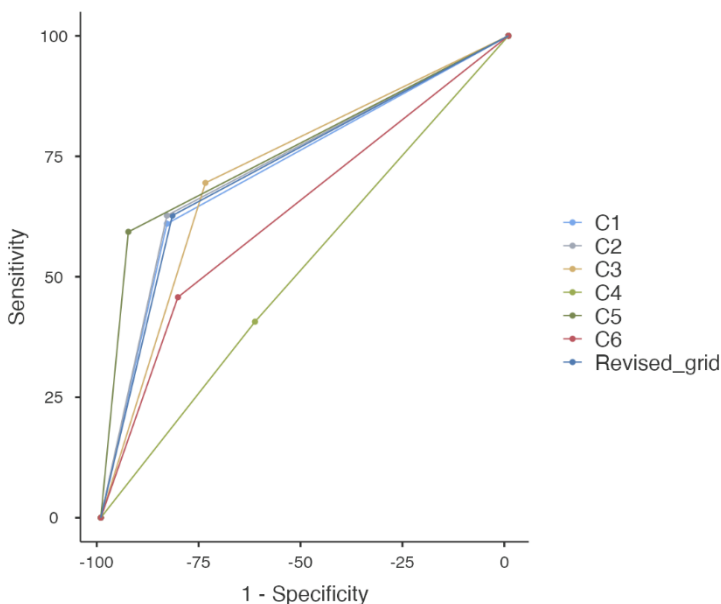
**Table 5.**

*Discriminant features of the total score and composite items of the ABPA compared to the CO<sub>2</sub> measurements*

| Scale  | Sensitivity (%) | Specificity (%) | PPV (%) | NPV (%) | AUC  |
|--|-----------------|-----------------|---------|---------|------|
| Total Score  | 62.71           | 82.43           | 74      | 73.49   | 0.73 |
| C1 - The time spent breathing at rest with a closed or open mouth  | 61.02           | 83.78           | 75      | 72.94   | 0.72 |
| C2 - At rest, the position that the tongue occupies for more than half of the time   | 62.71           | 83.78           | 75.51   | 73.81   | 0.73 |
| C3 - At rest, watching how open the lips are for more than half of the time  | 69.49           | 74.32           | 68.33   | 75.34   | 0.72 |
| C4 - The time spent chewing with an open or a closed mouth   | 40.68           | 62.16           | 46.15   | 56.79   | 0.51 |
| C5 - The rest position of the mouth just after swallowing (observing that after swallowing, the child directly opens the mouth or keeps it closed) | 70              | 93.98           | 87.5    | 83.87   | 0.82 |
| C6 - The air intake pattern just after swallowing (through the mouth or through the nose)  | 45.76           | 81.08           | 65.85   | 65.22   | 0.63 |

**Figure 5.**

*ROC curve between the ABPA, its composite scores and the CO<sub>2</sub> percentage*



## Discussion

The first step to verify the psychometric properties of the grid was to check its validity in comparison to a reference tool. This type of objective tool is being used for the very first time for this purpose in children. This measurement has proven to be an objective, reliable, relatively easy to use measure despite some constraints specific to the pediatric population. First, the only cannulas designed for children that are available with the device used are intended to newborns. The adult cannulas used were therefore relatively large for the youngest children in the sample, but this only affected the child's comfort. The second constraint was that young children initially tended to touch the cannula or talk despite specific commands not to do so, which was not encountered in the highly controlled adult experiment in the study of Fujimoto et al. (2009). However, the classification method used allowed us to take into account and homogenize this factor. This classification method, which also takes into account the parental questionnaire, allowed us to classify breathing into two distinct patterns: NB *versus* MB. This goes against the international consensus established by the previous study (Warnier et al., In Press) and supported by some authors (Fujimoto et al., 2009; Saitoh et al., 2018; Yamaguchi et al., 2015; Zicari et al., 2009). This consensus was based on expert's opinion and therefore remained subjective. The results in this study allow us to consider OB as a mild form of MB but not as a distinct pattern. This postulate is supported by some authors (de Felício & Ferreira, 2008; de Mattos, 2018; Milanesi et al., 2018; Sano et al., 2018). Yet, the high variability found in this study within the MB group suggest that the breathing pattern is best described as a general and predominant trend (De Menezes et al., 2006; Valera et al., 2003) and that MB should be viewed as a continuum. This is probably why

OB was considered clinically relevant as a buffer zone between MB and NB (Huang et al., 2021). Anyhow, the authors who classify OB as a separate category agree that OB should be considered as a pathological condition (Zicari et al., 2009), which can actually be taken as an argument for the existence of two categories. Our results are also congruent with the study of de Mattos et al. (2017) which shows that the muscular characteristics of the OB and MB groups are similar, but differ significantly from group NB. Further studies exclusively based on objective measures are now needed to compare the clinical features between the OB and the MB groups to determine once and for all whether it is worthwhile to separate these categories. Overall, this two-tailed classification might bring new advancements in the definition of MB and may clarify the clinical interest of OB. Interestingly, a small but non-null variability was observed within the NB group: air expired through the mouth varied from 0% to 13% of the time for these children. These results differ from the classification used by Fujimoto et al. (2009) who considered NB as strictly equal to 0% in adults. This variability could therefore be explained by the specific constraints of the preschool age mentioned above. In contrast, studies using similar methods to diagnose sleep MB found that nasal breathers spend approximately 0-10% of the sleep time breathing through the mouth nonetheless (Guilleminault et al., 2019), as does our population.

These results allowed us to adapt the initial ABPA. Modifications and improvement are typically part of the elaboration process (Boateng et al., 2018). The final version of the grid (differentiating between a NB profile and a MB profile) appears to be valid and accurate in its use by SLP in the myofunctional assessment context. The excellent inter-rater reliability shows that the results depend on tangible observations rather than on the expertise of the

clinician, allowing it to be used by SLPs with little experience. The ABPA shows a good specificity but lacks sensitivity compared to our reference tool. We identified two limitations that may have influenced this comparison. First, the two tests were similar in that they observed the resting breathing pattern. However the ABPA included a coloring activity which required motor activity. In some cases, we observed that the motor activity put the mouth under tension and changed the mouth posture to accompany the hand gesture. This observation is congruent with the synergies observed between the motor movements of the hand and mouth (Desmurget et al., 2014; Vainio, 2019). Despite this, we believe, as did the experts of the international consensus, that various observation contexts enable a more representative of the natural and daily functioning of the child (Warnier et al., In Press). In this same perspective, the second explanation for this low sensitivity could be related to posture. Indeed, for the CO<sub>2</sub> experiment, the computer was presented at a 90° angle, encouraging the child to hold his head upright. For logistical reasons, the ABPA activities were presented on a tablet inclined at 45°. This tilt may have caused anterior flexion of the head and changed mouth posture as muscle chains and breathing are strongly connected (Kantor et al., 2001).

This good specificity but low sensitivity makes the ABPA a good confirmatory tool (Trevethan, 2017), showing its usefulness to confirm a diagnosis of awake MB, whatever the etiology. It, however, requires the prior use of more sensitive, often less specific (Sano et al., 2018), screening tools such as parental questionnaires. The ABPA could be particularly useful for the SLP to confirm a suspected MB by other practitioners, such as dental or cephalometric signs found by the dentist or orthodontist. A multidisciplinary approach remains therefore essential (Abreu et al., 2008a; Junqueira et al., 2010). Finally, it is

important to keep in mind that the challenge of diagnosing MB lies in the notion of chronicity (Guilleminault & Huang, 2017). The breathing pattern could change through time (Bergendal et al., 2014). For this reason, it seems adequate to administer the ABPA at various intervals, in order to better assess the chronicity of the breathing pattern.

In conclusion, the objective reference tool is a very promising research method for SLP, but also for dentists, orthodontists, otorhinolaryngologists or physical therapists. It may help the selection of a population sample based on objective data rather than on clinical assumptions or parental questionnaires. It may also allow, as it has been done here, a validation of clinical tools that each profession uses to classify the awake breathing pattern. In addition, the final version of the ABPA, can be reliably used in the SLP's myofunctional assessment to quickly confirm the breathing pattern of preschoolers based on well-defined contexts, criteria and signs. Further studies are now needed to assess psychometrics proprieties in other populations.

## References

- Abreu, R. R., Rocha, R. L., Lamounier, J. A., & Guerra, Â. F. M. (2008). Etiology, clinical manifestations and concurrent findings in mouth-breathing children. *Jornal de Pediatria*, *84*(6), 529–535. <https://doi.org/10.2223/JPED.1844>
- Bergendal, B., Bakke, M., McAllister, A., Sjögreen, L., & Åsten, P. (2014). Profiles of orofacial dysfunction in different diagnostic groups using the Nordic Orofacial Test (NOT-S)-a review. In *Acta odontologica Scandinavica*, *72*(8), 578–584. <https://doi.org/10.3109/00016357.2014.942874>
- Boateng, G. O., Neilands, T. B., Frongillo, E. A., Melgar-Quiñonez, H. R., & Young, S. L. (2018). Best practices for developing and

validating scales for health, social, and behavioral research: A Primer. *Frontiers in Public Health*, 6(June), 1–18. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2018.00149>

Bokov, P., Dahan, J., Boujemla, I., Dudoignon, B., André, C. V., Bennaceur, S., Teissier, N., & Delclaux, C. (2022). Prevalence of mouth breathing, with or without nasal obstruction, in children with moderate to severe obstructive sleep apnea. *Sleep Medicine*, 98, 98–105.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sleep.2022.06.021>

Cardoso de Melo, A. C., De Oliveira de Camargo Gomes, A., Santos Cavalcanti, A., & Da Silva, H. J. (2015). Acoustic rhinometry in mouth breathing patients: A systematic review. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 81(2), 212–218. <https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2014.12.007>

Chaaban, M., & Corey, J. P. (2011). Assessing nasal Air flow: options and utility. *Proceedings of the American Thoracic Society*, 8(1), 70–78. <https://doi.org/10.1513/pats.201005-034RN>

Costa, J. G., Costa, G. S., Costa, C., Vilella, O. de V., Mattos, C. T., & Cury-Saramago, A. de A. (2017). Clinical recognition of mouth breathers by orthodontists: A preliminary study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 152(5), 646–653. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2017.03.025>

de Felício, C. M., & Ferreira, C. L. P. (2008). Protocol of orofacial myofunctional evaluation with scores. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 72(3), 367–375. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2007.11.012>

De Menezes, V. A., Leal, R. B., Pessoa, R. S., & Pontes, R. M. E. S. (2006). Prevalence and factors related to mouth breathing in school children at the Santo Amaro project-Recife, 2005. *Brazilian*



- Journal of Otorhinolaryngology*, 72(3), 394–398.  
[https://doi.org/10.1016/s1808-8694\(15\)30975-7](https://doi.org/10.1016/s1808-8694(15)30975-7)
- Desmurget, M., Richard, N., Harquel, S., Baraduc, P., Szathmari, A., Mottolese, C., & Sirigu, A. (2014). Neural representations of ethologically relevant hand/mouth synergies in the human precentral gyrus. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(15), 5718–5722.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.1321909111>
- Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A., & Lang, A.-G. (2009). Statistical power analyses using G\*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods*, 41(4), 1149–1160. <https://doi.org/10.3758/BRM.41.4.1149>
- Fujimoto, S., Yamaguchi, K., & Gunjigake, K. (2009). Clinical estimation of mouth breathing. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 136(5), 630.e1-630.e7.  
<https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2009.03.034>
- Guilleminault, C., & Huang, Y. S. (2017). From oral facial dysfunction to dysmorphism and the onset of pediatric OSA. *Sleep Medicine Reviews*, 40, 203–214.  
<https://doi.org/10.1016/j.smr.2017.06.008>
- Guilleminault, C., Sullivan, S. S., & Huang, Y. shu. (2019). Sleep-Disordered Breathing, Orofacial Growth, and Prevention of Obstructive Sleep Apnea. *Sleep Medicine Clinics*, 14(1), 13–20.  
<https://doi.org/10.1016/j.jsmc.2018.11.002>
- Huang, Z., Wang, W., & Haan, G. De. (2021). Nose breathing or mouth breathing a thermography-based new measurement for sleep monitoring. *Proceeding of the 2021 IEEE/CVF Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*. <https://doi.org/10.1109/CVPRW53098.2021.00430>

- Junqueira, P., Marchesan, I. Q., de Oliveira, L. R., Ciccone, E., Haddad, L., & Rizzo, M. C. (2010). Speech-language pathology findings in patients with mouth breathing: multidisciplinary diagnosis according to etiology. *The International Journal of Orofacial Myology*, *36*, 27–32.
- Kantor, E., Poupard, L., Le Bozec, S., & Bouisset, S. (2001). Does body stability depend on postural chain mobility or stability area? *Neuroscience Letters*, *308*(2), 128–132. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(01\)01986-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0304-3940(01)01986-3)
- Lima, A. C. D. de, Cunha, D. A. da, Albuquerque, R. C., Costa, R. N. A., & Silva, H. J. da. (2019). Sensory changes in mouth breathers: systematic review based on the prisma method. *Revista Paulista de Pediatria*, *37*(1), 97–103. <https://doi.org/10.1590/1984-0462;2019;37;1;00012>
- Marchesan, I. Q., Berretin-Félix, G., & Genaro, K. F. (2012). MBGR protocol of orofacial myofunctional evaluation with scores. *The International Journal of Orofacial Myology*, *38*, 38–77.
- de Mattos, F. M. G. F. de. (2018). Orofacial myofunctional characteristics of oral and oronasal breathers. *Revista CEFAC*, *20*(4), 459–467. <https://doi.org/10.1590/1982-021620182042818>
- de Mattos, F. M. G. F., Bérzin, F., & Nagae, M. H. (2017). The impact of oronasal breathing on perioral musculature. *Revista CEFAC*, *19*(6), 801–811. <https://doi.org/10.1590/1982-0216201719611817>
- Milanesi, J. de M., Berwig, L. C., Marquezan, M., Schuch, L. H., de Moraes, A. B., da Silva, A. M. T., & Corrêa, E. C. R. (2018). Variables associated with mouth breathing diagnosis in children based on a multidisciplinary assessment. *CODAS*, *30*(4), 20170071. <https://doi.org/10.1590/2317-1782/20182017071>

- Nagaiwa, M., Gunjigake, K., & Yamaguchi, K. (2016). The effect of mouth breathing on chewing efficiency. *Angle Orthodontist*, *86*(2), 227–234. <https://doi.org/10.2319/020115-80.1>
- Pacheco, M. C. T., Casagrande, C. F., Teixeira, L. P., Finck, N. S., & de Araújo, M. T. M. (2015). Guidelines proposal for clinical recognition of mouth breathing children. *Dental Press Journal of Orthodontics*, *20*(4), 39–44. <https://doi.org/10.1590/2176-9451.20.4.039-044.oar>
- Rosenberg, J. M., van Lissa, C. J., Beymer, P. N., Anderson, D. J., Schell, M. J., & Schmidt, J. A. (2018). *TidyLPA: An R package easily carry out Latent Profile Analysis (LPA) using open-source or commercial software*. *The Journal of Open Source Software*, *3*(30). <https://doi.org/10.21105/joss.00978>
- Saitoh, I., Inada, E., Kaihara, Y., Nogami, Y., Murakami, D., Kubota, N., Sakurai, K., Shirazawa, Y., Sawami, T., Goto, M., Nosou, M., Kozai, K., Hayasaki, H., & Yamasaki, Y. (2018). An exploratory study of the factors related to mouth breathing syndrome in primary school children. *Archives of Oral Biology*, *92*(August 2017), 57–61. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2018.03.012>
- Sano, M., Sano, S., Kato, H., Arakawa, K., & Arai, M. (2018). Proposal for a screening questionnaire for detecting habitual mouth breathing, based on a mouth-breathing habit score. *BMC Oral Health*, *18*(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-018-0672-6>
- Spurk, D., Hirschi, A., Wang, M., Valero, D., & Kauffeld, S. (2020). Latent profile analysis: A review and “how to” guide of its application within vocational behavior research. *Journal of Vocational Behavior*, *120*(May), 103445. <https://doi.org/10.1016/j.jvb.2020.103445>
- Torre, C., & Guillemineault, C. (2018). Establishment of nasal breathing

should be the ultimate goal to secure adequate craniofacial and airway development in children. *Jornal de Pediatria*, 94(2), 101–103. <https://doi.org/10.1016/j.jpmed.2017.08.002>

Trevethan, R. (2017). Sensitivity, specificity, and predictive values: foundations, pliabilities, and pitfalls in research and practice. *Frontiers in Public Health*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00307>

Vainio, L. (2019). Connection between movements of mouth and hand: Perspectives on development and evolution of speech. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 100, 211–223. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.03.005>

Valera, F. C. P., Travitzki, L. V. V., Mattar, S. E. M., Matsumoto, M. A. N., Elias, A. M., & Anselmo-Lima, W. T. (2003). Muscular, functional and orthodontic changes in pre school children with enlarged adenoids and tonsils. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 67(7), 761–770. [https://doi.org/10.1016/S0165-5876\(03\)00095-8](https://doi.org/10.1016/S0165-5876(03)00095-8)

Warnier, M., Piron, L., Morsomme, D., & Maillart, C. (In Press). Assessment of mouth breathing by Speech-Language Pathologists: An international Delphi consensus. *Codas*.

Yamaguchi, H., Tada, S., Nakanishi, Y., Kawaminami, S., Shin, T., Tabata, R., Yuasa, S., Shimizu, N., Kohno, M., Tsuchiya, A., & Tani, K. (2015). Association between mouth breathing and atopic dermatitis in Japanese children 2-6 years old: A population-based cross-sectional study. *PLoS ONE*, 10(4), 1–11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0125916>

Zaghi, S., Peterson, C., Shamtoob, S., Fung, B., Kwok-Keung Ng, D., Jagomagi, T., Archambault, N., O'connor, B., Winslow, K., Peeran, Z., Lano, M. ', Murdock, J., Valcu-Pinkerton, S.,

Morrissey, L., & Assessment, L. M. (2020). Nasal breathing using lip taping: A simple and effective screening tool. *International Journal of Otorhinolaryngology*, 6(1), 10–15. <https://doi.org/10.11648/j.ijo.20200601.13>

Zicari, A. M., Albani, F., Ntrekou, P., Rugiano, A., Duse, M., Mattei, A., & Marzo, G. (2009). Oral breathing and dental malocclusions. *European Journal of Paediatric Dentistry: Official Journal of European Academy of Paediatric Dentistry*, 10(2), 59–64.

# **DISCUSSION GÉNÉRALE**

## **Rappel synthétisé des objectifs et des résultats principaux**

Au cours de l'introduction théorique, nous avons mis en évidence l'importance des habiletés somatosensorielles et motrices, définies au premier chapitre, dans le développement de la parole ainsi que dans le développement myofonctionnel. Nous avons également consacré un chapitre aux arguments recensés dans la littérature en faveur et en défaveur de l'hypothèse d'un lien entre la parole et les fonctions orofaciales non verbales. L'objectif principal de ce projet de thèse est d'explorer l'interaction potentielle entre la parole et les fonctions orofaciales non verbales par le biais des habiletés somatosensorielles et motrices au cours du développement. Afin de répondre à la question principale de ce projet de recherche, nous avons implémenté une étude longitudinale chez les enfants présentant un développement typique (étude 2 et complément). Avant de répondre à cette question, nous avons d'abord exploré les performances de production de la parole francophone de l'enfant tout-venant pour laquelle nous avons actuellement peu de données (étude 1). Cette étude a permis de mettre sous la loupe les toutes premières données récoltées dans le cadre de l'étude longitudinale. Les mesures de précision de la parole ont révélé des performances inférieures à celles observées précédemment dans la littérature (Brosseau-Lapré et al., 2018; Kehoe & Cretton, 2021; Kehoe & Girardier, 2020; MacLeod et al., 2011; Sylvestre et al., 2020). Nous les avons alors analysées au regard des facteurs de complexité inhérents aux mots cibles présents dans la tâche de dénomination d'images utilisée. Les résultats indiquent que les facteurs de complexité propres à la tâche (dont la présence d'un groupe consonantique dans le mot, la longueur du mot et les consonnes en position coda) sont à l'origine de ces performances plus

faibles. Par contre, la précision des mots produits spontanément ne diffère pas de celle des mots répétés à la suite d'un modèle adulte lors de l'administration du test.

Les résultats de l'étude longitudinale ont montré une progression linéaire de la précision de la parole, des fonctions orofaciales non verbales, des HMO et des HSO au cours du développement chez les enfants d'âge préscolaire. Toutes les mesures présentaient des variabilités significatives entre les enfants à 3 ans. Pour les HSO et la parole, cette variabilité a persisté au cours du développement. Les enfants qui présentaient la plus faible précision de la parole étaient ceux qui progressaient le mieux. Au contraire, la variabilité entre les enfants en matière de HMO et de fonctions orofaciales non verbales a disparu au cours du développement. Les résultats n'ont pas montré de relation entre le développement de la parole et le développement des fonctions orofaciales non verbales par le biais des HMO ni des HSO. Cependant, une corrélation négative a été trouvée entre les trajectoires développementales des mouvements oraux séquentiels et celles de la précision de la parole.

Cette étude longitudinale a également été le point de départ pour répondre, du moins en partie, à la problématique de la fiabilité des outils employés pour l'évaluation myofonctionnelle et en particulier de l'évaluation du mode de respiration. Grâce à un consensus international (étude 3), nous avons identifié les critères essentiels pour déterminer le mode de respiration à l'éveil d'un enfant d'âge préscolaire. Observer l'enfant au repos (c'est-à-dire le temps passé avec la bouche ouverte/fermée et la position de la langue/des lèvres) a été considéré comme le critère le plus important. Les experts ont



également considéré que l'observation du mode respiratoire pendant la mastication (bouche ouverte/fermée) et après la déglutition (c'est-à-dire la prise d'air et la bouche ouverte/fermée juste après la déglutition) fournit des informations pertinentes, mais secondaires dans la prise de décision. Grâce à ces informations, nous avons pu établir une grille clinique basée sur ces critères. Nous l'avons éprouvée auprès d'une grande cohorte d'âge préscolaire (étude 4). La version finale de la grille a été baptisée ABPA et s'est avérée être un bon outil pour confirmer le pattern respiratoire après un dépistage de première ligne.

Dans cette partie du manuscrit, nous discuterons bien sûr de l'implication de ces différents résultats sur l'état actuel des connaissances ainsi que leurs limites et perspectives. En outre, la conception d'une étude longitudinale induit quelques particularités. Premièrement, la réflexion autour de la méthodologie occupe une place prépondérante et son implémentation nécessite une remise en question constante avec l'évolution des performances des enfants. Certes, la méthodologie que nous avons choisie (études 1, 2 et complément) a été mise à l'épreuve a priori grâce à un prétest sur un échantillon qui couvrait toute la tranche d'âge à étudier. Cependant, le projet étant exploratoire nous ne disposons que de peu de balises et de repères préexistants. C'est la raison pour laquelle nous discuterons des facilitateurs et obstacles méthodologiques rencontrés pour chaque étude avant de discuter des différents résultats et de leurs implications théoriques et cliniques. Quand cela est possible, nous essaierons d'en extraire des recommandations pour de futures recherches ou pour la clinique. Il est crucial de considérer ces recommandations comme des suggestions nuancées par notre contexte particulier de recherche et sujettes à l'évolution constante et à la réplication des données scientifiques, y compris dans d'autres domaines d'études.

Une autre particularité d'une étude longitudinale est qu'elle sous-tend une récolte de données contrôles d'une quantité plutôt importante, données qui sont de près ou de loin essentielles au déroulé de l'étude. Cette quantité de données implique qu'elles peuvent devenir le support pour répondre à d'autres questions de recherches liées ou non à la question de recherche initiale. Nous ne manquerons donc pas de mentionner la potentielle utilité que pourraient avoir nos données pour répondre à d'autres questions de recherche faisant l'objet d'un intérêt particulier dans la littérature.

Les trajectoires développementales étant au centre de ce projet, nous allons relever les points essentiels tirés de chaque étude en scindant cette section comme suit : le développement de la parole, le développement myofonctionnel, développement des HMO et HSO et l'interaction entre le développement de la parole et le développement myofonctionnel.

## **Développement de la parole**

### *Transcription des échantillons de parole*

La transcription est une étape importante pour traiter les échantillons de parole récoltés. Pourtant, le procédé est généralement peu explicité dans les articles portant sur la parole et reste finalement assez opaque. Si bien que nous ne nous attendions pas à ce que le procédé nécessite à ce point un investissement intense et chronophage. La transcription reste en effet un processus dépendant d'un apprentissage pour le transcripateur, même si ce dernier maîtrise l'alphabet phonétique international (Stemberger & Bernhardt, 2020). La transcription est soumise au jugement perceptif subjectif que l'on

contrôle par un calcul de fidélité intra et inter-juges (Shriberg et al., 1984). Comme nous l'avons spécifié dans les études 1 et 2, une excellente fidélité inter-juges a été atteinte, mais au prix de nombreuses mises à jour des règles internes à notre fonctionnement. Ces règles sont disponibles en Annexe 3. Dans le cadre de cette thèse, nous avons adopté une démarche perceptive et générale dite « broad transcription » (au contraire de précise, dite « narrow transcription », qui implique la précision minutieuse de tous les détails phonétiques disponibles (Heselwood, 2013)), complétée par les informations acoustiques quand cela s'est avéré nécessaire (Kent et al., 1999), en étant intransigeante quant au fait que la production devait précisément correspondre à la cible adulte. Nous avons en effet, comme le recommande Stoel-Gammon (2001), gardé en vue les objectifs du projet, axés autour de la précision de la parole avec un centre d'intérêt principalement moteur. Les faibles performances que nous avons retrouvées à 3 ans comparativement aux données de la littérature (étude 1), nous ont toutefois fait remettre en doute cette manière de procéder. C'est pourquoi, dans le cadre d'un poster (Warnier et al., 2021), nous avons comparé cette transcription axée sur la précision de la parole à une transcription tolérant une plus large gamme de productions autour d'un phonème partageant des caractéristiques perceptives suffisantes pour être considéré comme la cible. En somme, nous avons été plus laxiste et accepté davantage de distorsions. Une très faible différence sur le PCC, d'à peine quelques pourcents, a été constatée entre les deux manières de transcrire. Ces résultats laissent penser que la transcription serait finalement peu sensible à l'objectif. Néanmoins, nous reconnaissons que la minutie et le souci du détail systématiquement accordés à la transcription des

consonnes au sein de ce travail pourraient différer de la pratique clinique, habituellement plus générale (Teoh & Chin, 2009).

Stemberger et Bernhardt (2020) ont dressé une liste de recommandations pour s'adonner au processus de transcription. Si la plupart d'entre elles se sont révélées extrêmement pertinentes, nous ne partageons pas l'avis selon lequel les microphones intégrés aux smartphones actuels n'ont pas une qualité suffisante pour l'utilité que nous en faisons. Pour rappel, les enregistrements des données de parole à 3 ans et demi (étude 2) ont été récoltés sur le smartphone des parents lors d'une visioconférence du fait de la pandémie liée à la Covid19. Ils avaient originellement comme unique vocation de maintenir un point dans la trajectoire développementale puisque nous pensions tout comme le suggéraient Stemberger et Bernhardt (2020) que la qualité ne serait pas suffisante. La grande majorité des données s'est finalement révélée de qualité largement suffisante pour être exploitable. Les microphones intégrés dans les téléphones actuels peuvent donc être une bonne alternative dans le cas où l'implémentation d'un micro professionnel n'est pas possible, tout en veillant bien évidemment à la gestion des données personnelles du participant/patient. Nous pensons que le facteur prépondérant reste l'environnement sonore et très particulièrement pour le cas des enfants les plus inintelligibles (pour lesquels les échantillons de parole ont été transcrits dans le cadre de ce travail, mais ont été retirés des analyses). L'absence totale de bruit environnant aurait été essentielle pour une transcription la plus fidèle possible, mais cela n'a pas toujours été possible puisque les enfants étaient évalués en école. L'évaluation dans un cadre scolaire reste pourtant le meilleur compromis pour un équilibre entre la quantité d'échantillons récoltés et le temps qui y est consacré.

D'autre part, Stemberger et Bernhardt (2020) suggèrent que la transcription basée sur l'analyse auditivo-perceptive peut être insuffisante pour révéler les détails phonétiques. Nous avons été confrontée à cette limite, et recommanderions d'employer une méthode permettant la synchronisation de la vidéo avec le son conservé en fichier .wav (essentiel pour le traitement dans Phon puisqu'il empêche la compression de la bande-son). Cette limite est particulièrement vraie pour les distorsions puisque « *les informations visuelles sont particulièrement informatives concernant les lèvres, mais les mouvements des mâchoires et des muscles des joues offrent des informations sur l'articulation à travers le conduit vocal* » (Stemberger & Bernhardt, 2020, p. 77). Les vidéos permettent une analyse plus fine et précise puisqu'elles ajoutent un indice visuel qui est majeur pour la transcription.

### *Contextes d'analyse de la parole*

Dans la partie théorique de ce travail, nous avons évoqué les raisons pour lesquelles l'épreuve de dénomination d'images est l'épreuve la plus couramment utilisée en recherche pour récolter les productions de la parole (Glaspey et al., 2022; Wolk & Meisler, 1998). Outre l'importance du choix des images (Cycowicz et al., 1997) et de la valeur sémantico-lexicale des mots cibles (Belke et al., 2005), les résultats de l'étude 1 confirment qu'il est crucial de tenir compte de la complexité phonético-phonologique d'une épreuve de dénomination (Bérubé et al., 2020; Maillart et al., 2005). La version longue de la dénomination d'images de la batterie Eulalies est une des rares épreuves adaptées au français européen à évaluer tous les phonèmes dans toutes les positions du mot avec un contrôle de la longueur et de la structure syllabique des mots (Meloni, 2022). Cette version

originale, qui contient 66 items, est largement plus complète que la version que nous avons adaptée pour tenir compte des capacités attentionnelles des jeunes enfants. La version adaptée contient a minima une occurrence de tous les phonèmes dans toutes les positions. Dans l'étude 1, nous avons examiné de plus près trois facteurs de complexités connus pour influencer les performances des jeunes enfants, à savoir la présence d'un cluster tautosyllabique (groupe consonantique au sein d'une même syllabe) dans le mot, la précision des codas (consonnes en position finale d'une syllabe) et le nombre de syllabes qui constituent le mot. Les résultats permettent de confirmer les données disponibles à ce sujet, à savoir que ces éléments influencent les performances en complexifiant la précision de la parole (Bérubé & Macleod, 2022; Demuth & McCullough, 2009; Kehoe, 2021; MacLeod et al., 2011; Mason et al., 2015; Rose, 2000). Bien que les performances aux mots de 1, 2 et 3 syllabes soient toutes supérieures aux mots 4 syllabes, comme attendu (Bérubé & Macleod, 2021; Mason et al., 2015), les mots monosyllabiques s'avèrent être surprenamment moins précisément produits que les mots de 2 et 3 syllabes. Il s'avère que les mots monosyllabiques dans la version courte d'Eulalies recensent une accumulation de facteurs de complexité à l'origine de ces résultats inattendus. L'adaptation que nous avons réalisée de l'épreuve originale a donc rendu la tâche moins équilibrée en termes de complexité phonético-phonologique, mais l'a rendue accessible aux plus jeunes enfants. Dans l'objectif longitudinal (étude 2), la complexité inhérente aux mots de l'épreuve a été pour nous un atout plus qu'un obstacle puisqu'elle a permis à la tâche d'être suffisamment sensible lors de la trajectoire développementale et de ce fait ne pas présenter d'effet plafond chez les enfants plus grands comme c'est majoritairement le cas avec les épreuves francophones

actuelles (ex. : Kehoe & Girardier, 2020; MacLeod et al., 2011; Niederberger et al., 2021). La version courte de la dénomination d'images d'Eulalies se révèle donc tout à fait adaptée en termes de complexité nécessaire pour favoriser les erreurs développementales (Maillart, 2006) et de ce fait révéler le niveau de précision des représentations phonologiques (Maillart et al., 2005; Mason et al., 2015). Pour ce qui est de dresser un tableau plus précis en seconde ligne en vue d'un plan de traitement chez un enfant avec un TDSP, nous suggérons par contre d'utiliser la version complète d'Eulalies, même si sa passation doit être séquencée chez les enfants plus petits. Toujours dans cet objectif, il est bien entendu nécessaire de compléter cette évaluation avec d'autres contextes de récoltes de données (Rvachew & Brosseau-Lapré, 2018).

Dans l'étude 1, nous avons émis l'hypothèse que les mots qui ont été répétés à la suite du modèle de l'évaluateur (parce qu'ils n'ont pas pu être produits spontanément ou avec indiçage) seraient sans doute plus précisément produits que les mots dénommés spontanément grâce à un effet de mémoire à court terme. Même si cet aspect est souvent considéré comme essentiel dans la construction des batteries d'évaluation francophones (Chevrie-Müller & Plaza, 2001), il apparaît que ce n'est pas nécessairement le cas. En répliquant les résultats de Goldstein et al. (2004) et de Kehoe & Havy (2019), mais également des études plus anciennes (Bond & Korte, 1983; Lahey et al., 1983; Paynter & Bumpas, 1977), nous n'avons pas trouvé de différence significative entre les deux types de production. Paynter et Bumpas (1977) avaient déjà avancé, sur la base d'études inconsistantes, que l'effet de la méthode d'incitation de production pourrait ne pas avoir d'effet chez les enfants de 3 ans et de 3 ans et demi, alors que cela pourrait être le cas chez les enfants plus âgés

sans toutefois avancer de justifications. Les données de l'étude longitudinale de ce présent projet pourraient tout à fait être partagées et exploitées à l'avenir pour confirmer ces résultats. Jusqu'à preuve du contraire, le logopède/orthophoniste ne devrait pas considérer différemment les mots qui ont été produits spontanément des mots qui ont nécessité un indiçage ou un modèle au cours d'une dénomination d'images, du moins chez les enfants d'âge préscolaire (Goldstein et al., 2004; Paynter & Bumpas, 1977).

### *Mesures de production de la parole*

Dans la première étude, nous avons comparé les mesures de parole du WWP et le PCC. Le WWP s'est avéré être une mesure adaptée pour refléter les interactions entre la complexité des syllabes et la longueur des mots ainsi que prendre en compte la combinaison des facteurs de complexité dans le mot cible. Ceci est logique puisque, par définition (voir étude 1), il tient compte de la précision de la production et du respect du nombre de phonèmes cibles, en ce compris les voyelles (Ingram, 2002). Pourtant, le WWP n'est pas une mesure communément utilisée dans la pratique clinique. Elle pourrait être plus globalement employée pour le dépistage des enfants à risque de présenter un TDSP (Fabiano-Smith, 2019) et rapporterait davantage d'informations que les tests recourant à une cotation correct/incorrect.

Puisque notre objectif longitudinal était centré autour de la période de perfectionnement du contrôle moteur de la parole, supposé être directement lié à la précision des sons de la parole (Iuzzini-Seigel et al., 2015), nous avons choisi de garder le PCC comme mesure dans l'étude 2. De nombreuses études avancent que le PCC n'est pas une mesure directe de l'intelligibilité, mais qu'elle corrèle à cette dernière



(ex. : Lagerberg et al., 2014; McLeod et al., 2012; Shriberg et al., 1997). À la lumière du consensus sur la terminologie de l'*intelligibilité* versus la *compréhensibilité* mené par Pommé et ses collaborateurs (2022), on pourrait en réalité rectifier en disant que le PCC est une mesure directe de l'intelligibilité, mais qu'elle ne mesure pas directement la compréhensibilité bien qu'elle y soit corrélée. C'est une nuance de taille, mais cette mauvaise compréhension persistera aussi longtemps que les concepts ne seront pas clairement ancrés en logopédie/orthophonie. Évaluer le PCC n'est donc pas suffisant pour inférer l'impact fonctionnel d'un TDSP, à savoir ses conséquences sur le quotidien (Maillart, 2018).

Si le PCC est une mesure quasiment universelle, on lui reproche d'attribuer le même poids à toutes les erreurs, en ce compris les distorsions (Dodd, 2014). Accorder le même poids à une erreur structurelle qu'à une distorsion mène à débat, nous en reparlerons dans le point suivant. Ensuite, le PCC est hautement influencé par les caractéristiques phonético-phonologiques de la tâche. C'est ce que nous avons pu constater avec l'impact des mots monosyllabiques, recensant davantage de facteurs de complexité, sur cette mesure. Dans des recommandations d'utilisation du PCC, Shriberg et al. (1997) précisaient déjà que le PCC n'était pas comparable dans différents contextes de récolte de données, mais il semble également peu comparable lorsque la tâche utilisée présente des singularités. Il faut donc définitivement exclure une interprétation du PCC sur base de seuils universels proposés par Shriberg et Kwiatkowski (1982) tel que cela a pu être fait auparavant (à savoir intelligible au-delà de 85% et sévèrement inintelligible en deçà de 50%). Le PCC devrait être considéré en fonction de la tâche et de la tranche d'âge auquel il se

rapporte. À toutes fins utiles, nous présentons dans le Tableau 1 un récapitulatif des normes du PCC issues de l'étude 2.

**Tableau 1.**

*Normes du Pourcentage de Consonnes Correctes en fonction de l'âge issues des données longitudinales sur la version courte de la dénomination d'images d'Eulalies*

|               | Moyenne | Écart type |
|---------------|---------|------------|
| 3 ans         | 66,19   | 16,51      |
| 3 ans et demi | 71,48   | 13,61      |
| 4 ans         | 80,95   | 8,94       |
| 4 ans et demi | 84,98   | 6,01       |
| 5 ans         | 88,47   | 4,43       |

Quoi qu'il en soit, nos résultats confirment que le PCC s'avère être un bon indice de sévérité et sensible au développement (Shriberg & Kwiatkowski, 1982). Il faut retenir qu'il est nécessaire de varier les mesures de parole pour se représenter les habiletés de parole d'un enfant (Burrows & Goldstein, 2010) et que la sélection des mesures se fait sur base de l'objectif de l'évaluation (Shriberg et al., 1997).

#### *Erreurs articulatoires versus erreurs phonologiques*

La différence entre phonétique et phonologie reflète une question d'approche selon laquelle la parole est étudiée. Il est important d'en comprendre les différences théoriques (Maillart, 2006) abordées dans le Chapitre 2, mais une vision manichéenne est depuis longtemps remise en cause dans le cas de l'acquisition de la parole de l'enfant (Fey, 1992) et continue de l'être aujourd'hui (Maasen, 2022) en faveur d'une approche multidimensionnelle des représentations phonologiques (MacLeod, 2019; McAllister Byun et al., 2016; Redford, 2019; Rvachew & Brosseau-Lapré, 2018). Comme nous l'avons

mentionné dans la partie théorique, les représentations phonologiques ne doivent plus être considérées comme une simple étiquette phonologique abstraite du mot, mais bien comme des représentations porteuses d'informations temporelles, perceptives, motrices et somatosensorielles entre autres.

En clinique, cette vision dualiste de la phonétique et de la phonologie revient typiquement à dissocier les erreurs articulatoires des erreurs phonologiques (Schelstraete et al., 2004). Nous rappelons que nous n'avons pas exploré les différents types d'erreurs développementales de parole puisque cela ne s'inscrivait pas dans notre objectif de recherche. La discussion qui suit se base donc sur des interprétations hypothétiques, mais il nous a semblé intéressant de partager notre raisonnement. Pour savoir s'il est encore pertinent d'employer cette approche dichotomique, une analyse descriptive approfondie selon cette catégorisation dualiste devrait être envisagée sur les erreurs que nous avons recensées dans nos échantillons de parole. Cependant, l'expérience de transcription de quelques milliers de mots produits nous permet de remettre en doute l'affirmation selon laquelle « *la différence entre troubles articulatoires et troubles phonologiques apparaît en fait clairement lors de la transcription phonétique des productions d'un enfant* » (Schelstraete et al., 2004, p.8). Chez les jeunes enfants, il ne nous a pas semblé si évident de faire la différence entre les erreurs relevant de la mise en place des gestes articulatoires versus des connaissances phonologiques de plus haut niveau, tout comme le témoignent également Rvachew et Brosseau-Lapré (2018). Même si cela n'était pas le cœur de notre travail, nous avons pu remarquer que les distorsions (généralement considérées comme des erreurs purement articulatoires) semblaient courantes et extrêmement variables en ce qu'elles touchaient

aléatoirement de nombreux phonèmes chez les jeunes enfants et donc n'étaient pas stables. Il semblerait de ce fait que la distorsion des phonèmes fasse partie des erreurs développementales typiques et qu'elles relèvent de l'apprentissage de la précision des représentations phonologiques qui sont, rappelons-le, multidimensionnelles.

D'où la question suivante : est-il vraiment utile de différencier les erreurs articulatoires des erreurs phonologiques? L'important n'est-il pas la question de la stimulabilité et la stabilité de la production des phonèmes ? Ces indices renseignent en effet sur le niveau de maturation des représentations abstraites et sur le niveau de maturation du contrôle moteur. La stimulabilité est d'ailleurs hautement corrélée au PCC et à la taille de l'inventaire phonémique (Tyler & Macrae, 2010). En somme, ces indices sont donc le reflet de la maturation des représentations phonologiques multidimensionnelles. Nous avons certes constaté dans notre échantillon que les erreurs de distorsions deviennent saillantes chez certains enfants à mesure qu'ils grandissent. Vers 5 ans, elles sont alors typiquement considérées comme une erreur articulatoire selon la vision dichotomique articulation *versus* phonologie. Cependant, il ne faut pas perdre de vue qu'elles sont aussi (incorrectement) intégrées dans des représentations phonologiques multidimensionnelles et que leur caractéristique principale n'est pas d'être une erreur articulatoire, mais plutôt d'être des erreurs stables voire systématiques et peu ou pas stimulables, ainsi qu'isolées dans le sens où le reste du système phonologique est globalement proche de celui de l'adulte. Pour preuve, la stimulabilité des phonèmes distordus est corrélée à sa stabilité (consistance) et à la capacité de l'enfant à discriminer ses propres productions (Lapko & Bankson,

1975). Peut-on encore considérer que les distorsions sont purement le résultat d'un défaut de production articulatoire pure, sans considérer que les représentations multidimensionnelles entrent en jeu ?

Dodd et al. (2018) maintiennent qu'il est cliniquement important de garder une distinction entre les troubles articulatoires et troubles phonologiques pour établir un plan de traitement et choisir le type de prise en charge. Nous ne partageons pas forcément cet avis. Puisqu'un phonème non stimulable présente davantage de risque de ne pas évoluer spontanément au cours du développement, qu'il devrait de ce fait être priorisé dans un plan de traitement et que les traitements existent (Miccio et al., 1999; Powell et al., 1991), est-il vraiment pertinent d'étiqueter les erreurs selon qu'elles soient articulatoires ou phonologiques pour le plan de traitement ? D'ailleurs, pour justifier cette dichotomie, les auteurs basent finalement leurs arguments sur la stimulabilité des phonèmes, la stabilité de leur production et la comparaison en fonction des normes attendues pour l'âge. Les auteurs relèvent aussi dans leur étude longitudinale que les deux types d'erreurs (articulatoires vs phonologiques) co-occurrent souvent et même que pour certains phonèmes, les erreurs relèvent fréquemment d'un mécanisme commun.

Selon nous, il serait davantage pertinent de directement identifier ces trois variables lors de l'évaluation de la production. Les normes francophones des mesures d'intelligibilité des sons et d'acquisition des sons doivent être étoffées à partir de celles actuellement disponibles, la stimulabilité et la stabilité des productions pourraient bénéficier des avantages de l'évaluation dynamique (Bain, 1994; Glaspey et al., 2022; Glaspey & Stoel-Gammon, 2007), ce qui

permettrait de se détacher de cette catégorisation entre articulation et phonologie, en gardant l'avantage de cibler le plan de traitement.

### *Parole francophone*

Comparer les aspects phonético-phonétiques des échantillons de parole francophone que nous avons récoltés à la multitude de données actuelles en anglais ou dans d'autres langues nécessiterait probablement un projet de thèse à part entière. Nous n'allons donc pas nous lancer dans une telle discussion. Mais il est intéressant de noter que nous pensons que l'échantillon de parole est également le témoin de spécificités régionales. Dans la première étude, nous avons relevé une influence des processus de dévoisement sur les consonnes finales sur les mesures de précision de la parole (ex. : [nɛ] pour [nɛʒ]). C'est une caractéristique bien connue du français parlé en Belgique (Pohl, 1983), néanmoins il est surtout fréquent de la retrouver dans la parole continue (en coarticulation donc) plutôt que dans la production de mots isolés. C'est la raison pour laquelle nous l'avons maintenue comme une erreur dans le calcul du PCC. Cette observation soutient l'hypothèse selon laquelle les enfants extraient des informations du discours continu de l'adulte des exemplaires perceptifs qui deviendront plus précis plus tard dans le développement (McAllister Byun et al., 2016; Menn et al., 2012; Redford, 2019).

### *Trajectoire développementale de la parole*

Nous avons incontestablement sélectionné des critères d'exclusion sévères pour représenter au mieux le développement typique de la parole. Néanmoins, nous avons retrouvé une grande variabilité entre les performances des enfants à 3 ans, puis tout au long du

développement. Si cette variabilité était attendue (Hustad et al., 2021; McLeod & Hewett, 2008; Vick et al., 2012) et peut être favorisée par les spécificités lexicales et phonético-phonologiques de la tâche (Macrae, 2013), nous n'imaginions pas que les critères d'exclusion permettraient un tel écart entre les performances les plus faibles et celles les plus fortes. Le score le plus faible à 3 ans s'est révélé être un PCC de 26% et le score le plus élevé un PCC de 88%. L'écart se réduit drastiquement à 5 ans (voir Tableau 1), mais reste significatif. Au cours du développement typique, les performances restent donc extrêmement variables. Les enfants les plus faibles au départ sont ceux qui présentent l'évolution des performances la plus fulgurante, dépassant souvent la moyenne de l'échantillon. Cela reste assez logique puisque les enfants aux performances plus faibles avaient également la plus grande marge de progression possible. Cette variabilité n'est pas expliquée par le genre de l'enfant ce qui confirme les résultats d'études transversales (Amayreh & Dyson, 1998; Hustad et al., 2020; Phoon et al., 2014; Vick et al., 2012), mais aussi de l'étude longitudinale menée par Gruber (1999). Il faut noter que certains auteurs avancent que les filles présenteraient de meilleures performances que les garçons (Fatemi Syada et al., 2018), mais cette différence pourrait apparaître plus tardivement (Dodd et al., 2003) ce qui soutiendrait la plus haute prévalence de TDSP observée chez les garçons (Shriberg et al., 1999).

Le fait que certains enfants plus faibles normalisent leurs performances réplique une des deux courbes développementales recensées par Gruber (1999) (dont la première est évoquée ci-dessus) et confirme la présence de différents clusters au sein du développement typique (Vick et al., 2012). On peut d'ailleurs aussi retrouver ce type de trajectoire dans le développement du vocabulaire

en production chez des enfants d'âge préscolaire (Ukoumunne et al., 2012). D'aucuns pourraient interpréter ces résultats en questionnant la nécessité d'une intervention logopédie/orthophonique précoce dans le cas d'intelligibilité/compréhensibilité réduite chez le jeune enfant. Au contraire, nous pensons que ces résultats soulignent l'importance de mieux étudier, comprendre et considérer les facteurs prédictifs d'un développement francophone déviant en considérant non seulement les facteurs de risques connus (voir Maillart, 2019 pour une revue), mais également les caractéristiques cliniques des performances de ces enfants. Il s'agit de répliquer des résultats obtenus dans d'autres langues (ex. : Gierut & Hulse, 2010; Wren et al., 2016). À ce propos, il serait intéressant de comparer les quelques enfants exclus de l'échantillon à cause d'une prise en charge logopédique pour les comparer aux enfants qui présentaient les scores les plus bas à 3 ans, mais qui présentaient la meilleure évolution et ainsi identifier les prédicteurs cliniques (par exemple en termes de type d'erreurs) de cette évolution. L'identification d'âges clés et d'indicateurs de pronostic, couplé à l'impact fonctionnel, permettrait certainement de faire avancer la compréhension du TDSP, similairement aux avancées considérables obtenues pour le TDL (Bishop, 2017).

Même si Vick et al. (2012, p. 2896) soutiennent que la présence de trajectoires développementales diverses au sein du développement typique va en défaveur des « *modèles de production de la parole caractérisés par un perfectionnement et une stabilisation graduels et monotones* », nos résultats indiquent que l'évolution peut être graduelle sans être monotone. En effet, malgré de grandes différences interindividuelles, le développement général de la parole est constant et linéaire, sans effet plateau. Nous souhaiterions attirer l'attention sur le fait que cette phase de perfectionnement (« *refinement* ») (Green et



al., 2000; Iuzzini-Seigel et al., 2015; Vick et al., 2012) est en réalité une période sujette à de grandes progressions et une grande variabilité interindividuelle. Le terme « perfectionnement » semble quelque peu réducteur pour qualifier cette période. À 5 ans, les performances sont encore loin d'un score plafond, suggérant que la parole évolue effectivement toujours à cette période (Redford, 2019) et qu'une stabilisation vers la parole adulte se fait plus tard, probablement entre 5 et demi et 6 ans (Glaspey et al., 2022; Hustad et al., 2021; Rondal, 1979; Vance et al., 2005) et probablement même plus tard en parole spontanée (Glaspey et al., 2022). Cela réfute également la présence d'un système phonologique mature avant cette période comme ont pu l'affirmer Coplan et Gleason (1988).

## **Développement myofonctionnel**

### *Mesures d'évaluation myofonctionnelle*

Nous l'avons mentionné dans l'introduction théorique, les outils d'évaluation myofonctionnelle présentent tous certaines limites. Nous avons envisagé trois outils pour mesurer le développement myofonctionnel. Premièrement, le NOT-S a été employé par Mogren et al. (2020) pour mettre en lien les OMDs et les TDSP persistants, pourtant nous l'avons considéré comme un outil de dépistage assez grossier dans la perspective de nos objectifs. En effet, son utilité de dépistage auprès de populations d'âges et de profils très variables est indéniable, mais il est insuffisant pour confirmer la présence d'une dysfonction (Bakke et al., 2007). Les items traduisent donc un profil sensori-moteur général plutôt que l'évaluation précise des fonctions orofaciales, ne répondant pas aux exigences de notre projet. Ensuite, le MBGR est très complet, mais sa passation s'en retrouve longue et

ses qualités psychométriques n'ont pas été explorées. Au début de cette année, ce protocole a été adapté pour une population d'âge préscolaire (Medeiros et al., 2022). Si l'outil avait été disponible au moment de la conception de notre étude, nous n'aurions tout de même probablement pas porté notre choix sur celui-ci. Premièrement, car ses qualités psychométriques n'ont toujours pas été explorées et deuxièmement, car sa passation reste extrêmement chronophage (60 à 90 minutes, et ce sans la partie anamnestic). Le NOT-S et le MBGR incluent tous les deux une évaluation sommaire de la parole. Or, l'absence de lien direct observé dans notre étude longitudinale entre la parole et les fonctions orofaciales non verbales invite à la précaution. Avant d'employer une épreuve d'évaluation de la parole dans une évaluation des fonctions non verbales, nous pensons qu'il est nécessaire d'explorer davantage leurs potentielles relations, en particulier dans la pathologie. Ensuite, si le lien s'avérait exister, les mesures précises de parole (ex. : type d'erreurs) devraient être considérées dans l'évaluation myofonctionnelle. Ces mesures pourraient alors servir comme indice dans le dépistage ou le diagnostic des OMDs, mais en aucun cas une telle épreuve ne refléterait une évaluation complète de la parole. En effet, nous l'avons vu, la parole nécessite une évaluation à part entière par des outils spécifiquement développés à cet effet. Le NOT-S présente en plus une épreuve de diadococinésies pour les enfants de plus de 5 ans. De la même façon, cette épreuve devrait être interprétée avec précaution puisque nous n'avons pas mis en évidence de lien entre les diadococinésies et les fonctions orofaciales non verbales. Ces informations n'ont pas été prises en compte dans l'étude de Mogren et al. (2020) : les auteurs ont mis en évidence des corrélations positives et significatives entre l'examen clinique du NOT-S et les données de parole comme le PCC.

Ils ont conclu à un lien entre les TDSP persistants et la parole alors que le NOT-S lui-même inclut des items liés à la parole (ex. : « *la parole n'est pas claire, avec un ou plusieurs sons indistincts ou une nasalité anormale* »), qui se sont d'ailleurs révélés être les plus affectés. Utiliser une variable indépendante d'emblée liée à la variable dépendante pour expliquer cette dernière est une erreur que nous n'avons pas voulu faire.

Notre choix s'est donc arrêté sur l'OMES pour ses avantages mentionnés dans la partie théorique et parce qu'il n'incluait pas d'épreuve de parole. Néanmoins, l'OMES, comme les autres outils envisagés, incluait les NSOMs et l'apparence physique comme relevant de l'évaluation fonctionnelle. Nous ne sommes pas de cet avis et nous avons choisi d'inclure uniquement la section « fonctions » dans nos analyses pour uniquement considérer les fonctions orofaciales non verbales dans les interactions étudiées. En ce qui concerne les NSOMs, les résultats de notre étude longitudinale ont confirmé l'absence de lien entre le développement des NSOMs et celui des fonctions orofaciales chez l'enfant tout-venant d'âge préscolaire. Cela atteste donc qu'il est nécessaire de mieux étudier le rôle des NSOMs par rapport aux fonctions orofaciales avant de les inclure dans l'évaluation. Selon nous, les NSOMs représentent un certain type de HMO, mais ils ne sont en aucun cas une évaluation directe des fonctions orofaciales. Les fonctions orofaciales sont des fonctions hautement automatisées, alors que les NSOMs reposent sur une action volontaire dictée par une commande visuelle et/ou orale. Il est donc probable qu'ils soient sous-tendus par des processus complètement différents. Cela remet en cause, comme nous l'avions postulé, de ce type d'épreuve dans l'évaluation des fonctions orofaciales. Les NSOMs pourraient tout au plus servir d'une tâche

adjointe et supplémentaire (comme c'est le cas pour le MBLF par exemple) pour permettre d'identifier des difficultés motrices dans les OMDs. Explorer la dissociation automatico-volontaire, en s'inspirant par exemple des travaux sur les paralysies faciales (Gatignol et al., 2020), permettrait probablement de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents des OMDs. Ces avancées participeraient grandement à une meilleure définition des OMDs.

En ce qui concerne l'apparence physique, le lien avec les fonctions orofaciales est largement établi (Begnoni et al., 2020; Zhao et al., 2021). Dans ce contexte précis, nous pensons que cette partie de l'évaluation devrait être laissée aux professions expertes de ce domaine, à savoir les dentistes, orthodontistes et chirurgiens maxillo-faciaux puisqu'il est préférable de coupler les analyses subjectives aux analyses objectives (Begnoni et al., 2020). Le logopède/orthophoniste risque de délaissier l'évaluation des fonctions, au cœur de son expertise (ASHA, n.d.-b), comme c'est par exemple le cas dans le protocole MBGR. Cette recommandation n'est pas forcément applicable à d'autres contextes notamment dans le cas de la paralysie faciale (Chapuis-Vandenbogaerde & Gatignol, 2021) ou dans des prises en charge myofonctionnelles à visée esthétique qui sont peu connues en Belgique et en France, mais sont largement répandues dans d'autres pays (C. B. Souza et al., 2013; Valente et al., 2016). Dans les items des évaluations myofonctionnelles, il est parfois aussi demandé d'observer les amygdales, ce qui relève entièrement de l'évaluation ORL (Valera et al., 2003). Selon nous, l'examen logopédique/orthophonique devrait se centrer autour des fonctions puisqu'il s'agit de notre champ de compétence (ASHA, n.d.-b).

Un dernier point que nous souhaiterions aborder dans les mesures myofonctionnelles est particulier à l'évaluation du mode de respiration. La respiration est la fonction orofaciale non verbale la plus étudiée dans la littérature, pourtant les logopèdes/orthophonistes n'avaient jusque-là que très peu de recommandations sur lesquelles se baser pour l'évaluation du pattern de respiration à l'éveil. Les experts du consensus international de l'étude 3 ont souligné l'importance de considérer la respiration lorsque l'enfant est au repos ce qui était généralement déjà préconisé (de Felício et al., 2010; Fujimoto et al., 2009). Le fait de proposer plusieurs contextes d'observation, d'y varier les activités proposées et de les séparer pour qu'ils ne se succèdent pas directement était par contre novateur. Nous avons pu constater lors de la validation de la grille ABPA que les enfants réagissent en effet différemment en fonction des contextes et de l'activité proposée ce qui atteste que la respiration est fluctuante au cours du temps (Bergendal et al., 2014). Le fait d'observer la respiration durant la mastication et juste après la déglutition est beaucoup moins courant que d'observer l'enfant au repos (de Felício et al., 2010; Knösel et al., 2012). Au sein de ces contextes, la proportion de temps passé avec les lèvres, la bouche ouverte ou la langue basse était considérée comme un facteur important. Le temps jusqu'alors avait été considéré comme une condition de passation (par exemple dans l'étude de Zaghi et al. en 2020), mais rarement comme un critère comme l'avaient fait Fujimoto et al. (2009). Ce critère nous semble essentiel puisque le mode de respiration est susceptible de varier dans le temps. Le fait que les experts aient jugé l'observation d'une respiration bruyante comme non pertinente nous est apparu comme étonnant. Comme Valera et al. (2003) nous pensions que cela apparaissait comme pertinent. Avec le recul, nous pensons que le terme « *respiration*

*bruyante* » (« *noisy breathing* ») était peut-être inadapté puisqu'il laisse penser que le passage de l'air est obstrué et donc bruyant, comme l'ont en effet mentionné les experts. Nous pensons toutefois qu'il est possible de faire la distinction entre une inspiration par la bouche ou par le nez via la différence de son, aussi légère soit-elle, que l'air produit par son passage par des cavités de résonance différentes. Lorsqu'on y prête une oreille attentive, on peut entendre une personne respirer par la bouche, même avec les yeux fermés. Cependant, il est vrai que de tels critères pourraient nous ramener à une observation plus subtile et davantage subjective, ce que nous voulions éviter en construisant l'ABPA.

### *Mode de respiration*

En restant dans les éléments relatifs à la respiration, les données de ce travail de thèse indiquent que la respiration est mieux représentée par deux groupes (respiration nasale *versus* respiration buccale) comme ce qui a été suggéré par certains auteurs (de Felício & Ferreira, 2008; de Mattos, 2018; Milanesi et al., 2018; Sano et al., 2018) et ce malgré l'avis des experts sollicités lors du processus Delphi. Aucune étude n'avait pour l'heure mis objectivement cette hypothèse à l'épreuve. C'est une information cruciale qui nous suggère que la respiration mixte/oronasale correspondrait davantage à la variabilité présente dans le groupe de respirateurs buccaux, qu'elle serait une zone tampon entre une respiration à prédominance buccale et une respiration nasale sans pour autant exister en tant qu'entité isolée. Un enseignement majeur que nous pouvons tirer de nos observations est que la respiration exclusivement buccale est rarissime (aucun cas rencontré dans notre échantillon de 133 enfants) comme le suggèrent plusieurs auteurs (Abreu et al., 2008a; Andrada

e Silva et al., 2012; De Menezes et al., 2006). Lorsque l'on parle de « respiration buccale » dans la littérature, il s'agit en réalité de respiration mixte ou de respiration à prédominance buccale.

Les études menées sur la respiration, la revue de la littérature sur le mode de respiration et les nombreux échanges durant le processus Delphi nous ont amenée à réfléchir en profondeur à la taxonomie employée autour de la respiration buccale. Nous souhaiterions tout naturellement partager une proposition argumentée à ce sujet. Nous suggérons que le mode de respiration soit vu comme un continuum avec à chacune de ses extrémités la respiration nasale et la respiration buccale. Lorsque la respiration buccale s'avère être le mode de respiration préférentiel et naturel, le terme respiration buccale « *habituelle* » peut être utilisé quelle que soit l'étiologie de l'habitude (Fujimoto et al., 2009; Kukwa et al., 2018; Sano et al., 2018; Zaghi et al., 2020). Nous préférons cette terminologie à celle de plusieurs auteurs (Achmad et al., 2021; Wasnik et al., 2020) qui considèrent le terme « *par habitude* » (« *habitual* ») par opposition à la respiration buccale d'origine « *obstructive* » sur le plan étiologique. Pour caractériser une respiration buccale en fonction de son étiologie, le terme « fonctionnelle » (Abreu et al., 2008b) est parfois également employé, mais nous pensons que le terme « *non obstructive* » permet d'ôter tout doute. Il existe aussi selon nous une nuance entre une étiologie « *structurelle* » et « *obstructive* », pourtant la différence n'est pas toujours faite (Marchesan et al., 2012). Par exemple, les rhinites allergiques peuvent induire une respiration buccale (Abreu et al., 2008a) dont la cause est obstructive sans qu'elle soit structurelle. En outre, il arrive que le terme « *respiration buccale* » soit confondu avec « *syndrome de respiration buccale* ». Ce second terme devrait uniquement être employé lorsqu'un ensemble de signes et de

symptômes sont présents (Barbiero et al., 2007; Nogami et al., 2021; Saitoh et al., 2018; Veron et al., 2016). Certains de ces symptômes comme les malpositions dentaires (Fraga et al., 2018) et les caractéristiques céphalométriques (Zhao et al., 2021) sont largement documentés, tandis que d'autres symptômes restent à déterminer. Citons par exemple les caractéristiques posturales (Neiva et al., 2018). Ces symptômes pourraient hypothétiquement être un marqueur de la sévérité de la respiration buccale habituelle (Inada et al., 2021) ou peut-être de sa chronicité. Car la respiration buccale est particulièrement problématique lorsqu'elle devient chronique, se manifestant sur le long terme. Une période de 6 mois ou plus est souvent considérée (Conti et al., 2011; Guilleminault & Huang, 2017; Izu et al., 2010), mais nous suggérons que cette période soit diminuée à 3 mois au vu l'importance de son dépistage durant l'âge préscolaire (Limme & Bruwier, 2014). Le mode habituel de respiration peut être décrit durant l'éveil et/ou durant le sommeil. La respiration buccale durant le sommeil fait partie du continuum des troubles ventilatoires du sommeil (Guilleminault & Huang, 2017). L'ABPA évalue exclusivement le mode de respiration à l'éveil.

En résumé, le mode de respiration habituel peut donc être soit à prédominance buccale soit à prédominance nasale. L'habitude de l'enfant est déterminée par la chronicité du mode de respiration, en proposant par exemple l'ABPA à trois mois d'intervalle. L'enfant peut présenter une respiration buccale prédominante à l'éveil et/ou durant le sommeil, qui relève alors des troubles ventilatoires du sommeil. La cause de la respiration buccale peut être non obstructive ou obstructive. Lorsque la respiration habituelle à prédominance buccale



s'accompagne de certains signes et symptômes, on peut parler de syndrome de respiration buccale.

### *Développement myofonctionnel*

Grâce à notre design longitudinal, nous pouvons pour la toute première fois confirmer ce que les études transversales avaient déjà suggéré (Bergendal et al., 2014; McAllister & Lundeborg Hammarström, 2014) : les fonctions orofaciales non verbales évaluées dans leur globalité évoluent avec l'âge. Par contre, les courbes développementales ne s'avèrent pas différentes pour les garçons que pour les filles, contrairement aux suggestions de McAllister et Lundeborg Hammarström (2014) déduites sur la base de leurs données transversales. Il est important de noter que nous ne pouvons pas parler de développement myofonctionnel typique dans cet échantillon. En effet, les critères ont permis d'écartier tout trouble majeur, mais devaient permettre une certaine variabilité inter-individuelle pour rester cohérent avec les analyses de régressions choisies pour répondre à l'objectif général. Pour rappel, les mesures de régressions se basent sur la variabilité. Il se pourrait que l'échantillon inclue certains profils déviants, mais quoi qu'il en soit les données montrent que la variabilité entre les enfants diminue avec le temps comme nous pouvions nous y attendre (Robbins & Klee, 1987).

Pour répondre à la question de recherche et dans la précaution de ne pas démultiplier les modèles statistiques au risque d'augmenter les erreurs de première espèce, nous avons choisi de grouper toutes les fonctions orofaciales non verbales sous un seul score (total de l'OMES). Ce choix est argumenté, mais non sans conséquence : cela ne nous permet pas de décrire le développement de chacune des

fonctions séparément. Néanmoins, nous avons encadré un mémoire dans le cadre de cette thèse (Chantry, 2021) dont les résultats apportent un éclairage sur la question. Au cours de ce projet de mémoire, l'évolution des fonctions orofaciales a été comparée entre 3 et 4 ans sur base de la même récolte de données que celle décrite lors de l'étude 2.

Premièrement, les résultats montrent que la prévalence de la respiration buccale diminue entre ces deux périodes, ce qui corrobore les résultats des données transversales de McAllister et Lundeborg Hammarström (2014). Cela confirme que la respiration varie selon certaines phases spécifiques du développement. McAllister et Lundeborg Hammarström (2014) observent une respiration buccale chez un total de 20% de l'échantillon à 3 ans puis 0% à 4 ans alors que les résultats du mémoire montrent que 30% de l'échantillon sont des respirateurs buccaux à 3 ans contre 15% à 4 ans. Cependant, la méthodologie de ce travail se base sur les items de l'OMES, qui pour rappel catégorisent la respiration en trois modes. Les résultats de l'étude 4 nous ont par la suite permis de considérer la respiration mixte/oronasale comme une variation de la respiration buccale. Si l'on considère que la respiration mixte et la respiration buccale font partie d'un même groupe, les scores adaptés seraient de 60% à 3 ans et 53% à 4 ans. Ces résultats, bien que congruents avec une haute prévalence de la respiration buccale (Abreu et al., 2008; De Menezes et al., 2006; Felcar et al., 2010; Leal et al., 2016), sont à prendre avec extrêmement de précaution. Les items de l'OMES pour la respiration sont sommaires et hautement subjectifs tel que l'a démontré la faible fidélité inter-juges (que nous avons compensée en ajoutant un complément d'observation), comme nous l'avons mentionné dans l'étude 2. Maintenant que l'ABPA a été développé et validé, il serait

intéressant de répliquer les résultats et de déterminer si la respiration buccale relève dans tous les cas de la pathologie (et dans ce cas ces chiffres doivent interpeller (Limme & Bruwier, 2014)) ou peut apparaître comme une étape temporaire dans le développement typique. On peut d'ores et déjà exclure l'influence saisonnière (ex. : rhume hivernal) sur le pattern de respiration dans l'interprétation des résultats des données longitudinales, car la récolte de données a été menée à la même période de l'année.

Pour en revenir aux résultats du travail de fin d'études (Chantry, 2021), la déglutition et la mastication ont également montré une évolution significativement positive entre 3 et 4 ans, suggérant que ces fonctions ne sont pas encore arrivées à maturation (Bergendal et al., 2014). La période entre 3 et 4 ans est stable au niveau dentaire et de la transition alimentaire, qui pour rappel influencent grandement les fonctions de déglutition et de mastication. Malgré cela, les scores en déglutition évoluent, bien après la première phase de « déglutition inconsistante ». Il semblerait que l'enfant d'âge préscolaire soit encore dans une phase de transition comme le suggèrent Peng et al. (2003) et Senez (2015) et contrairement à ce qu'avance Graber (1963). Pour ce qui est de la mastication, les résultats sont cohérents avec l'idée que les fibres des muscles masticateurs continuent à augmenter en nombre et la mastication suit une amélioration progressive (Green et al., 1997), mais les résultats n'apportent malheureusement pas de résultats substantiels sur la façon dont progresse la qualité masticatoire, dans une tranche d'âge qui est malheureusement cruellement délaissée par la littérature.

## **Développement des habiletés motrices et somatosensorielles orales**

### *Habiletés motrices orales*

Comme il l'a été mentionné dans la partie théorique, le terme NSOMs est un terme fourre-tout qui rend la comparaison de nos données plutôt délicate. Il convient de garder cette remarque en tête à la lecture de ce paragraphe. Réduire le champ d'applications aux organes phonateurs comme nous l'avons fait en choisissant l'épreuve de l'OMES est probablement un premier pas vers une meilleure compréhension des interactions avec d'autres domaines. Nous pensons qu'il est également important d'exclure les épreuves avec productions vocales, comme le suggère la définition de Kent (2015). Cela nous a permis de faire un tri dans les divers outils possibles.

Nos résultats confirment la sensibilité à l'âge des NSOMs isolés et séquencés (Bearzotti et al., 2007; Canning & Rose, 1974; Kehoe & Cretton, 2021; Ozanne, 1992) ainsi que des DDK (Kent et al., 2022) du moins lorsqu'on prend en compte la précision dans le calcul des mesures (Yaruss & Logan, 2002). Ces résultats vont à l'encontre des observations de Williams et Stackhouse (1998, 2000). Les auteurs ont observé que les performances aux mouvements non verbaux séquencés et aux DDK sont sujettes à une grande variabilité entre les enfants, contrairement à nos résultats qui montrent que la variabilité présente à 3 ans disparaît au cours du temps. De plus, selon les auteurs, il n'y aurait pas d'évolution développementale des DDK durant l'âge préscolaire. Nous voyons deux explications plausibles pour expliquer ces divergences. Premièrement, les auteurs se basent sur des données transversales pour observer des effets

développementaux. Cela soulève selon nous une fois de plus l'importance d'observer des effets développementaux par le biais d'études longitudinales. Ensuite, les méthodes de cotation employées par les auteurs étaient soit centrées sur le temps pris par les enfants pour effectuer cinq répétitions (« time by count ») ou par la précision des productions, alors que nous avons choisi une méthode de « count by time » c'est-à-dire le nombre de répétitions pour un temps imparti, en considérant également la justesse des productions. Les mêmes explications s'appliquent par ailleurs pour l'étude de Kehoe et Cretton (2021) qui n'avaient pas non plus relevé d'évolution des DDK avec l'âge sur base d'une méthode de cotation « time by count ». En tenant compte de ces études (Kehoe & Cretton, 2021; Williams & Stackhouse, 1998, 2000; Yaruss & Logan, 2002) et de nos résultats, il semble donc que l'utilisation d'une méthode de cotation « time by count » apparaît comme étant peu informative chez le jeune enfant si la justesse des productions n'est pas considérée, et ce malgré sa popularité. Chez une population plus âgée, l'étude de Chu et al. (2021) montre qu'une méthode « count by time » reste sensible à l'âge. Des normes propres à l'âge sont donc impératives pour l'interprétation des DDK. La méthode « count by time » serait en outre la plus fiable en termes de fidélité inter-juges (Gadesmann & Miller, 2008).

Mais finalement, les trajectoires développementales des NSOMs et des DDK apportent peu d'information à elles seules si ce n'est d'attester que les HMO évoluent durant l'âge préscolaire. Comme largement abordé dans la partie théorique, les HMO ont surtout un intérêt pour la compréhension du développement des fonctions orofaciales liées ou non à la parole. Nous avons fait l'hypothèse qu'elles joueraient un rôle de prédicteur de ces trajectoires développementales. Nous en avons discuté ci-dessus, cette relation a

été remise en doute pour ce qui est des fonctions non verbales chez l'enfant typique. En ce qui concerne la parole, les NSOMs et les DDK sont communément employées pour déterminer si les structures musculaires orales sont suffisamment fonctionnelles pour la parole (Waite et al., 2012). Nos résultats sont définitivement plus nuancés que ce postulat. Comme plusieurs auteurs, nous n'avons pas pu mettre en évidence de liens entre l'épreuve de motricité isolée et la précision de la parole (Dodd & Mcintosh, 2010; Kehoe & Cretton, 2021; Kent, 2015; Williams & Stackhouse, 2000). D'emblée, l'hypothèse la plus probable est que les NSOMs sollicitent des fibres musculaires spécifiques à la tâche réalisée (Stål et al., 2003) qui s'expriment différemment lors de la parole. C'est pourtant généralement ce type de mouvements qui sont au cœur des thérapies motrices (NSOMEs) qui font actuellement grand débat dans la prise en soin des TDSP (voir Chapitre 2). Or, ces résultats laissent donc penser que les NSOMs ne sont pas sous-tendus par les mêmes mécanismes que la parole, tout comme de nombreux auteurs le revendiquent (ex. : Maas, 2017; Staiger et al., 2017). Il semble donc intéressant d'investiguer d'autres aspects des traitements moteurs que ceux basés sur les NSOMs avant de clore le débat sur l'efficacité ou l'inefficacité des traitements moteurs non verbaux dans les TDSP idiopathiques.

Aucun lien significatif n'a été relevé entre les DDK et la précision de la parole mesurée par le PCC dans notre étude longitudinale. Si cette absence de corrélation est cohérente avec les observations de Kehoe et Cretton (2021), celle-ci vient tout de même contredire les résultats que Folha et Felício (2009) ont observés chez des enfants plus âgés. Cela remet en doute l'idée selon laquelle les DDK de structure complexe (c'est-à-dire /pataka/) reflètent un contrôle moteur similaire à celui de la parole (Rong, 2020). Une absence de

lien entre PCC et DDK peut sembler « contre intuitifs » (Yaruss & Logan, 2002, p. 79). Finalement, deux hypothèses sont tout à fait plausibles : soit le contrôle moteur s'exprime différemment en fonction de la tâche (Vick et al., 2012; Whalen, 2019), soit le lien entre les deux est trop subtil que pour être mis en exergue chez l'enfant tout-venant, alors que les liens sont visibles dans la pathologie comme le suggéraient les résultats de la thèse de doctorat soutenue par Williams (2016). Dans tous les cas, nous partageons l'avis de Gadesmann et Miller (2008) qui affirment que « *Les performances aux DDK ne prédisent pas l'intelligibilité de manière simple et transparente ni le succès global de la communication fonctionnelle* » (p. 42).

Pour ce qui est de la motricité séquencée, nos résultats se révèlent particulièrement surprenants puisque nous avons observé qu'au cours du développement les scores plus faibles aux mouvements séquencés prédisent la hausse des scores de précision de la parole. Ces scores vont à l'encontre des résultats de Dodd et McIntosh (2010) qui avaient pourtant employé des mesures similaires aux nôtres. Cependant, l'âge de la cohorte pourrait être une piste explicative exploitable, puisque cette étude incluait des enfants de 2 ans. Nous l'avons longuement vu, la variabilité des HMO entre les performances des jeunes enfants est importante et est toujours significative à 3 ans comme en attestent nos résultats. Par contre, cette variabilité pourrait se stabiliser dès 3 ans, ce qui est congruent avec les observations de Green et al. (2000) et Grigos (2016), tandis que la précision articulatoire continue de montrer une grande variabilité interindividuelle (Vick et al., 2012). Cette question pourrait dès lors être formulée : la coordination motrice orale (mesurée par les mouvements séquencés) évoluerait-elle en opposition de phase avec le perfectionnement de la parole selon des phases développementales

particulières, comme ça peut être le cas pour le vocabulaire (Iuzzini-Seigel et al., 2015), tout en continuant une ascension linéaire ? Pour être tout à fait honnête, il y a peu de chance que cette hypothèse soit réaliste puisqu'elle n'est pas corroborée par les résultats des DDK (qui pour rappel mesurent d'une autre manière la coordination motrice) ni par les résultats de Farias et al. (2006) qui ont étudié une relation chez des enfants d'âge comparable à notre population. En prenant du recul sur les données, nous pensons plutôt qu'il s'agit plus simplement d'une erreur de première espèce, dont le risque est important dans une étude exploratoire incluant de nombreux modèles comme celle-ci. Il serait nécessaire de répliquer les résultats pour le confirmer.

Dodd et McIntosh (2010, p. 1030) affirment que « (...) le développement des capacités motrices ne peut expliquer le développement typique de la parole ». D'une manière générale, nous pouvons conclure que nos résultats vont également en ce sens. Néanmoins d'autres pistes méritent d'être explorées. Déjà dans le cadre de la pathologie Redle et al. (2015) soumettent l'idée que les déficits moteurs pourraient être trop subtils (ou les mécanismes de compensation suffisamment efficaces) que pour être fonctionnellement perceptibles. Les HMO pourraient donc permettre d'identifier la nature d'un trouble (Rvachew & Brosseau-Lapré, 2018; Williams & Stackhouse, 2000) sans pour autant être liée aux la parole en production (Gadesmann & Miller, 2008). En suivant ce raisonnement, les tâches cliniques que nous avons utilisées pourraient se révéler insuffisantes pour mettre en évidence des relations. Cette hypothèse est corroborée par le fait que Vick et al. (2014) n'ont pas pu distinguer de trajectoires particulières par des mesures qui seraient typiquement employées en contexte clinique, mais uniquement par des mesures de laboratoire.



### *Habiletés somatosensorielles orale*

La sensibilité orale est une variable largement étudiée au regard de l'âge, mais les études cliniques concernent presque systématiquement le déclin observé entre l'âge adulte et la population vieillissante (Calhoun et al., 1992; Fukutake et al., 2019; Jacobs et al., 1998; Malandraki et al., 2011). Chez l'enfant, la méthode la plus employée est l'épreuve de stéréognosie orale (par exemple : Bakhtiyari et al., 2014; John et al., 2021; Lonegan, 1974). Dans cette étude, nous souhaitons isoler au maximum les HMO des HSO, c'est pourquoi nous nous sommes tournés vers d'autres méthodes. En plus de nécessiter une manipulation oromotrice, la stéréognosie requiert de la motivation et de bonnes capacités de rétention (Boliek et al., 2007), ce qui rend la tâche peu adaptée pour les enfants d'âge préscolaire.

Les résultats du complément à l'étude 2 permettent d'attester d'une évolution significative de la sensibilité tactile orale chez l'enfant, confirmant la sensibilité développementale des HSO (Bangcuyo & Simons, 2017; Calhoun et al., 1992). Nous n'avons pas connaissance de travaux ayant étudié le développement des HSO chez l'enfant sur base de la sensibilité tactile fine auxquels comparer ces résultats. Les trajectoires développementales ne se sont pas exprimées de la même manière en fonction des outils que nous avons utilisés. Les performances au monofilament ont mis en évidence une variabilité interindividuelle à 3 ans et tout au long du développement, tandis que le disque de deux points n'a montré aucune variabilité dans les performances entre les enfants. Cela rend le monofilament potentiellement plus discriminant (tel que c'est le cas chez l'adulte (Boliek et al., 2007)) puisque la variabilité des scores pourrait contribuer au pouvoir explicatif de cette mesure sur d'autres variables.

C'est d'ailleurs pour cette raison que nous avons choisi d'employer les scores au monofilament dans les modèles incluant le développement myofonctionnel et le développement de la parole. Le monofilament et le disque seraient sous-tendus par des mécanismes similaires (Boliek et al., 2007), ce qui semble être confirmé par la présence d'une corrélation observée entre les deux variables pour les mesures à tous les âges confondus.

Les résultats du complément à l'étude 2 montrent que la trajectoire des performances au monofilament ne permet pas de prédire la trajectoire des fonctions orofaciales. Ces résultats ne peuvent être directement comparés à la littérature existante au vu de l'absence de données incluant cette population et cette méthodologie particulière. Cependant, contrairement à nos résultats, certaines études avaient déjà montré un lien entre la fonction de mastication et les HSO chez l'enfant (Gisel & Schwob, 1988) ainsi que chez adulte (Hirano et al., 2004; Shupe et al., 2019), tandis que le rôle des HSO dans la déglutition est bien connu (Holland, 2020; Running, 2016). Il se pourrait que le fait d'avoir regroupé les fonctions orofaciales sous une dénomination commune ait participé à l'absence de liens. Il se pourrait également que les résultats ne se révèlent qu'au regard de la pathologie, puisque de plus en plus de données tendent en faveur d'un lien entre une sensibilité tactile orale et OMDs (Bergheim, 2019; Dahan et al., 2000; Fish, 1975; Koczorowski et al., 2012). On retrouve également cette absence de lien en ce qui concerne le développement de la parole. À nouveau, les résultats divergent avec le petit nombre de données accumulées en pathologie (Fucci et al., 1991; McNutt, 1977; Milbrandt, 1974; Mogren et al., 2022; Ringel et al., 1970; Ruscello & Lass, 1977; Wood & Smith, 1992), mais qui rappelons le

sont inconsistants (Kingston & Rosenthal, 1987; Lonegan, 1974; Madison & Fucci, 1971; Schliesser & Cary, 1973).

Les limites de l'outil de mesure peuvent être soulignées puisque la grande majorité des études qui évoquent des résultats significatifs emploient une épreuve de stéréognosie. À la suite d'une étude menée sur la mastication chez l'adulte, Engelen et al. (2004) émettent l'hypothèse que la sensibilité tactile fine serait moins représentative de la fonction de mastication que la stéréognosie. Ce pourrait être le cas pour l'ensemble des variables étudiées. Nous avons déjà abordé au cours de ce travail le fait que la sensibilité tactile ne représente qu'une partie des HSO. Les mécanismes sous-jacents spécifiques aux fonctions non verbales et de la parole pourraient davantage relever de processus proprioceptifs hautement automatisés et non conscientisés, ce qui est somme toute éloigné d'une épreuve de sensibilité tactile. Les mesures en laboratoire pourraient donc permettre d'y voir plus clair sur l'implication des HSO dans la parole. Dans les conditions cliniques, par opposition aux conditions de laboratoire, il est complexe de déterminer avec exactitude les mécanismes mis en jeu et des facteurs qui les influencent.

### **Interaction entre le développement myofonctionnel et le développement de la parole**

La trajectoire développementale myofonctionnelle ne permet pas de prédire directement le développement de la parole. L'hypothèse d'une médiation par les HSO et les HMO s'est également vue réfutée. Certaines pistes d'interprétation ont déjà été développées dans les paragraphes précédents, mais pour davantage de clarté, nous allons également les réintégrer dans les paragraphes suivants.

La première interprétation possible est qu'il n'existe tout simplement pas de lien entre le développement myofonctionnel et le développement de la parole comme le revendiquent clairement des auteurs tels que Maas (2017) et Ziegler (2003). Avant de parvenir à une telle conclusion, il est nécessaire de répliquer les résultats obtenus tout en considérant les pistes explicatives qui suivent.

D'une part, les concepts étudiés et les moyens utilisés pour les évaluer devraient idéalement faire l'objet d'une réflexion approfondie. Cela est particulièrement vrai pour les fonctions orofaciales non verbales, pour lesquelles l'état des connaissances reste limité dans cette tranche d'âge. Nous avons eu l'opportunité d'approfondir la question pour la fonction de respiration grâce au consensus international et à la validation clinique de l'ABPA. Il serait maintenant intéressant de mieux définir, par exemple, le concept de déglutition dysfonctionnelle et de développer de meilleurs outils d'évaluation. En effet, les méthodes d'observation de la déglutition que nous avons utilisées sont largement répandues, mais sont susceptibles de modifier les comportements habituels de l'enfant (Peng et al., 2003). De même, ces tâches sont de nature clinique. Par rapport à un objectif de recherche tel que le nôtre, elles pourraient ne pas être suffisamment spécifiques pour évaluer les mécanismes précis mis en jeu dans l'interaction. Des tâches très contrôlées en laboratoire pourraient fournir des preuves de relations motrices plus fines, mais pourraient ne pas être reproductibles au niveau clinique. Dans cette optique, le lien pourrait donc être tellement minime qu'il en ressortirait non significatif.

Si l'on poursuit avec cette hypothèse d'un lien réel, mais minime et non significatif, plusieurs facteurs explicatifs apparaissent comme pertinents. Premièrement, le lien pourrait ne pas s'exprimer dans une

population d'enfant tout-venant tout comme nous l'avons évoqué pour le lien entre les DDK et la parole. En effet, l'existence potentielle d'un lien entre les fonctions orofaciales non verbales et la parole sont généralement relevées chez l'enfant présentant une pathologie (voir Chapitre 4 pour une revue). Nous sommes intimement convaincue que l'étude d'une population pathologique pourrait amener des éclairages sur l'état actuel des connaissances. Ensuite, nous l'avons vu à travers la progression linéaire de l'ensemble des trajectoires développementales étudiées, le temps (donc l'âge de l'enfant) joue une part majeure dans l'explication du développement myofonctionnel et du développement de la parole. À tel point qu'il est tout à fait plausible que la part explicative de nos variables devienne insignifiante à cet égard. La part explicative du temps pourrait hypothétiquement être plus importante chez l'enfant plus jeune ; cela expliquerait pourquoi des résultats divergents ont parfois été observés chez des enfants plus jeunes (Lemarchand, 2018). Deuxièmement, malgré le fait que nous ayons contrôlé en amont d'importants facteurs tels que l'intelligence non verbale et le vocabulaire en production, les dimensions cognitives et linguistiques de la parole ont un rôle tel qu'elles pourraient diriger les actes somatosensoriels et moteurs (Nip et al., 2009) et leur laisser une part explicative négligeable de la trajectoire développementale. Cette part serait de ce fait trop subtile pour servir de médiateur entre la parole et les fonctions orofaciales non verbales. Le catalyseur de la précision articulatoire serait presque exclusivement cognitif et/ou linguistique durant cette période (Iuzzini-Seigel et al., 2015), malgré le fait qu'il est indéniable que le contrôle moteur de la parole soit toujours en plein essor (Green et al., 2000; Iuzzini-Seigel et al., 2015; Vick et al., 2012). Par ailleurs, cette explication n'implique pas le rejet d'un contrôle moteur commun dont

le fonctionnement s'exprime spécifiquement pour chaque tâche (Lancheros et al., 2020; Lof, 2003; Smith, 2010). Les fonctions orofaciales non verbales et la parole s'appuient indéniablement sur les systèmes somatosensoriels et moteurs au cours du développement, mais ces systèmes pourraient être spécifiques à une tâche (ex. : processus conscient et volontaire *versus* inconscient et automatique). Toujours dans cette vision, il se pourrait également que les relations n'existent qu'en fonction de certains aspects de la parole. Gruber (1999) a mis en évidence chez des enfants d'âge préscolaire une trajectoire développementale suivant une diminution des erreurs de substitution et d'omission, mais une augmentation des distorsions cliniques courantes. Ce sont par ailleurs ces enfants qui conservaient des erreurs résiduelles persistantes dans le temps (Gruber, 1999; Preston et al., 2013). Ces erreurs en particulier pourraient résulter d'un lien entre les fonctions orofaciales non verbales et la parole selon plusieurs auteurs (Mogren et al., 2020, 2022; Vallino & Tompson, 1993).

Enfin, nous souhaiterions mentionner une limite méthodologique susceptible d'avoir influencé nos résultats. Nous avons en effet utilisé un modèle basé sur des régressions. Or les régressions permettent de mettre en évidence le pourcentage de variance expliqué par la variable prédictive. Nous pouvons émettre l'hypothèse qu'en ayant des critères d'inclusion moins sévères (y compris des enfants présentant un trouble non pris en charge), nous aurions admis d'autant plus de variabilité, augmenté l'échantillon et favorisé la puissance des modèles. De cette façon, nous aurions pu réaliser des analyses de classes latentes pour faire ressortir les principales trajectoires développementales différentes, dont certaines pourraient exprimer des relations et d'autres non (Gruber, 1999 ; Vick et al. 2012, 2014).

## Conclusion

L'objectif principal de ce travail de thèse était d'explorer l'interaction potentielle entre la parole et les fonctions orofaciales non verbales par le biais des habiletés somatosensorielles et motrices au cours du développement typique. La mise en place d'une étude longitudinale pour répondre à cette hypothèse a avant tout mené à des réflexions méthodologiques qui pourront être un soutien aux futures recherches menées dans ce domaine de la logopédie/orthophonie. La récolte de données nous a permis d'explorer les performances de parole des enfants de 3 ans, révélant leur sensibilité aux caractéristiques phonético-phonologiques de la tâche de dénomination d'images employée. L'utilisation d'une mesure considérant la structure du mot (WWP) est prometteuse pour limiter l'impact des caractéristiques de la tâche sur les performances. Les résultats ont également mis en évidence la nécessité d'employer des normes spécifiques à la tâche utilisée. L'étude longitudinale a permis de décrire une évolution linéaire de la parole, des habiletés somatosensorielles et motrices orofaciales et des fonctions orofaciales non verbales. Notre étude confirme que l'âge préscolaire est une période critique au cours du développement de l'enfant, mais également que la parole est sujette à une très grande variabilité interindividuelle. Les résultats ne mettent pas en évidence de lien entre le développement myofonctionnel et le développement de la parole, qu'il soit direct ou médié par les habiletés somatosensorielles et motrices. Seuls les NSOMs séquencés montrent une évolution négative en relation avec une évolution positive des mesures de précision de la parole. Néanmoins, nous restons extrêmement prudente dans l'interprétation de ces résultats au vu du risque d'erreur statistique de première espèce. Plusieurs pistes interprétatives peuvent être dressées pour justifier cette absence de

relation entre les fonctions orofaciales non verbales et la parole : l'absence réelle de relation ; le choix de concepts généraux étudiés et la validité des outils qui les évaluent ; l'existence d'une relation qui peut ne pas être révélée chez l'enfant tout-venant ou durant cette tranche d'âge ; l'existence d'une relation subtile masquée par l'effet développemental et/ou masquée par l'influence des aspects linguistiques et/ou cognitifs sur la parole ; utilisation d'outils cliniques qui ne seraient pas suffisamment fins pour discriminer une relation subtile ; un contrôle moteur commun des fonctions orofaciales non verbales et de la parole, mais dont la fonctionnalité s'exprimerait différemment en fonction des tâches.

Cette étude longitudinale a également été le point de départ pour répondre à la problématique de la fiabilité des outils employés pour l'évaluation myofonctionnelle, en particulier de l'évaluation du mode de respiration. Le consensus international mené auprès de logopèdes/orthophonistes experts a permis d'identifier les critères essentiels pour déterminer le mode de respiration à l'éveil d'un enfant d'âge préscolaire. Grâce à ces informations, nous avons pu établir une grille clinique, appelée l'ABPA, puis la valider auprès d'une grande cohorte d'âge préscolaire. Cette grille s'est avérée être un bon outil pour confirmer le pattern respiratoire après un dépistage de première ligne.

À l'avenir, il serait intéressant de continuer à mieux définir les concepts qui sous-tendent les fonctions de respiration, déglutition et mastication. De meilleurs outils d'évaluation devraient idéalement être adaptés et validés chez la population d'âge préscolaire. Les données de parole francophone qui ont été récoltées pourraient être exploitées à de multiples égards, notamment pour renforcer nos connaissances



sur l'acquisition phonémique. Elles pourraient être enrichies des données issues de la pathologie pour permettre une meilleure identification et une meilleure prise en soin des enfants à risque de présenter un TDSP. Enfin, l'étude d'une population pathologique permettrait également de clarifier la potentielle relation clinique entre les fonctions orofaciales non verbales et la parole.

# RÉFÉRENCES

- Abbs, J. H., & Gracco, V. L. (1984). Control of complex motor gestures: Orofacial muscle responses to load perturbations of lip during speech. *Journal of Neurophysiology*, 51(4), 705–723. <https://doi.org/10.1152/jn.1984.51.4.705>
- Abreu, R. R., Rocha, R. L., Lamounier, J. A., & Guerra, Â. F. M. (2008a). Etiology, clinical manifestations and concurrent findings in mouth-breathing children. *Jornal de Pediatria*, 84(6), 529–535. <https://doi.org/10.2223/JPED.1844>
- Abreu, R. R., Rocha, R. L., Lamounier, J. A., & Guerra, Â. F. M. (2008b). Prevalence of mouth breathing among children. *Jornal de Pediatria*, 84(5), 467–470. <https://doi.org/10.2223/JPED.1806>
- Achmad, H., & Ansar, A. W. (2021). Mouth Breathing in Pediatric Population: A Literature Review. *Annals of R.S.C.B.*, 25(6), 4431–4455. <https://annalsofrscb.ro/index.php/journal/article/view/6275>
- Aicart-De Falco, S., & Vion, M. (1987). La mise en place du système phonologique du français chez des enfants entre trois et six ans : une étude de la production. *Cahiers de Psychologie Cognitive - Current Psychology of Cognition*, 7, 247–266. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00133459>
- Albaret, J.-M., & de Castelnau, P. (2009). Place des troubles de la motricité dans les troubles spécifiques du langage oral. *Développements*, 1(1), 5–13. <https://doi.org/10.3917/devel.001.0005>
- Alhaidary, A. (2021). Treatment of speech sound disorders in children: Nonspeech oral exercises. *International Journal of Pediatrics and Adolescent Medicine*, 8(1), 1–4. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijpam.2019.07.008>
- Almotairy, N., Kumar, A., Trulsson, M., & Grigoriadis, A. (2018).

Development of the jaw sensorimotor control and chewing - a systematic review. *Physiology & Behavior*, 194, 456–465. <https://doi.org/10.1016/J.PHYSBEH.2018.06.037>

Amayreh, M. M., & Dyson, A. T. (1998). The Acquisition of Arabic Consonants. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 41(3), 642–653. <https://doi.org/10.1044/jslhr.4103.642>

Andrada e Silva, M. A., Marchesan, I. Q., Ferreira, L. P., Schmidt, R., & Ramires, R. R. (2012). Posture, lips and tongue tone and mobility of mouth breathing children. *Revista CEFAC*, 14(5), 853–860.

Arvedson, J. C., Brodsky, L., & Lefton-Grief, M. (2019). *Pediatric swallowing and feeding: Assessment and management*. Plural publishing.

ASHA. (n.d.-a). *Childhood Apraxia of Speech (Practice Portal)*. <https://www.asha.org/Practice-Portal/Clinical-Topics/Childhood-Apraxia-of-Speech/>

ASHA. (n.d.-b). *Orofacial Myofunctional Disorders (Practice Portal)*. Retrieved March 17, 2022 from <https://www.asha.org/Practice-Portal/Clinical-Topics/Orofacial-Myofunctional-Disorders/>

ASHA. (n.d.-c). *Pediatric Feeding and Swallowing (Practice Portal)*. Retrieved April 28, 2022, from [https://www.asha.org/practice-portal/clinical-topics/pediatric-feeding-and-swallowing/#collapse\\_9](https://www.asha.org/practice-portal/clinical-topics/pediatric-feeding-and-swallowing/#collapse_9)

ASHA. (n.d.-d). *Speech Sound Disorders : Articulation and Phonology. (Practice portal)*. Retrieved May 23, 2022, from [www.asha.org/Practice-Portal/Clinical-Topics/Articulation-and-Phonology/](http://www.asha.org/Practice-Portal/Clinical-Topics/Articulation-and-Phonology/)

Avivi-Arber, L, & Sessle, B. J. (2018). Jaw sensorimotor control in

- healthy adults and effects of ageing. *Journal of Oral Rehabilitation*, 45(1), 50–80.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/joor.12554>
- Avivi-Arber, Limor, Martin, R., Lee, J. C., & Sessle, B. J. (2011). Face sensorimotor cortex and its neuroplasticity related to orofacial sensorimotor functions. *Archives of Oral Biology*, 56(12), 1440–1465. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2011.04.005>
- Ayano, R., Tamura, F., Ohtsuka, Y., & Mukai, Y. (2000). The development of normal feeding and swallowing: Showa University study of the feeding function. *International Journal of Orofacial Myology*, 26(1), 24–29. <https://doi.org/10.52010/ijom.2000.26.1.3>
- Aziz, A. A., Shohdi, S., Osman, D. M., & Habib, E. I. (2010). Childhood apraxia of speech and multiple phonological disorders in Cairo-Egyptian Arabic speaking children: Language, speech, and oromotor differences. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2010.02.003>
- Bain, B. A. (1994). A framework for dynamic assessment in phonology: stimulability revisited. *Clinics in Communication Disorders*, 4(1), 12–22. <http://europepmc.org/abstract/MED/8019548>
- Bakhtiyari, J., Dadgar, H., Sadolahi, A., & Khatoonabadi, A. R. (2014). Oral Stereognosis in Children With Cleft Palate and Normal Children. *Middle East Journal of Rehabilitation and Health*, 1(1), 4–6. <https://doi.org/10.17795/mejrh-20840>
- Bakke, M., Bergendal, B., McAllister, A., Sjögreen, L., & Asten, P. (2007). Development and evaluation of a comprehensive screening for orofacial dysfunction. *Swed Dent J*, 31(2), 75–84. <http://www.mun-h-center.se/siteassets/munhcenter/3-information-och-utbildning/4--not-s/not-s->

guidance\_eng\_161123.pdf

- Ballard, K. J., Robin, D. A., & Folkins, J. W. (2003). An integrative model of speech motor control: A response to Ziegler. *Aphasiology*, *17*(1), 37–48. <https://doi.org/10.1080/729254889>
- Bandyopadhyay, A., Kaneshiro, K., & Camacho, M. (2020). Effect of myofunctional therapy on children with obstructive sleep apnea: a meta-analysis. *Sleep Medicine*, *75*, 210–217. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sleep.2020.08.003>
- Bangcuyo, R. G., & Simons, C. T. (2017). Lingual tactile sensitivity: effect of age group, sex, and fungiform papillae density. *Experimental Brain Research*, *235*(9), 2679–2688. <https://doi.org/10.1007/s00221-017-5003-7>
- Barbier, G., Baum, S. R., Ménard, L., & Shiller, D. M. (2020). Sensorimotor adaptation across the speech production workspace in response to a palatal perturbation. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *147*(2), 1163–1178. <https://doi.org/10.1121/10.0000672>
- Barbier, G., Perrier, P., Payan, Y., Tiede, M. K., Gerber, S., Perkell, J. S., & Ménard, L. (2020). What anticipatory coarticulation in children tells us about speech motor control maturity. *PLOS ONE*, *15*(4), e0231484. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231484>
- Barbiero, E. F., Vanderlei, L. C. M., Nascimento, P. C., Costa, M. M., & Scalabrin, N. a. (2007). Influence of respiratory biofeedback associated with a quiet breathing pattern on the pulmonary function and habits of functional mouth breathers. *Revista Brasileira De Fisioterapia*, *11*(5), 347–353.
- Barlow, S. M., Finan, D. S., Bradford, P. T., & Andreatta, R. D. (1993). Transitional properties of the mechanically evoked perioral reflex

from infancy through adulthood. *Brain Research*, 623(2), 181–188. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0006-8993\(93\)91425-R](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0006-8993(93)91425-R)

Barlow, S. M., Radder, J. P. L., Radder, M. E., & Radder, A. K. (2010). Central pattern generators for orofacial movements and speech. In S. M. Brudzynski (Ed.), *Handbook of Behavioral Neuroscience* (Vol. 19, Issue C, pp. 351–369). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374593-4.00033-4>

Bartley, J. (2013). Nasal influences on breathing. In *Recognizing and Treating Breathing Disorders: A Multidisciplinary Approach* (2<sup>nd</sup> ed., pp. 45–50). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7020-4980-4.00004-6>

Bearzotti, F., Tavano, A., & Fabbro, F. (2007). Development of orofacial praxis of children from 4 to 8 years of age. *Perceptual and Motor Skills*, 104(3 II), 1355–1366. <https://doi.org/10.2466/PMS.104.4.1355-1366>

Begnoni, G., de Llano-Pérula, M. C., Dellavia, C., & Willems, G. (2020). Cephalometric traits in children and adolescents with and without atypical swallowing: A retrospective study. *European Journal of Paediatric Dentistry*, 21(1), 46–52. <https://doi.org/10.23804/ejpd.2020.21.01.09>

Belke, E., Brysbaert, M., Meyer, A. S., & Ghyselinck, M. (2005). Age of acquisition effects in picture naming: evidence for a lexical-semantic competition hypothesis. *Cognition*, 96(2), B45–B54. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cognition.2004.11.006>

Bergelson, E., & Swingle, D. (2012). At 6-9 months, human infants know the meanings of many common nouns. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*,

109(9), 3253–3258. <https://doi.org/10.1073/pnas.1113380109>

Bergendal, B., Bakke, M., McAllister, A., Sjögreen, L., & Åsten, P. (2014). Profiles of orofacial dysfunction in different diagnostic groups using the Nordic Orofacial Test (NOT-S) - a review. In *Acta odontologica Scandinavica*, 72(8), 578–584. <https://doi.org/10.3109/00016357.2014.942874>

Bergeson, P. S., & Shaw, J. C. (2001). Are Infants Really Obligatory Nasal Breathers? *Clinical Pediatrics*, 40, 567–569. <https://doi.org/10.1177/0009922801040010>

Bergheim, S. (2019). *Untersuchung des Zusammenhanges zwischen orofazialen Dysfunktionen (OFD) im Kindesalter und dem somatosensorischen System* [Thèse de doctorat, University of Berlin]. <https://refubium.fu-berlin.de/handle/fub188/25525>

Bernhardt, B., & Stoel-Gammon, C. (1994). Nonlinear phonology: Introduction and clinical application. *Journal of Speech and Hearing Research*, 37(1), 123–143. <https://doi.org/10.1044/jshr.3701.123>

Bertagnolli, A. P. C., Gubiani, M. B., Ceron, M., & Keske-Soares, M. (2015). Orofacial Praxis Abilities in Children with Speech Disorders. *International Archives of Otorhinolaryngology*, 19(4), 286–292. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1551550>

Bérubé, D., Bernhardt, B. M., & Stemberger, J. P. (2013). Un test de phonologie du Français: Construction et utilisation. *Canadian Journal of Speech-Language Pathology and Audiology*, 37(1), 26–40.

Bérubé, D., Bernhardt, B. M., Stemberger, J. P., & Ciocca, V. (2020). Development of singleton consonants in French-speaking children with typical versus protracted phonological development:



- The influence of word length, word shape and stress. *International Journal of Speech-Language Pathology*, 22(6), 637–647. <https://doi.org/10.1080/17549507.2020.1829706>
- Bérubé, D., & Macleod, A. A. N. (2022). A comparison of two phonological screening tools for French-speaking children. *International Journal of Speech-Language Pathology*, 24(1), 22–32. <https://doi.org/10.1080/17549507.2021.1936174>
- Best, C. T., Goldstein, L. M., Nam, H., & Tyler, M. D. (2016). Articulating What Infants Attune to in Native Speech. *Ecological Psychology*, 28(4), 216–261. <https://doi.org/10.1080/10407413.2016.1230372>
- Bhatia, T. K., & Ritchie, W. C. (2006). *The Handbook of Bilingualism*. Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470756997>
- Billings, M., Gatto, K., D’Onofrio, L., Merkel-Walsh, R., & Archambault, N. (2018). *Orofacial Myofunctional Disorders*. <http://iaom.com/wp-content/uploads/2018/10/OMD-Overview-IAOM.pdf>
- Bishop, D. V. M. (2017). Why is it so hard to reach agreement on terminology? The case of developmental language disorder (DLD). *International Journal of Language & Communication Disorders*, 52(6), 671–680. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1460-6984.12335>
- Boliek, C. A., Rieger, J. M., Li, S. Y. Y., Mohamed, Z., Kickham, J., & Amundsen, K. (2007). Establishing a reliable protocol to measure tongue sensation. *Journal of Oral Rehabilitation*, 34(6), 433–441. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.2007.01735.x>
- Bond, Z. S., & Korte, S. (1983). Consonant Clusters in Children’s Spontaneous and Imitative Speech. *Phonetica*, 40(3), 238–246. <https://doi.org/10.1159/000261693>

- Bono, D., Belyk, M., Longo, M. R., & Dick, F. (2022). Neuroscience and Biobehavioral Reviews Beyond language : The unspoken sensory-motor representation of the tongue in non-primates , non-human and human primates. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 139(104730), 1-23. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2022.104730>
- Borox, T., Leite, A. P. D., Bagarollo, M. F., Alencar, B. L. F. de, & Czlusniak, G. R. (2018). Speech production assessment of mouth breathing children with hypertrophy of palatines and/or pharyngeal tonsils. *Revista CEFAC*, 20(4), 468–477. <https://doi.org/10.1590/1982-021620182043118>
- Bradford, A., Murdoch, B., Thompson, E., & Stokes, P. (1997). Lip and tongue function in children with developmental speech disorders: A preliminary investigation. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 11(5), 363–387. <https://doi.org/10.1080/02699209708985201>
- Bridget, W., & Anne, S. (2002). Articulatory Movements in Adolescents. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 45(6), 1119–1133. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2002/090\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2002/090))
- Brosseau-Lapré, F. (2013). *Underlying and surface manifestations of developmental phonological disorder in French-speaking preschoolers aged 4 to 6 years* [Thèse de doctorat, McGill University]. <https://escholarship.mcgill.ca/concern/theses/2b88qg54h>
- Brosseau-Lapré, F., Rvachew, S., Macleod, A. A. N., Findlay, K., Bérubé, D., & Bernhardt, B. M. (2018). Une vue d'ensemble : les données probantes sur le développement phonologique des enfants francophones canadiens An Overview of Data on the Phonological Development of French-Speaking Canadian

- Children. In *Canadian Journal of Speech-Language Pathology and Audiology (CJSLPA)*, 42(1), 1–19.
- Browman, C. P., & Goldstein, L. (1992). Articulatory Phonology: An Overview. *Phonetica*, 49(3–4), 155–180. <https://doi.org/10.1159/000261913>
- Bruderer, A. G., Danielson, D. K., Kandhadai, P., & Werker, J. F. (2015). Sensorimotor influences on speech perception in infancy. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(44), 13531–13536. <https://doi.org/10.1073/pnas.1508631112>
- Brumbach, A. C. D., & Goffman, L. (2014). Interaction of Language Processing and Motor Skill in Children With Specific Language Impairment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 57(1), 158–171. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2013/12-0215\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2013/12-0215))
- Burrows, L., & Goldstein, B. A. (2010). Whole word measures in bilingual children with speech sound disorders. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 24(4–5), 357–368. <https://doi.org/10.3109/02699200903581067>
- Calhoun, K. H., Gibson, B., Hartley, L., Minton, J., & Hokanson, J. A. (1992). Age-Related Changes in Oral Sensation. *The Laryngoscope*, 102(2), 109–116. <https://doi.org/10.1288/00005537-199202000-00001>
- Canning, B. A., & Rose, M. F. (1974). Clinical Measurements of the Speed of Tongue and Lip Movements in British Children with Normal Speech. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 9(1), 45–50. <https://doi.org/10.3109/13682827409011607>
- Capra, N. F. (1995). Mechanisms of oral sensation. *Dysphagia*, 10(4),

235–247. <https://doi.org/10.1007/BF00431416>

- Cattaneo, L., & Pavesi, G. (2014). The facial motor system. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 38, 135-159. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.11.002>
- Chantry, L. (2021). *Etude de la relation entre les fonctions orofaciales non-verbales et les propriétés somatosensorielles et motrices orofaciales chez les enfants d'âge préscolaire* [Mémoire de master, Université de Liège]. <http://hdl.handle.net/2268.2/12268>
- Chapuis-Vandenbogaerde, C., & Gatignol, P. (2021). *Troubles oro-myofonctionnels chez l'enfant et l'adulte*. De Boeck Supérieur.
- Chen, J., Wan, J., & You, L. (2018). Speech and orthodontic appliances: a systematic literature review. *European Journal of Orthodontics*, 40(1), 29–36. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjx023>
- Cheng, H. Y., Murdoch, B. E., Goozée, J. V., & Scott, D. (2007). Physiologic Development of Tongue–Jaw Coordination From Childhood to Adulthood. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 50(2), 352–360. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2007/025\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2007/025))
- Chevrie-Müller, C., & Plaza, M. (2001). *Nouvelles Epreuves pour l'Examen du Langage (N- EEL)*. Pearson.
- Chevrie-Müller, C., Simon, A.-M., Le Normand, M.-T., & Fournier, S. (1988). *Batterie d'évaluation psycholinguistique : BEPL*. Paris : Centre de Psychologie Appliquée.
- Choi, D., Bruderer, A. G., & Werker, J. F. (2019). Sensorimotor influences on speech perception in pre-babbling infants: Replication and extension of Bruderer et al. (2015). *Psychonomic Bulletin and Review*, 26(4), 1388–1399. <https://doi.org/10.3758/s13423-019-01601-0>

- Chu, S. Y., Lee, J., Barlow, S. M., Ben-David, B., Lim, K. X., & Foong, J. H. (2021). Oral-diadochokinetic rates among healthy Malaysian-Mandarin speakers: A cross linguistic comparison. *International Journal of Speech-Language Pathology*, 23(4), 419–429. <https://doi.org/10.1080/17549507.2020.1808701>
- Clarke, J. D. (2020). *Development of speech motor control for language: motor analysis from phonetic transcripts* [Thèse de doctorat, Rutgers, The State University of New Jersey]. <https://doi.org/10.7282/T3-QP1Y-PX13>
- Colletti, E. A., Geffner, D., & Schlanger, P. (1976). Oral Stereognostic Ability among Tongue Thrusters with Interdental Lisp, Tongue Thrusters without Interdental Lisp and Normal Children. *Perceptual and Motor Skills*, 42(1), 259–268. <https://doi.org/10.2466/pms.1976.42.1.259>
- Connaghan, K. P., Moore, C. A., & Higashakawa, M. (2004). Respiratory Kinematics During Vocalization and Nonspeech Respiration in Children From 9 to 48 Months. *Journal of Speech Language and Hearing Research*, 47(1), 70. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2004/007\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2004/007))
- Conti, P. B. M., Sakano, E., Ribeiro, M. Â. G. D. O., Schivinski, C. I. S., & Ribeiro, J. D. (2011). Assessment of the body posture of mouth-breathing children and adolescents. *Jornal de Pediatria*, 87(4), 357–363. <https://doi.org/10.2223/JPED.2102>
- Coplan, J., & Gleason, J. R. (1988). Unclear speech: recognition and significance of unintelligible speech in preschool children. *Pediatrics*, 82(3 Pt 2), 447–452. <http://europepmc.org/abstract/MED/3405680>
- Coquet, F. (2017). Retard et trouble du langage oral... si on en parlait

en termes d'oralité(s)? *Rééducation Orthophonique*, 54(271), 67–92.

Coquet, F., Ferrand, P., & Roustit, J. (2009). *ÉVALO 2-6*. Ortho Éditions.

Coquet, F., Roustit, J., & Jeunier, B. (2007). La Batterie Evalo 2-6. Évaluation du langage oral et des comportements non verbaux du jeune enfant. *Rééducation Orthophonique*, (45)231, 203–226.

Couly, G. (2017). L'oralité foetale, fondement du langage. *Rééducation Orthophonique*, 54(271), 13–28.

Cree, B. A. C. (2014). Sensory System; Overview. In *Encyclopedia of the Neurological Sciences* (pp. 134–141). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385157-4.00695-3>

Cycowicz, Y. M., Friedman, D., Rothstein, M., & Snodgrass, J. G. (1997). Picture naming by young children: norms for name agreement, familiarity, and visual complexity. *Journal of Experimental Child Psychology*, 65(2), 171–237. <https://doi.org/https://doi.org/10.1006/jecp.1996.2356>

D'Ascanio, L., Lancione, C., Pompa, G., Rebuffini, E., Mansi, N., & Manzini, M. (2010). Craniofacial growth in children with nasal septum deviation: A cephalometric comparative study. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 74(10), 1180–1183.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2010.07.010>

Dahan, J. S., Lelong, O., Celant, S., & Leysen, V. (2000). Oral perception in tongue thrust and other oral habits. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 118(4), 385–391. <https://doi.org/10.1067/mod.2000.109101>

Darian-Smith, I. (1973). The trigeminal system. In A. Iggo (Ed.),

*Somatosensory System. Handbook of Sensory Physiology volume 2* (pp. 271–314). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-65438-1\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-642-65438-1_10)

Davenport, M., & Hannahs, S. J. (2010). *Introducing phonetics and phonology : third edition*. Hodder education.

Davies, S., & Misra, U. (2014). Respiration: ventilation. *Anaesthesia & Intensive Care Medicine*, 15(11), 544–546. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mpaic.2014.08.013>

Davis, B. L., & MacNeilage, P. F. (1995). The Articulatory Basis of Babbling. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 38(6), 1199–1211. <https://doi.org/10.1044/jshr.3806.1199>

de Felício, C. M., & Ferreira, C. L. P. (2008). Protocol of orofacial myofunctional evaluation with scores. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 72(3), 367–375. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2007.11.012>

de Felício, C. M., Folha, G. A., Ferreira, C. L. P., & Medeiros, A. P. M. (2010). Expanded protocol of orofacial myofunctional evaluation with scores: Validity and reliability. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 74(11), 1230–1239. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2010.07.021>

de Felício, C. M., Folha, G. A., Gaido, A. S., Dantas, M., & de Azevedo-Marques, P. (2014). Computerized protocol of orofacial myofunctional evaluation with scores: usability and validity. *CoDAS*, 2(4), 322–327. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2010.07.021>

de Felício, C. M., Lima, M. do R. F., Medeiros, A. P. M., & Ferreira, J. T. L. (2017). Orofacial Myofunctional Evaluation Protocol for older people: validity, psychometric properties, and association with

oral health and age. *CoDAS*. <https://doi.org/10.1590/2317-1782/20172017042>

de Felício, C. M., Medeiros, A. P. M., & De Oliveira Melchior, M. (2012). Validity of the “protocol of oro-facial myofunctional evaluation with scores” for young and adult subjects. *Journal of Oral Rehabilitation*, 39(10), 744–753. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.2012.02336.x>

de Lima, A. C. D., Da Cunha, D. A., Albuquerque, R. C., Costa, R. N. A., & Da Silva, H. J. (2019). Sensory changes in mouth breathers: Systematic review based on the prisma method. *Revista Paulista de Pediatria*, 37(1), 97–103. <https://doi.org/10.1590/1984-0462/2019;37;1;00012>

de Mattos, F. M. G. F. (2018). Orofacial myofunctional characteristics of oral and oronasal breathers. *Revista CEFAC*, 20(4), 459–467. <https://doi.org/10.1590/1982-021620182042818>

De Menezes, V. A., Leal, R. B., Pessoa, R. S., & Pontes, R. M. E. S. (2006). Prevalence and factors related to mouth breathing in school children at the Santo Amaro project-Recife, 2005. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 72(3), 394–398. [https://doi.org/10.1016/s1808-8694\(15\)30975-7](https://doi.org/10.1016/s1808-8694(15)30975-7)

Delaney, A. L. (2010). *Oral-motor Movement Patterns in Feeding Development* [Thèse de doctorat, University of Wisconsin-Madison]. [https://www.researchgate.net/profile/Amy-Delaney-2/publication/236849815\\_Oral-motor\\_Movement\\_Patterns\\_in\\_Feeding\\_Development/links/00b49519649b9445a3000000/Oral-motor-Movement-Patterns-in-Feeding-Development.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Amy-Delaney-2/publication/236849815_Oral-motor_Movement_Patterns_in_Feeding_Development/links/00b49519649b9445a3000000/Oral-motor-Movement-Patterns-in-Feeding-Development.pdf)

Delaney, A. L., & Arvedson, J. C. (2008). Development of swallowing



- and feeding: Prenatal through first year of life. *Developmental Disabilities Research Reviews*, 14(2), 105–117.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ddrr.16>
- Demuth, K., & Johnson, M. (2003). Truncation to subminimal words in early French. *Canadian Journal of Linguistics*, 48(3–4), 211–241.  
<https://doi.org/10.1017/s0008413100000657>
- Demuth, K., & Kehoe, M. (2006). The acquisition of word-final clusters in French. *Catalan Journal of Linguistics*, 5, 59–81.  
<https://doi.org/10.5565/rev/catjl.79>
- Demuth, K., & McCullough, E. (2009). The longitudinal development of clusters in French. *Journal of Child Language*, 36(2), 425–448.  
<https://doi.org/10.1017/S0305000908008994>
- Di Fazio, D., Lombardo, L., Gracco, A., D'Amico, P., & Siciliani, G. (2011). Lip pressure at rest and during function in 2 groups of patients with different occlusions. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 139(1), e1–e6.  
<https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2010.02.030>
- Dodd, B. (2014). Differential Diagnosis of Pediatric Speech Sound Disorder. *Current Developmental Disorders Reports*, 1(3), 189–196. <https://doi.org/10.1007/s40474-014-0017-3>
- Dodd, B., Holm, A., Hua, Z., & Crosbie, S. (2003). Phonological development: a normative study of British English-speaking children. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 17(8), 617–643.  
<https://doi.org/10.1080/0269920031000111348>
- Dodd, B., & McIntosh, B. (2010). Two-year-old phonology: impact of input, motor and cognitive abilities on development. *Journal of Child Language*, 37(5), 1027–1046.  
<https://doi.org/10.1017/S0305000909990171>

- Dodd, B., Reilly, S., Ttofari Eecen, K., & Morgan, A. T. (2018). Articulation or phonology? Evidence from longitudinal error data. *Clinical Linguistics and Phonetics*, 32(11), 1027–1041. <https://doi.org/10.1080/02699206.2018.1488994>
- Dos Santos, C. (2007). *Développement phonologique en français langue maternelle : une étude de cas* [Thèse de doctorat, Université Lumière Lyon 2]. <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-03752459>
- Dubner, R., Sessle, B., & Storey, A. (1978). *The neural basis of oral and facial function*. Plenum Press.
- Elad, D., Wolf, M., & Keck, T. (2008). Air-conditioning in the human nasal cavity. *Respiratory Physiology and Neurobiology*, 163(1–3), 121–127. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2008.05.002>
- Engelen, L., Van Der Bilt, A., & Bosman, F. (2004). Relationship between oral sensitivity and masticatory performance. *Journal of Dental Research*, 83(5), 388–392. <https://doi.org/10.1177/154405910408300507>
- Esling, J. H. (2012). The Articulatory Function of the Larynx and the Origins of Speech. *Annual Meeting of the Berkeley Linguistics Society*, 38(1), 121–149. <https://doi.org/10.3765/bls.v38i0.3325>
- Ettala-Ylitalo, U. M., & Laine, T. (1991). Functional disturbances of the masticatory system in relation to articulatory disorders of speech in a group of 6-8-year-old children. *Archives of Oral Biology*, 36(3), 189–194. [https://doi.org/10.1016/0003-9969\(91\)90085-9](https://doi.org/10.1016/0003-9969(91)90085-9)
- Fabiano-Smith, L. (2019). Standardized Tests and the Diagnosis of Speech Sound Disorders. *Perspectives of the ASHA Special Interest Groups*, 4(1), 58–66. [https://doi.org/10.1044/2018\\_PERS-SIG1-2018-0018](https://doi.org/10.1044/2018_PERS-SIG1-2018-0018)

- Farias, S. R. De, Regina, C., Ávila, B. De, & Vieira, M. M. (2006). Relationship between speech, tonus and non-verbal praxis of the stomatognathic system in preschoolers. *Pró-Fono Revista de Atualização Científica*, 18(3), 267–276. <https://doi.org/10.1590/S0104-56872006000300006>
- Farias Gomes, S. G., Custodio, W., Moura Jufer, J. S., del bel Cury, A. A., & Rodrigues Garcia, R. C. M. (2010). Correlation of mastication and masticatory movements and effect of chewing side preference. *Brazilian Dental Journal*, 21(4), 351–355. <https://doi.org/10.1590/s0103-64402010000400011>
- Fatemi Syada, S., Zarifian, T., Modarresi, Y., Zahedi, M. S., Ebrahimipour, M., & Biglarian, A. (2018). Percentage of Consonants Correct for 3-5 Years Old Kurdish-Speaking Children With Middle Kurmanji-Mukryani Dialect. *Iranian Rehabilitation Journal*, 16(2), 155–162. <https://doi.org/10.32598/irj.16.2.155>
- Felcar, J. M., Bueno, I. R., Massan, A. C. S., Torezan, R. P., & Cardoso, J. R. (2010). Prevalence of mouth breathing in children from an elementary school. *Ciência & Saúde Coletiva*, 15(2), 437,444. <http://www.scielo.br/pdf/csc/v15n2/v15n2a20.pdf>
- Feng, Y., Gracco, V. L., & Max, L. (2011). Integration of auditory and somatosensory error signals in the neural control of speech movements. *Journal of Neurophysiology*, 106(2), 667–679. <https://doi.org/10.1152/jn.00638.2010>
- Fenson, L., Marchman, V. A., Thal, D. J., Dale, P. S., Reznick, J. S., & Bates, E. (2007). *The MacArthur-Bates Communicative Development Inventories user's guide and technical manual* (2nd ed.). Paul H. Brookes.
- Fey, M. E. (1992). Articulation and Phonology. *Language, Speech, and*

- Hearing Services in Schools*, 23(3), 225–232.  
<https://doi.org/10.1044/0161-1461.2303.225>
- Fish, L. C. (1975). Oral form discrimination and tongue-thrust swallowing. *International Journal of Orofacial Myology*, 1(1), 5–20. <https://doi.org/https://doi.org/10.52010/ijom.1975.1.1.4>
- Fisher, J. T., Mortola, J. P., Smith, J. B., & Weeks, S. (1982). Respiration in newborns: development of the control of breathing. *American Review of Respiratory Disease*, 125(6), 650–657.
- Flipsen, P. (2006). Measuring the intelligibility of conversational speech in children. *Clinical Linguistics and Phonetics*, 20(4), 303–312. <https://doi.org/10.1080/02699200400024863>
- Fogel, M. L., & Stranc, M. F. (1984). Lip function: a study of normal lip parameters. *British Journal of Plastic Surgery*, 37(4), 542–549. [https://doi.org/10.1016/0007-1226\(84\)90147-4](https://doi.org/10.1016/0007-1226(84)90147-4)
- Folha, G. A., & Felício, C. M. de. (2009). Relationship between age, percentage of consonants correct and speech rate. *Pro-Fono*, 21(1), 39–45. <https://doi.org/10.1590/s0104-56872009000100007>
- Fowler, C. A., & Saltzman, E. (1993). Coordination and Coarticulation in Speech Production. *Language and Speech*, 36(2–3), 171–195. <https://doi.org/10.1177/002383099303600304>
- Fraga, W. S., Seixas, V. M., Santos, J. C., Paranhos, L. R., & César, C. P. (2018). Mouth breathing in children and its impact in dental malocclusion: a systematic review of observational studies. *Minerva Stomatologica*, 67(3), 129–138. <https://doi.org/10.23736/s0026-4970.18.04015-3>
- Fucci, D., Petrosino, L., Underwood, G., & Clark, K. (1991). Differences in Lingual Vibrotactile Threshold Shifts during

- Magnitude-Estimation Scaling between Normal-Speaking Children and Children with Articulation Problems. *Perceptual and Motor Skills*, 75(2), 495–504. <https://doi.org/10.2466/pms.1992.75.2.495>
- Fujimoto, S., Yamaguchi, K., & Gunjigake, K. (2009). Clinical estimation of mouth breathing. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 136(5), 630.e1-630.e7. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2009.03.034>
- Fukutake, M., Ogawa, T., Ikebe, K., Mihara, Y., Inomata, C., Takeshita, H., Matsuda, K., Hatta, K., Gondo, Y., Masui, Y., Inagaki, H., Arai, Y., Kamide, K., Ishizaki, T., & Maeda, Y. (2019). Impact of cognitive function on oral perception in independently living older people. *Clinical Oral Investigations*, 23(1), 267–271. <https://doi.org/10.1007/s00784-018-2433-y>
- Gadesmann, M., & Miller, N. (2008). Reliability of speech diadochokinetic test measurement. *International Journal of Language and Communication Disorders*, 43(1), 41–54. <https://doi.org/10.1080/13682820701234444>
- Gaige, T. A., Benner, T., Wang, R., Wedeen, V. J., & Gilbert, R. J. (2007). Three dimensional myoarchitecture of the human tongue determined in vivo by diffusion tensor imaging with tractography. In *Journal of Magnetic Resonance Imaging* (Vol. 26, Issue 3, pp. 654–661). <https://doi.org/10.1002/jmri.21022>
- Gatignol, P., Lannadère, E., & Picard, D. (2020). Rééducation des paralysies faciales périphériques. In V. Darrouzt, F. Disant, & F. Tankéré (Eds.), *Le nerf facial: de la paralysie faciale à la réhabilitation rapport SFORL 2020* (pp. 292–304). Elsevier Masson.

- Gatignol, P., Picard-Dubois, D., & Lannadere, E. (2021). Syndrome de Moebius et prise en charge. In C. Chapuis-Vandenbogaerde & P. Gatignol (Eds.), *Troubles oro-myofonctionnels chez l'enfant et l'adulte* (pp. 123–132). De Boeck Supérieur.
- Gauda, E. B., & Martin, R. J. (2018). Control of Breathing. In *Avery's Diseases of the Newborn: Tenth Edition* (pp. 600-617.e4). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-40139-5.00043-7>
- Ghosh, S. S., Matthies, M. L., Maas, E., Hanson, A., Tiede, M., Ménard, L., Guenther, F. H., Lane, H., & Perkell, J. S. (2010). An investigation of the relation between sibilant production and somatosensory and auditory acuity. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *128*(5), 3079–3087. <https://doi.org/10.1121/1.3493430>
- Gibbon, F. E. (1999). Undifferentiated lingual gestures in children with articulation/phonological disorders. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *42*(2), 382–397. <https://doi.org/10.1044/jslhr.4202.382>
- Gibbon, F. E. (2002). Features of Impaired Tongue Control in Children with Phonological Disorder. In F. Windsor, L. L. Kelly, & N. Hawlett (Eds.), *Investigations in clinical phonetics and linguistics* (pp. 315–326). Psychology Press.
- Gierut, J. A., & Hulse, L. E. (2010). Evidence-based practice: A matrix for predicting phonological generalization. *Clinical Linguistics & Phonetics*, *24*(4–5), 323–334. <https://doi.org/10.3109/02699200903532490>
- Gisel, E. G., Alphonse, E., & Ramsay, M. (2000). Assessment of ingestive and oral praxis skills: Children with cerebral palsy vs. controls. *Dysphagia*, *15*(4), 236–244.

<https://doi.org/10.1007/s004550000033>

Gisel, Erika G, & Schwob, H. (1988). Relation between an Oral Form Discrimination Task and Chewing Behavior in Normal 5- to 8-Year-Old Children. *The Occupational Therapy Journal of Research*, 8(4), 211–223.  
<https://doi.org/10.1177/153944928800800402>

Glaspey, A., & Stoel-Gammon, C. (2007). A dynamic approach to phonological assessment. *Advances in Speech Language Pathology*, 9(4), 286–296.  
<https://doi.org/10.1080/14417040701435418>

Glaspey, A. M., & MacLeod, A. A. N. (2010). A multi-dimensional approach to gradient change in phonological acquisition: A case study of disordered speech development. *Clinical Linguistics and Phonetics*, 24(4–5), 283–299.  
<https://doi.org/10.3109/02699200903581091>

Glaspey, A. M., Wilson, J. J., Reeder, J. D., Tseng, W. C., & MacLeod, A. A. N. (2022). Moving Beyond Single Word Acquisition of Speech Sounds to Connected Speech Development With Dynamic Assessment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 65(2), 508–524.  
[https://doi.org/10.1044/2021\\_JSLHR-21-00188](https://doi.org/10.1044/2021_JSLHR-21-00188)

Goday, P. S., Huh, S. Y., Silverman, A., Lukens, C. T., Dodrill, P., Cohen, S. S., Delaney, A. L., Feuling, M. B., Noel, R. J., Gisel, E., Kenzer, A., Kessler, D. B., Kraus De Camargo, O., Browne, J., & Phalen, J. A. (2019). Pediatric Feeding Disorder: Consensus Definition and Conceptual Framework. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 68(1), 124–129.  
<https://doi.org/10.1097/MPG.0000000000002188>

- Goldstein, B., Fabiano, L., & Iglesias, A. (2004). Spontaneous and Imitated Productions in Spanish-Speaking Children with Phonological Disorders. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools, 35*(1), 5–15. [https://doi.org/10.1044/0161-1461\(2004/002\)](https://doi.org/10.1044/0161-1461(2004/002))
- Graber, T. M. (1963). The “three M’s”: Muscles, malformation, and malocclusion. *American Journal of Orthodontics, 49*(6), 418–450. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(63\)90167-2](https://doi.org/10.1016/0002-9416(63)90167-2)
- Green, J. R., Moore, C. A., Higashikawa, M., & Steeve, R. W. (2000). The Physiologic Development of Speech Motor Control: Lip and Jaw Coordination. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 43*(1), 239–255. <https://doi.org/10.1044/jslhr.4301.239>
- Green, J. R., Moore, C. A., & Reilly, K. J. (2002). The Sequential Development of Jaw and Lip Control for Speech. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 45*(1), 66–79. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2002/005\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2002/005))
- Green, J. R., Moore, C. A., Ruark, J. L., Rodda, P. R., Morvée, W. T., & Vanwitszenburg, M. J. (1997). Development of Chewing in Children From 12 to 48 Months: Longitudinal Study of EMG Patterns. *Journal of Neurophysiology, 77*(5), 2704–2716. <https://doi.org/10.1152/jn.1997.77.5.2704>
- Grigos, M. I. (2016). Speech Sound Disorders: What’s Motor Got To Do With It? *Perspectives of the ASHA Special Interest Groups, 1*(1), 75–87. <https://doi.org/10.1044/persp1.sig1.75>
- Grigos, M. I., Moss, A., & Lu, Y. (2015). Oral Articulatory Control in Childhood Apraxia of Speech. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 58*(4), 1103–1118. [https://doi.org/10.1044/2015\\_JSLHR-S-13-0221](https://doi.org/10.1044/2015_JSLHR-S-13-0221)



- Gruber, F. A. (1999). Probability estimates and paths to consonant normalization in children with speech delay. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 42*, 448–459. <https://doi.org/1092-4388/99/4202-0448>
- Grunwell, P. (1981). The development of phonology: a descriptive profile. *First Language, 2*(6), 161–191. <https://doi.org/10.1177/014272378100200601>
- Gubiani, M., Ceron, M., & Keske-Soares, M. (2012). Relationship between the severity of speech impairment and skills orofacial practice. *International Archives of Otorhinolaryngology, 16*(Suppl 1), 32. <https://doi.org/10.7162/s1809-9777201200s1f-033>
- Guilleminault, C., & Huang, Y. S. (2017). From oral facial dysfunction to dysmorphism and the onset of pediatric OSA. *Sleep Medicine Reviews, 40*, 203–214. <https://doi.org/10.1016/j.smr.2017.06.008>
- Haggard, P., & de Boer, L. (2014). Oral somatosensory awareness. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 47*, 469–484. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.09.015>
- Hale, S., Kellum, G. D., Richardson, J. F., Messer, S. C., Gross, A. M., & Sisakun, S. (1992). Oral Motor Control, Posturing, and Myofunctional Variables in 8-Year-Olds. *Journal of Speech & Hearing Research, 35*(6), 1203. [https://doi.org/10.20595/jjbf.19.0\\_3](https://doi.org/10.20595/jjbf.19.0_3)
- Haralur, S. B., Majeed, M. I., Chaturvedi, S., Alqahtani, N. M., & Alfarsi, M. (2019). Association between preferred chewing side and dynamic occlusal parameters. *Journal of International Medical Research, 47*(5), 1908–1915. <https://doi.org/10.1177/0300060519827165>

- Hardcastle, W. J., & Hewlett, N. (2006). *Coarticulation: Theory, Data and Techniques*. Cambridge University Press.
- Helloin, M.-C., & Thibault, M.-P. (2006). *EXALANG 3-6 ans*. Happy Neuron Pro.
- Henin. (1980). La région orofaciale en phoniatry. Etude fonctionnelle et anatomo-clinique. *Les Cahiers d'ORL*, 15, 809-851.
- Heselwood, B. (2013). *Phonetic transcription in theory and practice*. Edinburgh University Press.
- Hickok, G. (2012). Computational neuroanatomy of speech production. *Nature Reviews Neuroscience*, 13(2), 135–145. <https://doi.org/10.1038/nrn3158>
- Hiimae, K. M., & Palmer, J. B. (2003). Tongue movements in feeding and speech. *Critical Reviews in Oral Biology and Medicine* 14(6), 413–429. <https://doi.org/10.1177/154411130301400604>
- Hilaire-Debove, G., & Kehoe, M. (2004). Acquisition des consonnes finales (codas) chez les enfants francophones : des universaux aux spécificités de la langue maternelle. *Actes de La 25ème Journée d'Etudes Sur La Parole*, 265–268. <http://www.ddl.ish-lyon.cnrs.fr/>
- Hilaire, G., & Duron, B. (1999). Maturation of the Mammalian Respiratory System. *Physiological Reviews*, 79(2), 325–360. <https://doi.org/10.1152/physrev.1999.79.2.325>
- Hirano, K., Hirano, S., & Hayakawa, I. (2004). The role of oral sensorimotor function in masticatory ability. *Journal of Oral Rehabilitation*, 31(3), 199–205. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.2004.01175.x>
- Hitos, S. F., Arakaki, R., Solé, D., & Weckx, L. L. M. M. (2013). Oral breathing and speech disorders in children. *Jornal de Pediatria*,

- 89(4), 361–365. <https://doi.org/10.1016/j.jpmed.2012.12.007>
- Holland, G. (2020). *The relationship between oral stereognosis and functional measures of swallowing* [Mémoire de Master, University of Canterbury]. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.26021/2716>
- Holstege, G. (1996). The somatic motor system. In G Holstege, R. Bandler, & C. B. B. T.-P. in B. R. Saper (Eds.), *The Emotional Motor System* (Vol. 107, pp. 9–26). Elsevier. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(08\)61856-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0079-6123(08)61856-7)
- Honda, M., Fujino, A., & Kaburagi, T. (2002). Compensatory responses of articulators to unexpected perturbation of the palate shape. *Journal of Phonetics*, 30(3), 281–302. <https://doi.org/https://doi.org/10.1006/jpho.2002.0172>
- Houde, J. F., & Jordan, M. I. (1998). Sensorimotor adaptation in speech production. *Science (New York, N.Y.)*, 279(5354), 1213–1216. <https://doi.org/10.1126/science.279.5354.1213>
- Hustad, K. C., Mahr, T. J., Soriano, J. U., & Rathouz, P. J. (2021). Speech development between 30 and 119 months in typical children II: articulation rate growth curves. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 64(11), 4057–4070. [https://doi.org/10.1044/2021\\_JSLHR-21-00206](https://doi.org/10.1044/2021_JSLHR-21-00206)
- Hustad, K. C., Mahr, T., Natzke, P. E. M., & Rathouz, P. J. (2020). Development of speech intelligibility between 30 and 47 months in typically developing children: A cross-sectional study of growth. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 63(6), 1675–1687. [https://doi.org/10.1044/2020\\_JSLHR-20-00008](https://doi.org/10.1044/2020_JSLHR-20-00008)
- Inada, E., Saitoh, I., Kaihara, Y., & Yamasaki, Y. (2021). Factors related to mouth-breathing syndrome and the influence of an

- incompetent lip seal on facial soft tissue form in children. *Pediatric Dental Journal*, 31(1), 1–10.  
<https://doi.org/10.1016/j.pdj.2020.10.002>
- Ingram, D. (2002). The measurement of whole-word productions. *Journal of Child Language*, 29(4), 713–733.  
<https://doi.org/10.1017/S0305000902005275>
- Ingram, D., & Ingram, K. D. (2011). Frame-content theory as an account of early phonological acquisition. *The Phonetician*, 103–104(I/II), 7–19.
- Ito, T., Tiede, M., & Ostry, D. J. (2009). Somatosensory function in speech perception. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(4), 1245–1248.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.0810063106>
- Iuzzini-Seigel, J., Hogan, T. P., Rong, P., & Green, J. R. (2015). Longitudinal development of speech motor control: Motor and linguistic factors. *Journal of Motor Learning and Development*, 3(1), 53–68. <https://doi.org/10.1123/jmld.2014-0054>
- Iyer, M., & Valiathan, A. (2001). Electromyography and its application in orthodontics. *Current Science*, 80(4), 503–507.  
<https://www.jstor.org/stable/24104239>
- Izu, S. C., Itamoto, C. H., Pradella-Hallinan, M., Pizarro, G. U., Tufik, S., Pignatari, S., & Fujita, R. R. (2010). Obstructive sleep apnea syndrome (OSAS) in mouth breathing children. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 76(5), 552–556.  
<https://doi.org/10.1590/S1808-86942010000500003>
- Jacobs, R., Bou Serhal, C., & van Steenberghe, D. (1998). Oral stereognosis: a review of the literature. *Clinical oral investigations* 2(1), 3–10. <https://doi.org/10.1007/s007840050035>

- Jain, P., & Rathee, M. (2021). Anatomy, Head and Neck, Orbicularis Oris Muscle. StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK545169/>
- Jakobson, R., & Halle, M. (1956). *Fundamentals of language*. Mouton publishers.
- Jansen, A. H., & Chernick, V. (1991). Fetal breathing and development of control of breathing. *Journal of Applied Physiology*, 70(4), 1431–1446. <https://doi.org/10.1152/jappl.1991.70.4.1431>
- John, S. A., Janardhanan, R., Soman, A., & Sukumaran, A. (2021). Evaluation of the association of oral stereognosis with malocclusion in children. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 14(S1), S18–S21. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10005-2050>
- Jordan, L. S., Hardy, J. C., & Morris, H. L. (1978). Performance of Children with Good and Poor Articulation on Tasks of Tongue Placement. *Journal of Speech and Hearing Research*, 21(3), 429–439. <https://doi.org/10.1044/jshr.2103.429>
- Junqueira, P., Marchesan, I. Q., de Oliveira, L. R., Ciccone, E., Haddad, L., & Rizzo, M. C. (2010). Speech-language pathology findings in patients with mouth breathing: multidisciplinary diagnosis according to etiology. *The International Journal of Orofacial Myology: Official Publication of the International Association of Orofacial Myology*, 36, 27–32.
- Jürgens, U. (1998). Speech evolved from vocalization, not mastication. *Behavioral and Brain Sciences*, 21(4), 519–520. <https://doi.org/10.1017/s0140525x98321263>
- Kaas, J. H. (2012). Somatosensory System. In K. M. Jürgen, G. Paxinos (Eds), *The Human Nervous System* (pp. 1074–1109).

Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374236-0.10030-6>

Kabakoff, H., Gritsyk, O., Harel, D., Tiede, M., Preston, J. L., Whalen, D. H., & McAllister, T. (2022). Characterizing sensorimotor profiles in children with residual speech sound disorder: a pilot study. *Journal of Communication Disorders*, 99, 106230. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2022.106230>

Kalaska, J. F. (1994). Central Neural Mechanisms of Touch and Proprioception. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 72(5), 542–545. <https://doi.org/10.1139/y94-078>

Kamal, S. M. (2021). The Use of Oral Motor Exercises among Speech Language Pathologists in Jordan. *Journal of Language Teaching and Research*, 12(1), 99. <https://doi.org/10.17507/jltr.1201.10>

Kamhi, A. (2008). A meme's-eye view of nonspeech oral-motor exercises. *Seminars in Speech and Language*, 29(04), 331–338. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1103397>

Kehoe, M. (2021). Coda consonant production in French-speaking children. *Clinical Linguistics and Phonetics*, 35(6), 509–533. <https://doi.org/10.1080/02699206.2020.1795723>

Kehoe, M., & Cretton, E. (2021). Intraword Variability in French-Speaking Monolingual and Bilingual Children. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 64(7), 2453–2471. [https://doi.org/10.1044/2021\\_JSLHR-20-00558](https://doi.org/10.1044/2021_JSLHR-20-00558)

Kehoe, M., & Girardier, C. (2020). What factors influence phonological production in French-speaking bilingual children, aged three to six years? *Journal of Child Language*, 47(5), 945–981. <https://doi.org/10.1017/S0305000919000874>

Kehoe, M., & Havy, M. (2019). Bilingual phonological acquisition: The

- influence of language-internal, language-external, and lexical factors. *Journal of Child Language*, 46(2), 292–333.  
<https://doi.org/10.1017/S0305000918000478>
- Kehoe, M., Niederberger, N., & Bouchut, A. L. (2021). The development of a speech sound screening test for European French-speaking monolingual and bilingual children. *International Journal of Speech-Language Pathology*, 23(2), 135–144.  
<https://doi.org/10.1080/17549507.2020.1750699>
- Kelly, B. N., Huckabee, M.-L., Jones, R. D., & Frampton, C. M. A. (2007). The early impact of feeding on infant breathing–swallowing coordination. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 156(2), 147–153.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resp.2006.09.007>
- Kent, R. D. (2004). The uniqueness of speech among motor systems. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 18(6–8), 495–505.  
<https://doi.org/10.1080/02699200410001703600>
- Kent, R. D. (2015). Nonspeech oral movements and oral motor disorders: A narrative review. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 24(4), 763–789.  
[https://doi.org/10.1044/2015\\_AJSLP-14-0179](https://doi.org/10.1044/2015_AJSLP-14-0179)
- Kent, R. D., Kim, Y., & Chen, L. M. (2022). Oral and laryngeal diadochokinesis across the life span: A scoping review of methods, reference data, and clinical applications. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 65(2), 574–623.  
[https://doi.org/10.1044/2021\\_JSLHR-21-00396](https://doi.org/10.1044/2021_JSLHR-21-00396)
- Kent, R. D., Weismer, G., Kent, J. F., Vorperian, H. K., & Duffy, J. R. (1999). Acoustic studies of dysarthric speech: Methods, progress, and potential. *Journal of Communication Disorders*, 32(3), 141–

186. [https://doi.org/10.1016/S0021-9924\(99\)00004-0](https://doi.org/10.1016/S0021-9924(99)00004-0)

Keske-Soares, M., Uberti, L. B., Gubiani, M. B., Gubiani, M. B., Ceron, M. I., & Pagliarin, K. C. (2018). Performance of children with speech sound disorders in the dynamic evaluation of motor speech skills. *Codas*, *30*(2), 1–7. <https://doi.org/10.1590/2317-1782/20182017037>

Khomsî, A. (2001). *Évaluation du Langage Oral*. Pearson.

Kingston, L. M., & Rosenthal, J. B. (1987). Oral stereognosis in children with disordered articulation: Measurement issues, and a treatment Study. *Australian Journal of Human Communication Disorders*, *15*(1), 1–14. <https://doi.org/10.3109/asl2.1987.15.issue-1.01>

Klein, J. C. (1986). Nasal respiratory function and craniofacial growth. *Archives of Otolaryngology–Head & Neck Surgery*, *112*(8), 843–849. <https://doi.org/10.1001/archotol.1986.03780080043009>

Knežević, D. (2019). Are children with childhood apraxia of speech a subgroup of children with developmental coordination disorders? *Logopedija*, *9*(1), 9–13. <https://doi.org/10.31299/log.9.1.2>

Knösel, M., Klein, S., Bleckmann, A., & Engelke, W. (2012). Coordination of tongue activity during swallowing in mouth-breathing children. *Dysphagia*, *27*(3), 401–407. <https://doi.org/10.1007/s00455-011-9383-8>

Koczorowski, M., Gedrange, T., & Koczorowski, R. (2012). Changes of oral sensibility in subjects with partial anterior open bite and the incorrect position of the tongue. *Annals of Anatomy*, *194*(2), 220–223. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2011.01.012>

Kravanja, S. L., Hocevar-Boltezar, I., Music, M. M., Jarc, A., Verdenik, I., & Ovsenik, M. (2018). Three-dimensional ultrasound evaluation



of tongue posture and its impact on articulation disorders in preschool children with anterior open bite. *Radiology and Oncology*, 52(3), 250–256. <https://doi.org/doi:10.2478/raon-2018-0032>

Kuhl, P. K., Ramirez, R. R., Bosseler, A., Lin, J.-F. L., & Imada, T. (2014). Infants' brain responses to speech suggest Analysis by Synthesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(31), 11238–11245. <https://doi.org/10.1073/pnas.1410963111>

Kukwa, W., Guilleminault, C., Tomaszewska, M., Kukwa, A., Krzeski, A., & Migacz, E. (2018). Prevalence of upper respiratory tract infections in habitually snoring and mouth breathing children. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 107, 37–41. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2018.01.022>

La Touche, R., Losana-Ferrer, A., Pascual-Vaquerizo, E., Suso-Martí, L., Paris-Aleman, A., Chamorro-Sánchez, J., & Cuenca-Martínez, F. (2019). Orofacial sensorimotor behaviour in unilateral chewing: A comparative analysis in asymptomatic population. *Physiology & Behavior*, 212, 112718. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2019.112718>

Lagerberg, T. B., Åsberg, J., Hartelius, L., & Persson, C. (2014). Assessment of intelligibility using children's spontaneous speech: Methodological aspects. *International Journal of Language and Communication Disorders*, 49(2), 228–239. <https://doi.org/10.1111/1460-6984.12067>

Lahey, M., Launer, P. B., & Schiff-Myers, N. (1983). Prediction of production: Elicited imitation and spontaneous speech productions of language disordered children. *Applied Psycholinguistics*, 4(4), 317–343.

<https://doi.org/10.1017/S0142716400004719>

- Laine, M. T., Pahkala, R. H., Jaroma, S. M., & Qvarnström, M. J. (1992). Associations among different orofacial dysfunctions in 6-8 year olds. *Archives of Oral Biology*, 37(11), 895–899. [https://doi.org/10.1016/0003-9969\(92\)90060-L](https://doi.org/10.1016/0003-9969(92)90060-L)
- Lancheros, M., Jouen, A. L., & Laganaro, M. (2020). Neural dynamics of speech and non-speech motor planning. *Brain and Language*, 203(2020), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2020.104742>
- Lancheros, M., Pernon, M., & Laganaro, M. (2022). Is there a continuum between speech and other oromotor tasks? evidence from motor speech disorders. *Aphasiology*, 00(00), 1–20. <https://doi.org/10.1080/02687038.2022.2038367>
- Lannadere, E., Gatignol, P., & Picard-Dubois, D. (2021). Evaluation orthophonique auprès des personnes présentant des dysmorphoses maxillo-mandibulaires. In C. Chapuis-Vandenbogaerde & P. Gatignol (Eds.), *Troubles oro-myofonctionnels chez l'enfant et l'adulte* (pp. 67–69). De Boeck Supérieur.
- Lapko, L. L., & Bankson, N. W. (1975). Relationship between auditory discrimination, articulation stimulability, and consistency of misarticulation. *Perceptual and Motor Skills*, 40(1), 171–177. <https://doi.org/10.2466/pms.1975.40.1.171>
- Lavalée, C. (2010). *Développement du contrôle moteur de la parole : une étude longitudinale d'un enfant francophone âgé de 7 à 16 mois, à partir d'un corpus audio-visuel* [Thèse de doctorat, Université de Grenoble]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00579921>
- Leal, R. B., Gomes, M. C., Granville-Garcia, A. F., Goes, P. S. A., &

- De Menezes, V. A. (2016). Impact of breathing patterns on the quality of life of 9- to 10-year-old school children. *American Journal of Rhinology and Allergy*, 30(5), e147–e152. <https://doi.org/10.2500/ajra.2016.30.4363>
- Lee, J., Russell, C. G., Mohebbi, M., & Keast, R. (2022). Grating orientation task: A screening tool for determination of oral tactile acuity in children. *Food Quality and Preference*, 95, 104365. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2021.104365>
- Lemarchand, L. (2018). *Babillage et diversification alimentaire: Pratiques et influence de l'exposition aux textures sur le contrôle oro-moteur* [Thèse de doctorat, Université Lumière Lyon 2 et Université de Montréal]. <http://hdl.handle.net/1866/22554>
- Liberman, A. M., Cooper, F. S., Shankweiler, D. P., & Studdert-Kennedy, M. (1967). Perception of the speech code. *Psychological Review*, 74(6), 431–461. <https://doi.org/10.1037/h0020279>
- Liberman, Alvin M, & Mattingly, I. G. (1985). The motor theory of speech perception revised. *Cognition*, 21(1), 1–36. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0010-0277\(85\)90021-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0010-0277(85)90021-6)
- Limme, M., & Bruwier, A. (2014). La prise en charge précoce. *Revue d'Orthopédie Dento-Faciale*, 48(2), 117–134. <https://doi.org/10.1051/odf/2013502>
- Liu, H.-M., & Chien, H.-Y. (2020). Speech sound errors of Mandarin-speaking preschool children with co-occurring speech sound disorder and developmental language disorder. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 34(12), 1130–1148. <https://doi.org/10.1080/02699206.2020.1724334>
- Liu, J., Cattaneo, C., Papavasileiou, M., Methven, L., & Bredie, W. L.

- P. (2022). A review on oral tactile sensitivity: measurement techniques, influencing factors and its relation to food perception and preference. *Food Quality and Preference*, 100(January), 104624. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2022.104624>
- Lof, G. L. (2003). Oral Motor Exercises and Treatment Outcomes. *Perspectives on Language Learning and Education*, 10(1), 7–11. <https://doi.org/10.1044/lle10.1.7>
- Lof, G. L., & Watson, M. M. (2008). A nationwide survey of nonspeech oral motor exercise use: Implications for Evidence-Based Practice. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 39(3), 392–407. [https://doi.org/10.1044/0161-1461\(2008/037\)](https://doi.org/10.1044/0161-1461(2008/037))
- Logemann, J. A. (1998). The evaluation and treatment of swallowing disorders. *Current Opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery*, 6(6). [https://journals.lww.com/otolaryngology/Fulltext/1998/12000/The\\_evaluation\\_and\\_treatment\\_of\\_swallowing.8.aspx](https://journals.lww.com/otolaryngology/Fulltext/1998/12000/The_evaluation_and_treatment_of_swallowing.8.aspx)
- Lonegan, D. S. (1974). Vibrotactile Thresholds and Oral Stereognosis in Children. *Perceptual and Motor Skills*, 38(1), 11–14. <https://doi.org/10.2466/pms.1974.38.1.11>
- Lorenzini, I., Bertinetto, P. M., & Chilosi, A. M. (2017). Childhood Apraxia of Speech or acquiring phonology in the lack of sensory motor information: An early failure. *50th Annual Meeting of the Societas Linguistica Europaea*, 542–543.
- Lund, J. P., & Kolta, A. (2006). Brainstem circuits that control mastication: Do they have anything to say during speech? *Journal of Communication Disorders*, 39(5), 381–390. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2006.06.014>
- Lundberg, J. O. N., & Weitzberg, E. (1999). Nasal nitric oxide in man.

- Thorax*, 54(10), 947–952. <https://doi.org/10.1136/thx.54.10.947>
- Maas, E. (2017). Speech and nonspeech: What are we talking about? *International Journal of Speech-Language Pathology*, 19(4), 345–359. <https://doi.org/10.1080/17549507.2016.1221995>
- Maasen, B. (2022). Towards process-oriented, dimensional approaches for diagnosis SS in children : The state-of-the-art and future perspectives. *Stem-, Spraak- En Taalpathologie*, 27(Supplement August), 3–4. [https://slp-nijmegen.nl/smc2022/img/smc2022\\_abstract\\_book.pdf](https://slp-nijmegen.nl/smc2022/img/smc2022_abstract_book.pdf)
- MacLeod, A. A.N., Brosseau-lapr e, F., & Rvachew, S. (2008). Explorer la relation entre la production et la perception de la parole. *Spectrum*, 1(1), 10–18. <http://www.eoa.umontreal.ca/documents/pdf/spectrumVol1No1MacLeodBrosseauLapreRvachew.pdf>
- MacLeod, Andrea A.N. (2019). Des premiers sons aux premiers sons dans les mots. In S. Kent (Ed.), *Le développement du langage chez le jeune enfant : théorie, clinique, pratique* (pp. 67–84). De Boeck Supérieur.
- MacLeod, Andrea A N, Sutton, A., Sylvestre, A., Thordardottir, E., & Trudeau, N. (2014). Outil de dépistage des troubles du développement des sons de la parole : bases théoriques et données pr liminaires. *Canadian Journal of Speech Language Pathology and Audiology*, 38(1), 40–56. [https://cjslpa.ca/files/2014\\_CJSLPA\\_Vol\\_38/No\\_01/CJSLPA\\_Spring\\_2014\\_Vol\\_38\\_No\\_1\\_MacLeod-et-al.pdf](https://cjslpa.ca/files/2014_CJSLPA_Vol_38/No_01/CJSLPA_Spring_2014_Vol_38_No_1_MacLeod-et-al.pdf)
- MacLeod, Andrea A N, Sutton, A., Trudeau, N., & Thordardottir, E. (2011). The acquisition of consonants in Québécois French: A cross-sectional study of pre-school aged children. *International*

*Journal of Speech-Language Pathology*, 13(2), 93–109.  
<https://doi.org/10.3109/17549507.2011.487543>

MacNeilage, P. F. (1998). The frame/content theory of evolution of speech production. *Behavioral and Brain Sciences*, 21(4), 499–546. <https://doi.org/10.1017/S0140525X98001265>

MacNeilage, P. F., & Davis, B. (1990). Acquisition of speech production: Frames, then content. In M. Jeannerod (Ed.), *Attention and performance XIII: Motor representation and control* (pp. 453–476). Psychology Press.

MacNeilage, P. F., & Davis, B. L. (2005). The Frame/Content theory of evolution of speech. *Interaction Studies. Social Behaviour and Communication in Biological and Artificial Systems*, 6(2), 173–199. <https://doi.org/10.1075/is.6.2.03mac>

MacNeilage, P. F., Davis, B. L., Kinney, A., & Matyear, C. L. (2000). The Motor Core of Speech: A Comparison of Serial Organization Patterns in Infants and Languages. *Child Development*, 71(1), 153–163. <https://doi.org/10.1111/1467-8624.00129>

Macrae, T. (2013). Lexical and child-related factors in word variability and accuracy in infants. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 27(6–7), 497–507. <https://doi.org/10.3109/02699206.2012.752867>

Madison, C. L., & Fucci, D. J. (1971). Speech-sound discrimination and tactile-kinesthetic discrimination in reference to speech production. *Perceptual and Motor Skills*, 33(3), 831–838. <https://doi.org/10.2466/pms.1971.33.3.831>

Maillart, C. (2006). Le bilan articulatoire et phonologique. In B. Pierart & F. Estienne (Eds.), *L'évaluation du langage et de la voix* (pp. 26–51). Editions Masson.

- Maillart, C. (2018). Le projet CATALISE, phase 2 « Terminologie ». Impacts sur la nomenclature des prestations de logopédie en Belgique. *UPLF-Info*, xxxv, 4–17.
- Maillart, C. (2019). Quand le langage démarre difficilement. In S. Kern (Ed.), *Le développement du langage chez le jeune enfant : théorie, clinique, pratique* (pp. 201–232). De Boeck Supérieur.
- Maillart, C., & Parisse, C. (2006). Phonological deficits in French speaking children with SLI. *International Journal of Language and Communication Disorders*, 41(3), 253–274. <https://doi.org/10.1080/13682820500221667>
- Maillart, C., & Schelstraete, M. A. (2004). L'évaluation des troubles phonologiques : illustration de la démarche diagnostique. In M. A. Schelstraete & M.-P. Noel (Eds.), *Approches psycholinguistiques et neuropsychologiques des troubles du langage et du calcul chez l'enfant* (pp. 113–147). E.M.E. Proximités.
- Maillart, C., Van Reybroeck, M., & Alegria, J. (2005). Représentations phonologiques et trouble du développement linguistique : théorie et évaluation. In B. Pierart (Ed.), *Le langage de l'enfant* (pp. 99–120). De Boeck.
- Malandraki, G. A., Perlman, A. L., Karampinos, D. C., & Sutton, B. P. (2011). Reduced somatosensory activations in swallowing with age. *Human Brain Mapping*, 32(5), 730–743. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/hbm.21062>
- Malmeholt, A., Lohmander, A., & McAllister, A. (2017). Childhood apraxia of speech: A survey of praxis and typical speech characteristics. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 42(2), 84–92. <https://doi.org/10.1080/14015439.2016.1185147>
- Manno, C. J., Fox, C., Eicher, P. S., & Kerwin, M. E. (2005). Early oral-

motor interventions for pediatric feeding problems: What, when and how. *Journal of Early and Intensive Behavior Intervention*, 2(3), 145–159. <https://doi.org/10.1037/h0100310>

Marchesan, I. Q., Berretin-Félix, G., & Genaro, K. F. (2012). MBGR protocol of orofacial myofunctional evaluation with scores. *The International Journal of Orofacial Myology : Official Publication of the International Association of Orofacial Myology*, 38, 38–77.

Marchesan, I. Q., & Huberman Krakauer, L. R. (1996). The importance of respiratory activity in Myofunctional Therapy. *International Journal of Orofacial Myology*, XXII, 23–27.

Martin, R. E. (2009). Neuroplasticity and swallowing. *Dysphagia*, 24(2), 218–229. <https://doi.org/10.1007/s00455-008-9193-9>

Mason, G., Bérubé, D., Bernhardt, B. M., & Stemberger, J. (2015). Evaluation of multisyllabic word production in Canadian English- or French-speaking children within a non-linear phonological framework. *Clinical Linguistics and Phonetics*, 29(8–10), 666–685. <https://doi.org/10.3109/02699206.2015.1040894>

Mason, R. M. (2005). A retrospective and prospective view of orofacial myology. *The International Journal of Orofacial Myology*, 31(1), 5–14. <https://doi.org/10.52010/ijom.2005.31.1.1>

Matsuo, K., & Palmer, J. B. (2009). Coordination of mastication, swallowing and breathing. *Japanese Dental Science Review*, 45(1), 31–40. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jdsr.2009.03.004>

McAllister, A., & Lundeborg Hammarström, I. (2014). Oral sensorimotor function in typically developing children 3 to 8 years old as assessed by the Nordic orofacial test, NOT-S. *Journal of Medical Speech-Language Pathology*, 21(1), 51–59.



- McAllister Byun, T., Inkelas, S., & Rose, Y. (2016). The A-map model: Articulatory reliability in child-specific phonology. *Language*, 92(1), 141–178. <https://doi.org/10.1353/lan.2016.0000>
- Mccauley, R. J., & Strand, E. A. (2008). A review of standardized tests of nonverbal oral and speech motor performance in children. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 17, 81–91. <https://doi.org/10.1044/1058-0360>
- McFarland, D. H. (2022). *Netter's Atlas of Anatomy for Speech, Swallowing, and Hearing-E-Book*. Elsevier Health Sciences.
- Mcfarland, D. H., Baum, S. R., & Chabot, C. (1996). Speech compensation to structural modifications of the oral cavity. *Citation: The Journal of the Acoustical Society of America*, 100, 1093. <https://doi.org/10.1121/1.416286>
- McLeod, S. (2015). Intelligibility in Context Scale: A parent-report screening tool translated into 60 languages. *Journal of Clinical Practice in Speech-Language Pathology*, 17(1), 9–14.
- McLeod, S., Harrison, L. J., & McCormack, J. (2012). The Intelligibility in Context Scale: Validity and Reliability of a Subjective Rating Measure. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 55(2), 648–656. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2011/10-0130\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2011/10-0130))
- McLeod, S., & Hewett, S. R. (2008). Variability in the production of words containing consonant clusters by typical 2- and 3-year-old children. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 60(4), 163–172. <https://doi.org/10.1159/000127835>
- McNutt, J. C. (1977). Oral Sensory and Motor Behaviors of Children with /s/ or /r/ Misarticulations. *Journal of Speech and Hearing Research*, 20(4), 694–703. <https://doi.org/10.1044/jshr.2004.694>

- Medeiros, A. M. C., Marchesan, I. Q., Genaro, K. F., de Carvalho Barreto, Í. D., & Berretin-Felix, G. (2022). MMBGR Protocol - infants and preschoolers: Instructive and Orofacial Myofunctional Clinical History. *Codas*, *34*(2). <https://doi.org/10.1590/2317-1782/20212020324>
- Medeiros, A. M. C., Nobre, G. R. D., Barreto, Í. D. de C., Jesus, E. M. S. de, Folha, G. A., Matos, A. L. D. S., Nascimento, S. C. S. do, & Felício, C. M. de. (2021). Expanded Protocol of Orofacial Myofunctional Evaluation with Scores for Nursing Infants (6-24 months) (OMES-E Infants). *CoDAS*, *33*(2), e20190219. <https://doi.org/10.1590/2317-1782/20202019219>
- Meloni, G., Schott-Brua, V., Vilain, A., Loevenbruck, H., Consortium, E., & MacLeod, A. A. N. (2020). Application of childhood apraxia of speech clinical markers to French-speaking children: A preliminary study. *International Journal of Speech-Language Pathology*, *22*(6), 683–695. <https://doi.org/10.1080/17549507.2020.1844799>
- Meloni G., Loevenbruck H., Vilain A., Macleod A. A. N. (2017, July 17-21). EULALIES, The France-Québec speech sound disorders project [Poster presentation]. IASCL 14th international congress, Lyon, France.
- Meloni, Geneviève. (2022). *Evaluation des troubles du développement des sons de parole dans le cadre d'un modèle psycholinguistique chez l'enfant francophone* [Thèse de doctorat, Université Grenoble Alpes et Université Montréal]. <https://www.youtube.com/watch?v=fYKGuWqNzPE>
- Menn, L., Schmidt, E., & Nicholas, B. (2012). Challenges to theories, charges to a model: The Linked-Attractor model of phonological development. In *The Emergence of Phonology: Whole-Word*

*approaches and cross-linguistic evidence.*  
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511980503.022>

- Merkel-Walsh, R. (2020). Orofacial myofunctional therapy with children ages 0-4 and individuals with special needs. *International Journal of Orofacial Myology and Myofunctional Therapy*, 46(1), 22–36. <https://doi.org/10.52010/ijom.2020.46.1.3>
- Meyer, P. G. (2000). Tongue lip and jaw differentiation and its relationship to orofacial myofunctional treatment. *The International Journal of Orofacial Myology*, 26(1), 44–52. <https://doi.org/10.52010/ijom.2000.26.1.5>
- Miccio, A. W., Elbert, M., & Forrest, K. (1999). The relationship between stimulability and phonological acquisition in children with normally developing and disordered phonologies. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 8(4), 347–363. <https://doi.org/10.1044/1058-0360.0804.347>
- Milanesi, J. de M., Berwig, L. C., Marquezan, M., Schuch, L. H., de Moraes, A. B., da Silva, A. M. T., & Corrêa, E. C. R. (2018). Variables associated with mouth breathing diagnosis in children based on a multidisciplinary assessment. *CODAS*, 30(4), 20170071. <https://doi.org/10.1590/2317-1782/20182017071>
- Milanesi, J. de M., Berwig, L. C., Schuch, L. H., Ritzel, R. A., Silva, A. M. T. da, & Corrêa, E. C. R. (2017). Nasal patency and otorhinolaryngologic-orofacial features in children. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 85(1). <https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2017.10.014>
- Milbrandt, M. J. (1974). *An investigation of oral stereognosis and articulation in sighted and blind children* [Mémoire de Master, Utah State University].

<https://doi.org/https://doi.org/10.26076/eb80-803c>

Minato, A., Ono, T., Miyamoto, J. J., Honda, E. ichi, Kurabayashi, T., & Moriyama, K. (2009). Preferred chewing side-dependent two-point discrimination and cortical activation pattern of tactile tongue sensation. *Behavioural Brain Research*, *203*(1), 118–126. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2009.04.028>

Mogren, Å., McAllister, A., & Sjögreen, L. (2021). Range of motion (ROM) in the lips and jaw during vowels assessed with 3D motion analysis in Swedish children with typical speech development and children with speech sound disorders. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 1–11. <https://doi.org/10.1080/14015439.2021.1890207>

Mogren, Å., Sand, A., Havner, C., Sjögreen, L., Westerlund, A., Agholme, M. B., & Mcallister, A. (2022). Children and adolescents with speech sound disorders are more likely to have orofacial dysfunction and malocclusion. *Clinical and Experimental Dental Research*, Ahead of Print. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/cre2.602>

Mogren, Å., Sjögreen, L., Barr Agholme, M., & McAllister, A. (2020). Orofacial function in children with Speech Sound Disorders (SSD) persisting after the age of six years. *International Journal of Speech-Language Pathology*, *22*(5), 526–536. <https://doi.org/10.1080/17549507.2019.1701081>

Monetta, L., Desmarais, C., MacLeod, A. A. N., St-Pierre, M. C., Bourgeois-Marcotte, J., & Perron, M. (2016). Recension des outils franco-qubécois pour l'évaluation des troubles du langage et de la parole. *Canadian Journal of Speech-Language Pathology and Audiology*, *40*(2), 165–175. [https://cjslpa.ca/files/2016\\_CJSLPA\\_Vol\\_40/No\\_02/CJSLPA\\_Vol\\_40\\_No\\_2\\_2016\\_Monetta\\_et\\_al\\_165-175.pdf](https://cjslpa.ca/files/2016_CJSLPA_Vol_40/No_02/CJSLPA_Vol_40_No_2_2016_Monetta_et_al_165-175.pdf)

- Monteiro, V. R., Brescovici, S. M., & Delgado, S. E. (2009). A ocorrência de ceceo em crianças de oito a 11 anos em escolas municipais [The occurrence of lisp in eight- to 11-year-old children from municipal schools]. *Revista Da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia*, *14*(2), 213–218. <https://doi.org/10.1590/s1516-80342009000200012>
- Moore, C. (2004). Physiologic development of speech production. In B. Maassen, R. Kent, P. Peters, P. van Lieshout, & W. Hulstijn (Eds.), *Speech Motor Control in Normal and Disordered Speech* (pp. 191–210). Oxford University Press.
- Moore, C A, Caulfield, T. J., & Green, J. R. (2001). Relative kinematics of the rib cage and abdomen during speech and nonspeech behaviors of 15-month-old children. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *44*(1), 80–94.
- Moore, C A, & Ruark, J. L. (1996). Does speech emerge from earlier appearing oral motor behaviors? *Journal of Speech and Hearing Research*, *39*(5), 1034–1047. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2009.10.017.A>
- Moore, Christopher A, Smith, A., & Ringel, R. L. (1988). Task-Specific Organization of Activity in Human Jaw Muscles. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *31*(4), 670–680. <https://doi.org/10.1044/jshr.3104.670>
- Moss, M. L. (1965). The veloepiglottic sphincter and obligate. Nose breathing in the neonate. *The Journal of Pediatrics*, *67*(2), 330–331.
- Mottonen, R., & Watkins, K. E. (2009). Motor Representations of Articulators Contribute to Categorical Perception of Speech Sounds. *Journal of Neuroscience*.

<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.6018-08.2009>

- Mu, L., & Sanders, I. (2010). Human tongue neuroanatomy: Nerve supply and motor endplates. *Clinical Anatomy*, 23(7), 777–791. <https://doi.org/10.1002/ca.21011>
- Murdoch, B. E., Cheng, H.-Y., & Goozée, J. V. (2012). Developmental changes in the variability of tongue and lip movements during speech from childhood to adulthood: An EMA study. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 26(3), 216–231. <https://doi.org/10.3109/02699206.2011.604459>
- Nagaiwa, M., Gunjigake, K., & Yamaguchi, K. (2016). The effect of mouth breathing on chewing efficiency. *Angle Orthodontist*, 86(2), 227–234. <https://doi.org/10.2319/020115-80.1>
- Namasivayam, A. K., Coleman, D., O'Dwyer, A., & van Lieshout, P. (2020). Speech Sound Disorders in Children: An Articulatory Phonology Perspective. *Frontiers in Psychology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02998>
- Nasir, S. M., & Ostry, D. J. (2006). Somatosensory precision in speech production. *Current Biology*, 16(19), 1918–1923. <https://doi.org/10.1016/J.CUB.2006.07.069>
- Neiva, P. D., Kirkwood, R. N., Mendes, P. L., Zabjek, K., Becker, H. G., & Mathur, S. (2018). Postural disorders in mouth breathing children: a systematic review. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 22(1), 7–19. <https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2017.06.011>
- Neto, G. P., Puppini-Rontani, R. M., & Garcia, R. C. M. R. (2007). Changes in the masticatory cycle after treatment of posterior crossbite in children aged 4 to 5 years. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 131(4), 464–472. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2005.06.030>

- Newmeyer, A. J., Grether, S., Grasha, C., White, J., Akers, R., Aylward, C., Ishikawa, K., & Degrauw, T. (2007). Fine motor function and oral-motor imitation skills in preschool-age children with speech-sound disorders. *Clinical Pediatrics*, *46*(7), 604–611. <https://doi.org/10.1177/0009922807299545>
- Niederberger, N., Kehoe, M., & Bouchut, A. (2021). DRAP : un test de Dépistage Rapide de l'Articulation et de la Parole pour les enfants de 3 à 6 ans. *Glossa*, *131*, 33–58.
- Nip, I. S. B., Green, J. R., & Marx, D. B. (2009). Early speech motor development: Cognitive and linguistic considerations. *Journal of Communication Disorders*, *42*(4), 286–298. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2009.03.008>
- Nip, I. S. B., Green, J. R., & Marx, D. B. (2011). The co-emergence of cognition, language, and speech motor control in early development: A longitudinal correlation study. *Journal of Communication Disorders*, *44*(2), 149–160. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2010.08.002>
- Nogami, Y., Saitoh, I., Inada, E., Murakami, D., Iwase, Y., Kubota, N., Nakamura, Y., Kimi, M., Hayasaki, H., Yamasaki, Y., & Kaihara, Y. (2021). Prevalence of an incompetent lip seal during growth periods throughout Japan : a study. *Environmental Health and Preventive Medicine*, *26*(11), 1–9.
- Noiray, A., Abakarova, D., Rubertus, E., Krüger, S., & Tiede, M. (2018). How do children organize their speech in the first years of life? Insight from ultrasound imaging. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *61*(6), 1355–1368. [https://doi.org/10.1044/2018\\_JSLHR-S-17-0148](https://doi.org/10.1044/2018_JSLHR-S-17-0148)
- Noiray, A., Wieling, M., Abakarova, D., Rubertus, E., & Tiede, M.

- (2019). Back from the future: Nonlinear anticipation in adults' and children's speech. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 62(8S), 3033–3054. [https://doi.org/10.1044/2019\\_JSLHR-S-CSMC7-18-0208](https://doi.org/10.1044/2019_JSLHR-S-CSMC7-18-0208)
- Nordstrom, M. A., Miles, T. S., Gooden, B. R., Butler, S. L., Ridding, M. C., & Thompson, P. D. (1999). Motor Cortical Control of Human Masticatory Muscles. In M. D. Binder (Ed.), *Peripheral and Spinal Mechanisms in the Neural Control of Movement* (Vol. 123, pp. 203–214). Elsevier. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(08\)62857-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0079-6123(08)62857-5)
- Noveen, S., Ullah, S. H., & Alam, B. (2018). Correlation between articulation disorders and oral motor mechanism. *Annals of King Edward Medical University*, 24(1), 653–658. <https://doi.org/https://doi.org/10.21649/akemu.v24i1.2366>
- Organisation internationale de la Francophonie. (2022). *La langue française dans le monde (édition 2022)*. Gallimard. <https://flipbook.cantook.net/?d=%2F%2Fwww.edenlivres.fr%2Fflipbook%2Fpublications%2F749758.js&oid=2431&c=&m=&l=&r=&f=pdf>
- Ozanne, A. E. (1992). Normative Data for Sequenced Oral Movements and Movements in Context for Children aged Three to Five Years. *Australian Journal of Human Communication Disorders*, 20(2), 47–63. <https://doi.org/10.3109/asl2.1992.20.issue-2.04>
- Paolantonio, E. G., Ludovici, N., Saccomanno, S., La Torre, G., & Grippaudo, C. (2019). Association between oral habits, mouth breathing and malocclusion in Italian preschoolers. *European Journal of Paediatric Dentistry*, 20(3), 204–208. <https://doi.org/10.23804/ejpd.2019.20.03.07>



- Paul, M., & Rvachew, S. (2008). *Test Francophone de Phonologie* [Test non publié] <https://www.mcgill.ca/child-phonology/files/child-phonology/tfpa-grillesanalyses-20171025.pdf>
- Paynter, E. T., & Bumpas, T. C. (1977). Imitative and spontaneous articulatory assessment of three-year-old children. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 42(1), 119–125. <https://doi.org/10.1044/jshd.4201.119>
- Peltomäki, T. (2007). The effect of mode of breathing on craniofacial growth—revisited. *European Journal of Orthodontics*, 29(5), 426–429. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjm055>
- Penfield, W., & Boldrey, E. (1937). Somatic motor and sensory representation in the cerebral cortex of man as studied by electrical stimulation. *Brain*, 60(4), 389–443. <https://doi:10.1192/bjp.84.352.868-a>
- Peng, C. L., Jost-Brinkmann, P. G., Yoshida, N., Chou, H. H., & Lin, C. T. (2004). Comparison of tongue functions between mature and tongue-thrust swallowing - An ultrasound investigation. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 125(5), 562–570. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2003.06.003>
- Peng, C. L., Jost-Brinkmann, P. G., Yoshida, N., Miethke, R. R., & Lin, C. T. (2003). Differential diagnosis between infantile and mature swallowing with ultrasonography. *European Journal of Orthodontics*, 25(5), 451–456. <https://doi.org/10.1093/ejo/25.5.451>
- Peng, C. L., Miethke, R. R., Pong, S. J., & Lin, C. T. (2007). Investigation of tongue movements during swallowing with M-Mode ultrasonography. *Journal of Orofacial Orthopedics*, 68(1),

17–25. <https://doi.org/10.1007/s00056-007-0547-y>

Pernon, M., Lévêque, N., Delvaux, V., Assal, F., Borel, S., Fougeron, C., Trouville, R., & Laganaro, M. (2020). MonPaGe, un outil de screening francophone informatisé d'évaluation perceptive et acoustique des troubles moteurs de la parole (dysarthries, apraxie de la parole). *Rééducation Orthophonique*, 281(Mars), 169–198.

Peter, B. (2012). Oral and hand movement speeds are associated with expressive language ability in children with speech sound disorder. *Journal of Psycholinguistic Research*, 41(6), 455–474. <https://doi.org/10.1007/s10936-012-9199-1>

Phoon, H. S., Abdullah, A. C., Lee, L. W., & Murugaiah, P. (2014). Consonant acquisition in the Malay language: A cross-sectional study of preschool aged malay children. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 28(5), 329–345. <https://doi.org/10.3109/02699206.2013.868517>

Picard, D., Lannadere, E., Robin, E., Hervochon, R., Lamas, G., Tankere, F., & Gatignol, P. (2021). Oro-facial motor assessment: validation of the MBLF protocol in facial palsy. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 278(4), 1017–1025. <https://doi.org/10.1007/s00405-020-06150-0>

Piérart, B., Comblain, A., Grégoire, J., & Mousty, P. (2012). *Batterie ISADYLE*. Solal.

Piron, L. (2021). *Repérer la respiration buccale à l'éveil chez l'enfant d'âge préscolaire : recherche et validation des critères fonctionnels pertinents et proposition d'un outil clinique de dépistage* [Mémoire de Mastern Université de Liège]. <http://hdl.handle.net/2268.2/12403>

- Pohl, J. (1983). Quelques caractéristiques de la phonologie du français parlé en Belgique. *Langue Française*, 60, 30–41. <http://www.jstor.org/stable/41558162>
- Pollex-Fischer, D., & Rohrbach, S. (2017). Berliner orofaciales Screening BoS. *Forum Logopädie*, 31(4), 6–11.
- Pommée, T., Balaguer, M., Mauclair, J., Piquier, J., & Woisard, V. (2022). Intelligibility and comprehensibility: A Delphi consensus study. *International Journal of Language and Communication Disorders*, 57(1), 21–41. <https://doi.org/10.1111/1460-6984.12672>
- Powell, T. W., Elbert, M., & Dinnsen, D. A. (1991). Stimulability as a factor in the phonological generalization of misarticulating preschool children. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 34(6), 1318–1328. <https://doi.org/10.1044/jshr.3406.1318>
- Prado, D. G. de A., Sovinski, S. R. P., Nary Filho, H., Brasolotto, A. G., & Berretin-Felix, G. (2015). Oral motor control and orofacial functions in individuals with dentofacial deformity. *Audiology - Communication Research*, 20(1), 76–83. <https://doi.org/10.1590/S2317-64312015000100001427>
- Premkumar, S., Venkatesan, S. A., & Rangachari, S. (2011). Altered oral sensory perception in tongue thrusters with an anterior open bite. *European Journal of Orthodontics*, 33(2), 139–142. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjq042>
- Preston, J. L., Hull, M., & Edwards, M. L. (2013). Preschool Speech Error Patterns Predict Articulation and Phonological Awareness Outcomes in Children With Histories of Speech Sound Disorders. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 22(2), 173–

184. [https://doi.org/10.1044/1058-0360\(2012/12-0022\)](https://doi.org/10.1044/1058-0360(2012/12-0022))

Redford, M. A. (2015). Unifying speech and language in a developmentally sensitive model of production. *Journal of Phonetics*, 53, 141–152. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wocn.2015.06.006>

Redford, M. A. (2019). Speech Production From a Developmental Perspective. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 62(8S), 2946–2962. [https://doi.org/10.1044/2019\\_JSLHR-S-CSMC7-18-0130](https://doi.org/10.1044/2019_JSLHR-S-CSMC7-18-0130)

Redle, E., Vannest, J., Maloney, T., Tsevat, R. K., Eikenberry, S., Lewis, B., Shriberg, L. D., Tkach, J., & Holland, S. K. (2015). Functional MRI evidence for fine motor praxis dysfunction in children with persistent speech disorders. *Brain Research*, 1597, 47–56. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2014.11.047>

Riely, R. R., & Smith, A. (2003). Speech movements do not scale by orofacial structure size. *Journal of Applied Physiology*, 94(6), 2119–2126. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00502.2002>

Ringel, R. L., House, A. S., Burk, K. W., Dolinsky, J. P., & Scott, C. M. (1970). Some relations between orosensory discrimination and articulatory aspects of speech production. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 35(1), 3–11. <https://doi.org/10.1044/jshd.3501.03>

Ringel, R. L., Saxman, J. H., & Brooks, A. R. (1967). Oral Perception: II. Mandibular Kinesthesia. *Journal of Speech and Hearing Research*, 10(3), 637–641. <https://doi.org/10.1044/jshr.1003.637>

Robb, M. P., Yavarzadeh, F., Schluter, P. J., Voit, V., Shehata-Dieler, W., & Wermke, K. (2020). Laryngeal Constriction Phenomena in Infant Vocalizations. *Journal of Speech, Language, and Hearing*

*Research*, 63(1), 49–58. [https://doi.org/10.1044/2019\\_JSLHR-S-19-0205](https://doi.org/10.1044/2019_JSLHR-S-19-0205)

Robbins, J., & Klee, T. (1987). Clinical assessment of oropharyngeal motor development in young children. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 52(3), 271–277. <https://doi.org/10.1044/jshd.5203.271>

Rohrbach, S., Buettner, F., Pollex, D., Mathmann, P., Weinhold, L., Schubert, R., & Reilmann, R. (2018). Quantitative examination of isometric tongue protrusion forces in children with oro-facial dysfunctions or myofunctional disorders. *Journal of Oral Rehabilitation*, 45(3), 228–234. <https://doi.org/10.1111/joor.12598>

Roland, P. E. (1984). Organization of motor control by the normal human brain. *Human Neurobiology*, 2(4), 205–216.

Rondal, J. A. (1979). *Votre enfant apprend à parler*. Mardaga.

Rong, P. (2020). Neuromotor control of speech and speechlike tasks: Implications from articulatory gestures. *Perspectives of the ASHA Special Interest Groups*, 5(5), 1324–1338. [https://doi.org/10.1044/2020\\_persp-20-00070](https://doi.org/10.1044/2020_persp-20-00070)

Rose, Y., & Wauquier-Gravelines, S. (2007). French speech acquisition. In S. McLeod (Ed.), *The international guide to speech acquisition* (pp. 364–384). Thomson Delmar Learning.

Rose, Yvan. (2000). *Headness and prosodic licensing in the L1 acquisition of phonology* [Thèse de doctorat, Memorial University of Newfoundland]. <https://doi.org/doi.org/10.13140/2.1.1793.3608>

Rose, Yvan. (2003). Place Specification and Segmental Distribution in the Acquisition of Word-Final Consonant Syllabification. *The Canadian Journal of Linguistics / La Revue Canadienne de*

*Linguistique*, 48(3), 409–435.  
<https://doi.org/10.1353/cjl.2004.0034>

- Rovira-Lastra, B., Flores-Orozco, E. I., Salsench, J., Peraire, M., & Martinez-Gomis, J. (2014). Is the side with the best masticatory performance selected for chewing? *Archives of Oral Biology*, 59(12), 1316–1320.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2014.08.005>
- Ruark, J L, & Moore, C. a. (1997). Coordination of lip muscle activity by 2-year-old children during speech and nonspeech tasks. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research : JSLHR*, 40(6), 1373–1385. <https://doi.org/10.1044/jslhr.4006.1373>
- Ruark, Jacki L., & Moore, C. A. (1997). Coordination of Lip Muscle Activity by 2-Year-Old Children During Speech and Nonspeech Tasks. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 40(6), 1373–1385. <https://doi.org/10.1044/jslhr.4006.1373>
- Running, C. A. (2016). Human Oral Sensory Systems and Swallowing. *Perspectives of the ASHA Special Interest Groups*, 1(13), 38–47. <https://doi.org/10.1044/persp1.SIG13.38>
- Ruscello, D. M. (2010). Collective findings neither support nor refute the use of oral motor exercises as a treatment for speech sound disorders1. *Evidence-Based Communication Assessment and Intervention*, 4(2), 65–72.  
<https://doi.org/10.1080/17489539.2010.501168>
- Ruscello, D. M., & Lass, N. J. (1977). Articulation Improvement and Oral Tactile Changes in Children. *Perceptual and Motor Skills*, 44(1), 155–159. <https://doi.org/10.2466/pms.1977.44.1.155>
- Rvachew, S., & Brosseau-Lapré, F. (2018). *Developmental phonological disorders : foundations of clinical practice* (2<sup>nd</sup> ed.).

Plural Publishing.

- Rvachew, S., Marquis, A., Brosseau-Lapré, F., Paul, M., Royle, P., & Gonnerman, L. M. (2013). Speech articulation performance of francophone children in the early school years: Norming of the Test de D epistage Francophone de Phonologie. *Clinical Linguistics and Phonetics*, 27(12), 950–968. <https://doi.org/10.3109/02699206.2013.830149>
- Sahin-Yilmaz, A., & Naclerio, R. M. (2011). Anatomy and physiology of the upper airway. *Proceedings of the American Thoracic Society*, 8(1), 31–39. <https://doi.org/10.1513/pats.201007-050RN>
- Saitoh, I., Inada, E., Kaihara, Y., Nogami, Y., Murakami, D., Kubota, N., Sakurai, K., Shirazawa, Y., Sawami, T., Goto, M., Nosou, M., Kozai, K., Hayasaki, H., & Yamasaki, Y. (2018). An exploratory study of the factors related to mouth breathing syndrome in primary school children. *Archives of Oral Biology*, 92, 57–61. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2018.03.012>
- Sampallo-Pedroza, R. M., Cardona-López, L. F., & Ramírez-Gómez, K. E. (2014). Description of oral-motor development from birth to six years of age. *Revista Facultad de Medicina*, 62(4), 593–604. <https://doi.org/10.15446/revfacmed.v62n4.45211>
- Sanders, I., Mu, L., Amirali, A., Su, H., & Sobotka, S. (2013). The human tongue slows down to speak: Muscle fibers of the human tongue. *The Anatomical Record*, 296(10), 1615–1627. <https://doi.org/10.1002/ar.22755>
- Sanjeevan, T., & Mainela-Arnold, E. (2019). Characterizing the motor skills in children with Specific Language Impairment. *Folia Phoniatria et Logopaedica*, 71(1), 42–55. <https://doi.org/10.1159/000493262>

- Sano, M., Sano, S., Kato, H., Arakawa, K., & Arai, M. (2018). Proposal for a screening questionnaire for detecting habitual mouth breathing, based on a mouth-breathing habit score. *BMC Oral Health*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-018-0672-6>
- Savariaux, C., Perrier, P., & Orliaguet, J. P. (1995). Compensation strategies for the perturbation of the rounded vowel [u] using a lip tube: A study of the control space in speech production. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 98(5), 2428–2442. <https://doi.org/10.1121/1.413277>
- Scarponi, L., De Felicio, C. M., Sforza, C., Pimenta Ferreira, C. L., Ginocchio, D., Pizzorni, N., Barozzi, S., Mozzanica, F., & Schindler, A. (2018). Reliability and Validity of the Italian Version of the Protocol of Orofacial Myofunctional Evaluation with Scores (I-OMES). *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 70(1), 8–12. <https://doi.org/10.1159/000488027>
- Schelstraete, M. A., Maillart, C., & Jamart, A.-C. (2004). Les troubles phonologiques : cadre théorique, diagnostic et traitement. *Les Troubles Du Langage et Du Calcul Chez l'enfant*, 81–112.
- Schliesser, H. F., & Cary, M. H. (1973). Oral stereognosis in predicting speech performance: Preliminary report. *Perceptual and Motor Skills*, 36(3), 707–711. <https://doi.org/10.2466/pms.1973.36.3.707>
- Seiverling, L., Hendy, H. M., & Williams, K. (2011). The Screening Tool of Feeding Problems applied to children (STEP-CHILD): Psychometric characteristics and associations with child and parent variables. *Research in Developmental Disabilities*, 32(3), 1122–1129. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2011.01.012>
- Senez, C. (2015). *Rééducation des troubles de l'oralité et de la*



*déglutition*. De Boeck Supérieur.

- Serel Arslan, S., Demir, N., Barak Dolgun, A., & Karaduman, A. A. (2016). Development of a new instrument for determining the level of chewing function in children. *Journal of Oral Rehabilitation*, *43*(7), 488–495. <https://doi.org/10.1111/joor.12399>
- Serel Arslan, S., Demir, N., & Karaduman, A. A. (2017). Reliability and validity of a tool to measure the severity of tongue thrust in children: the Tongue Thrust Rating Scale. *Journal of Oral Rehabilitation*, *44*(2), 119–124. <https://doi.org/10.1111/joor.12471>
- Sessle, B. J. (2006). Mechanisms of oral somatosensory and motor functions and their clinical correlates. *Journal of Oral Rehabilitation*, *33*(4), 243–261. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2842.2006.01623.X>
- Shinagawa, H., Ono, T., Honda, E., Sasaki, T., Taira, M., Iriki, A., Kuroda, T., & Ohyama, K. (2004). Chewing-side preference is involved in differential cortical activation patterns during tongue movements after bilateral gum-chewing: a functional magnetic resonance imaging study. *Journal of Dental Research*, *83*(10), 762–766. <https://doi.org/10.1177/154405910408301005>
- Shriberg, L. D., Austin, D., Lewis, B. A., McSweeney, J. L., & Wilson, D. L. (1997). The Percentage of Consonants Correct (PCC) Metric. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *40*(4), 708–722. <https://doi.org/10.1044/jslhr.4004.708>
- Shriberg, L. D., & Kwiatkowski, J. (1982). Phonological Disorders III. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, *47*(3), 256–270. <https://doi.org/10.1044/jshd.4703.256>
- Shriberg, L. D., Kwiatkowski, J., & Hoffmann, K. (1984). A procedure for phonetic transcription by consensus. *Journal of Speech*,

*Language, and Hearing Research*, 27(3), 456–465.  
<https://doi.org/10.1044/jshr.2703.456>

Shriberg, L. D., Kwiatkowski, J., & Mabile, H. L. (2019). Estimates of the prevalence of motor speech disorders in children with idiopathic speech delay. *Clinical Linguistics and Phonetics*, 33(8), 679–706. <https://doi.org/10.1080/02699206.2019.1595731>

Shriberg, L. D., Tomblin, J. B., & McSweeny, J. L. (1999). Prevalence of speech delay in 6-year-old children and comorbidity with language impairment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 42(6), 1461–1481.  
<https://doi.org/10.1044/jslhr.4206.1461>

Shupe, G. E., Wilson, A., & Lockett, C. R. (2019). The effect of oral tactile sensitivity on texture perception and mastication behavior. *Journal of Texture Studies*, 50(4), 285–294.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jtxs.12451>

Singh, V. (2020). *Textbook of anatomy : head, neck and brain (3rd ed.)*. Elsevier Health Sciences.

Smith, A. (2010). Development of neural control of orofacial movements for speech. In W. J. Hardcastle, J. Laver, & F. E. Gibbon (Eds.), *The Handbook of Phonetic Sciences: Second Edition* (pp. 251–296). Blackwell.  
<https://doi.org/10.1002/9781444317251.ch7>

Sosa, A. V., & Stoel-Gammon, C. (2006). Patterns of intra-word phonological variability during the second year of life. *Journal of Child Language*, 33(1), 31–50. <https://doi.org/DOI:10.1017/S0305000905007166>

Souza, C. B., Guerra, J. G., Barbosa, M. A., & Porto, C. C. (2013). Facial rejuvenation by aesthetics myofunctional intervention. A

- integrative review [Rejuvenescimento facial por intervenção miofuncional estética. Revisão integrativa]. *Medicina Cutanea Ibero-Latino-Americana*, 41(4), 165–171. <https://doi.org/10.4464/MC.2013.41.4.5079>
- Souza, T. N., & Avila, C. R. (2011). Severity of phonological disorder, phonological awareness and articulatory praxis in preschoolers. *Revista Da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia*, 16(2), 182–188. <https://doi.org/10.1590/s1516-80342011000200012>
- Stackhouse, J., & Wells, B. (1993). Psycholinguistic assessment of developmental speech disorders. *European Journal of Disorders of Communication*, 28(4), 331–348. <https://doi.org/10.3109/13682829309041469>
- Staiger, A., Schölderle, T., Brendel, B., Bötzel, K., & Ziegler, W. (2017). Oral motor abilities are task dependent: A factor analytic approach to performance rate. *Journal of Motor Behavior*, 49(5), 482–493. <https://doi.org/10.1080/00222895.2016.1241747>
- Stål, P., Marklund, S., Thornell, L. E., De Paul, R., & Eriksson, P. O. (2003). Fibre composition of human intrinsic tongue muscles. *Cells Tissues Organs*, 173(3), 147–161. <https://doi.org/10.1159/000069470>
- Steeve, R. W. (2010). Babbling and chewing: Jaw kinematics from 8 to 22 months. *Journal of Phonetics*, 38(3), 445–458. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wocn.2010.05.001>
- Steeve, R. W., & Moore, C. A. (2009). Mandibular motor control during the early development of speech and nonspeech behaviors. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 52(6), 1530–1554. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2009/08-0020\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2009/08-0020))
- Stemberger, J. P., & Bernhardt, B. M. (2020). Phonetic Transcription

for Speech-Language Pathology in the 21st Century. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 72(2), 75–83.  
<https://doi.org/10.1159/000500701>

Stevenson, R. D., & Allaire, J. H. (1991). The development of normal feeding and swallowing. *Pediatric Clinics of North America*, 38(6), 1439–1453. [https://doi.org/10.1016/s0031-3955\(16\)38229-3](https://doi.org/10.1016/s0031-3955(16)38229-3)

Stillman, B. C. (2002). Making sense of proprioception: The meaning of proprioception, kinaesthesia and related terms. *Physiotherapy*, 88(11), 667–676. [https://doi.org/10.1016/S0031-9406\(05\)60109-5](https://doi.org/10.1016/S0031-9406(05)60109-5)

Stoel-Gammon, C. (2001). Transcribing the speech of young children. *Topics in Language Disorders*, 21(4).  
[https://journals.lww.com/topicsinlanguagedisorders/Fulltext/2001/08000/Transcribing\\_the\\_Speech\\_of\\_Young\\_Children.4.aspx](https://journals.lww.com/topicsinlanguagedisorders/Fulltext/2001/08000/Transcribing_the_Speech_of_Young_Children.4.aspx)

Stoel-Gammon, C. (2011). Relationships between lexical and phonological development in young children. *Journal of Child Language*, 38(1), 1–34.  
<https://doi.org/10.1017/S0305000910000425>

Stone, M. (1991). Toward a model of three-dimensional tongue movement. *Journal of Phonetics*, 19(3), 309–320.  
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0095-4470\(19\)30347-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0095-4470(19)30347-X)

Sylvestre, A., Bouchard, C., Di Sante, M., Julien, C., Martel-Sauvageau, V., & Leblond, J. (2020). Normative indicators of language development in québec french at 36, 42, and 48 months of age: Results of the ellan study. *Canadian Journal of Speech-Language Pathology and Audiology*, 44(3), 137–150.  
[https://cjslpa.ca/files/2020\\_CJSLPA\\_Vol\\_44/No\\_3/CJSLPA\\_Vol\\_44\\_No\\_3\\_2020\\_1200.pdf](https://cjslpa.ca/files/2020_CJSLPA_Vol_44/No_3/CJSLPA_Vol_44_No_3_2020_1200.pdf)

- Takahashi, S., Ono, T., Ishiwata, Y., & Kuroda, T. (1999). Effect of changes in the breathing mode and body position on tongue pressure with respiratory-related oscillations. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, *115*(3), 239–246. [https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(99\)70324-0](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(99)70324-0)
- Teoh, A. P., & Chin, S. B. (2009). Transcribing the speech of children with cochlear implants: clinical application of narrow phonetic transcriptions. *American Journal of Speech-Language Pathology*, *18*(4), 388–401. [https://doi.org/10.1044/1058-0360\(2009/08-0076\)](https://doi.org/10.1044/1058-0360(2009/08-0076))
- Terband, H., Maassen, B., van Lieshout, P., & Nijland, L. (2011). Stability and composition of functional synergies for speech movements in children with developmental speech disorders. *Journal of Communication Disorders*, *44*(1), 59–74. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2010.07.003>
- Teveny, S., & Yamaguchi, N. (2022). Phoneme acquisition in French-speaking children with moderate hearing loss. *Clinical Linguistics & Phonetics*, *00*(00), 1–23. <https://doi.org/10.1080/02699206.2022.2074309>
- Thijs, Z., Bruneel, L., De Pauw, G., & Van Lierde, K. M. (2022). Oral myofunctional and articulation disorders in children with malocclusions: A systematic review. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, *74*(1), 1–16. <https://doi.org/10.1159/000516414>
- Thüer, U, Janson, T., & Ingervall, B. (1985). Application in children of a new method for the measurement of forces from the lips on the teeth. *European Journal of Orthodontics*, *7*(1), 63–78. <https://doi.org/10.1093/ejo/7.1.63>
- Thüer, Urs, Grunder, J., & Ingervall, B. (1999). Pressure from the lips

on the teeth during speech. *The Angle Orthodontist*, 69(2), 133–140. <https://meridian.allenpress.com/angle-orthodontist/article/69/2/133/57334/Pressure-from-the-lips-on-the-teeth-during-speech>

- Thüer, Urs, & Ingervall, B. (1986). Pressure from the lips on the teeth and malocclusion. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 90(3), 234–242. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0889-5406\(86\)90070-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0889-5406(86)90070-3)
- Thüer, Urs, & Ingervall, B. (1990). Effect of muscle exercise with an oral screen on lip function. *European Journal of Orthodontics*, 12(2), 198–208. <https://doi.org/10.1093/ejo/12.2.198>
- Torre, C., & Guilleminault, C. (2018). Establishment of nasal breathing should be the ultimate goal to secure adequate craniofacial and airway development in children. *Jornal de Pediatria*, 94(2), 101–103. <https://doi.org/10.1016/j.jped.2017.08.002>
- Tosello, D. O., Vitti, M., & Berzin, F. (1999). EMG activity of the orbicularis oris and mentalis muscles in children with malocclusion, incompetent lips and atypical swallowing - Part II. *Journal of Oral Rehabilitation* 26(8), pp. 644–649. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2842.1999.00409.x>
- Tremblay, S., Shiller, D. M., & Ostry, D. J. (2003). Somatosensory basis of speech production. *Nature*, 423(6942), 866–869. <https://doi.org/10.1038/nature01710>
- Trudeau-Fisette, P., Ito, T., & Ménard, L. (2019). Auditory and Somatosensory Interaction in Speech Perception in Children and Adults. *Frontiers in Human Neuroscience*, 13(October), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00344>
- Tükel, Ş., Björelíus, H., Henningsson, G., McAllister, A., & Eliasson, A.

- C. (2015). Motor functions and adaptive behaviour in children with childhood apraxia of speech. *International Journal of Speech-Language Pathology*, 17(5), 470–480. <https://doi.org/10.3109/17549507.2015.1010578>
- Turner, A. C., McIntosh, D. N., & Moody, E. J. (2014). Don't Listen With Your Mouth Full: The Role of Facial Motor Action in Visual Speech Perception. *Language and Speech*, 58(2), 267–278. <https://doi.org/10.1177/0023830914542305>
- Tuthill, J. C., & Azim, E. (2018). Proprioception. *Current Biology* 28(5), R194–R203. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.01.064>
- Tyler, A. A., & Macrae, T. (2010). Stimulability: Relationships to other characteristics of children's phonological systems. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 24(4–5), 300–310. <https://doi.org/10.3109/02699200903532516>
- Ukoumunne, O. C., Wake, M., Carlin, J., Bavin, E. L., Lum, J., Skeat, J., Williams, J., Conway, L., Cini, E., & Reilly, S. (2012). Profiles of language development in preschool children: a longitudinal latent class analysis of data from the Early Language in Victoria Study. *Child: Care, Health and Development*, 38(3), 341–349. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2214.2011.01234.x>
- Vacher, C., & Cyna-Gorse, F. (2015). L'innervation motrice de la face. Anatomie chirurgicale et radiologique des paralysies faciales et de leur réparation chirurgicale. *Annales de Chirurgie Plastique Esthétique*, 60(5), 363–369. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.anplas.2015.05.010>
- Valente, M. de F. L., Ribeiro, V. V., Stadler, S. T., Czlusniak, G. R., & Bagarollo, M. F. (2016). Esthetic logopedics intervention in Brazil: literature review [Intervenções em Fonoaudiologia estética no

Brasil: revisão de literatura]. *Audiol., Commun. Res*, 21, e1681–e1681.

[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&amp%0Apid=S2317-64312016000100504](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&amp%0Apid=S2317-64312016000100504)

Valera, F. C. P., Travitzki, L. V. V., Mattar, S. E. M., Matsumoto, M. A. N., Elias, A. M., & Anselmo-Lima, W. T. (2003). Muscular, functional and orthodontic changes in pre school children with enlarged adenoids and tonsils. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 67(7), 761–770. [https://doi.org/10.1016/S0165-5876\(03\)00095-8](https://doi.org/10.1016/S0165-5876(03)00095-8)

Vallino, L. D., & Tompson, B. (1993). Perceptual characteristics of consonant errors associated with malocclusion. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 51(8), 850–856. [https://doi.org/10.1016/S0278-2391\(10\)80101-6](https://doi.org/10.1016/S0278-2391(10)80101-6)

Van Dyck, C., Dekeyser, A., Vantricht, E., Manders, E., Goeleven, A., Fieuws, S., & Willems, G. (2016). The effect of orofacial myofunctional treatment in children with anterior open bite and tongue dysfunction: A pilot study. *European Journal of Orthodontics*, 38(3), 227–234. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjv044>

Vance, M., Stackhouse, J., & Wells, B. (2005). Speech-production skills in children aged 3-7 years. *International Journal of Language and Communication Disorders*, 40(1), 29–48. <https://doi.org/10.1080/13682820410001716172>

Vashdi, E., Avramov, A., Falatov, Š., Yi-Chen, H., Pei-Ru, J., & Mamina-Chiriac, P. T. (2020). The correlation between Non-Speech Oral Motor Exercises (NSOME) and speech production in childhood apraxia of speech treatment. A Wide Clinical Retrospective Research. *Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*, 11(3sup1), 98–113.



<https://doi.org/10.18662/brain/11.3sup1/126>

- Venezia, J. H., Fillmore, P., Matchin, W., Lisette Isenberg, A., Hickok, G., & Fridriksson, J. (2016). Perception drives production across sensory modalities: A network for sensorimotor integration of visual speech. *NeuroImage*, *126*, 196–207. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.11.038>
- Vero, N., Mishra, N., Singh, B. P., Singh, K., Jurel, S. K., & Kumar, V. (2015). Assessment of swallowing and masticatory performance in obturator wearers: a clinical study. *The Journal of Advanced Prosthodontics*, *7*(1), 8. <https://doi.org/10.4047/jap.2015.7.1.8>
- Veron, H. L., Antunes, A. G., Milanese, J. de M., & Corrêa, E. C. R. (2016). Implications of mouth breathing on the pulmonary function and respiratory muscles. *Revista CEFAC*, *18*(1), 242–251. <https://doi.org/10.1590/1982-0216201618111915>
- Vick, J. C., Campbell, T. F., Shriberg, L. D., Green, J. R., Abdi, H., Rusiewicz, H. L., Venkatesh, L., & Moore, C. A. (2012). Distinct developmental profiles in typical speech acquisition. *Journal of Neurophysiology*, *107*(10), 2885–2900. <https://doi.org/10.1152/jn.00337.2010>
- Vick, J., Campbell, T. F., Shriberg, L. D., Green, J. R., Truemper, K., Rusiewicz, H., & Moore, C. A. (2014). Data-driven subclassification of speech sound disorders in preschool children. *Journal of Speech & Hearing Research*, *57*(6), 1–66. <https://doi.org/10.1044/2014>
- Vihman, M. M. (1996). *Phonological development: The origins of language in the child*. Blackwell Publishing.
- Vinter, S. (2001). Les habiletés phonologiques chez les enfants de 2 ans. In *Glossa* (Vol. 77, pp. 4–19).

- Vuolo, J., & Goffman, L. (2018). Language skill mediates the relationship between language load and articulatory variability in children with language and speech sound disorders. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 61(12), 3010–3022. [https://doi.org/10.1044/2018\\_JSLHR-L-18-0055](https://doi.org/10.1044/2018_JSLHR-L-18-0055)
- Wadsworth, D. D., & Maul, C. A. (1998). The prevalence of Orofacial Myofunctional Disorders among children identified with speech and language disorders in grades kindergarten through six. *The International Journal of Orofacial Myology*, 24 (May), 1–19.
- Waite, M. C., Theodoros, D. G., Russell, T. G., & Cahill, L. M. (2012). Assessing children’s speech intelligibility and oral structures, and functions via an internet-based telehealth system. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 18(4), 198–203. <https://doi.org/10.1258/jtt.2012.111116>
- Waring, R., & Knight, R. (2013). How should children with speech sound disorders be classified? A review and critical evaluation of current classification systems. *International Journal of Language and Communication Disorders*, 48(1), 25–40. <https://doi.org/10.1111/j.1460-6984.2012.00195.x>
- Warnier, M., MacLeod, A. A. N., & Maillart, C. (2021). *Speech production in 3 years old French-speaking Belgian children* [Poster presentation]. ICPLA 18th international congress, Online.
- Wasnik, M., Kulkarni, S., Gahlod, N., Khekade, S., Bhattad, D., & Shukla, H. (2020). Mouth breathing habit: a review. *International Journal Of Community Medicine And Public Health*, 8(1), 495. <https://doi.org/10.18203/2394-6040.ijcmph20205742>
- Watkins, K. E., Strafella, A. P., & Paus, T. (2003). Seeing and hearing speech excites the motor system involved in speech production.

*Neuropsychologia*, 41(8), 989–994.  
[https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(02\)00316-0](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(02)00316-0)

Weatherhead, D., & White, K. S. (2017). Read my lips: Visual speech influences word processing in infants. *Cognition*, 160, 103–109.  
<https://doi.org/10.1016/J.COGNITION.2017.01.002>

Webster, R. I., Erdos, C., Evans, K., Majnemer, A., Kehayia, E., Thordardottir, E., Evans, A., & Shevell, M. I. (2006). The clinical spectrum of developmental language impairment in school-aged children: Language, cognitive, and motor findings. *Pediatrics*, 118(5), e1541–e1549. <https://doi.org/10.1542/peds.2005-2761>

Weismer, G., & Cariski, D. (1984). On speakers' abilities to control speech mechanism output: Theoretical and clinical implications. In N. J. Lass (Ed.), *Speech and Language* (pp. 185–241). Elsevier.

Wertzner, H. F., Amaro, L., & Teramoto, S. S. (2005). Severity of phonological disorders: perceptual judgment and percentage of correct consonants [Gravidade do distúrbio fonológico - julgamento perceptivo e porcentagem de consoantes corretas]. *Pró-Fono Revista de Atualização Científica*, 17(2), 185–194.  
<https://doi.org/10.1590/s0104-56872005000200007>

Whalen, D. H. (2019). The motor theory of speech perception. In M. Aronoff (Ed.), *Oxford Research Encyclopedia of Linguistics*. Oxford University Press.  
<https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199384655.013.404>

Wiermer, H. (2017). Clinical Review: Orofacial Myofunctional Disorders. *Cinahl Information Systems*.  
[https://www.ebscohost.com/assets-sample-content/Orofacial\\_Myofunctional\\_Disorders.pdf](https://www.ebscohost.com/assets-sample-content/Orofacial_Myofunctional_Disorders.pdf)

- Williams, Pam, & Stackhouse, J. (1998). Diadochokinetic skills: normal and atypical performance in children aged 3-5 years. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 33, 481–486.
- Williams, Pam, & Stackhouse, J. (2000). Rate, accuracy and consistency: Diadochokinetic performance of young, normally developing children. *Clinical Linguistics and Phonetics*, 14(4), 267–293. <https://doi.org/10.1080/02699200050023985>
- Williams, Pamela. (2016). *The diadochokinetic skills of children with speech difficulties* [Thèse de doctorat, University of Sheffield]. <https://etheses.whiterose.ac.uk/13123/>
- Wilson, E. M., Green, J., Yunusova, Y., & Moore, C. (2008). Task specificity in early oral motor development. *Semin Speech Lang*, 29(4), 257–é66. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1103389>
- Wohlert, A. B., & Smith, A. (2002). Developmental change in variability of lip muscle activity during speech. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 45(6), 1077–1087. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2002/086\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2002/086))
- Wolk, L., & Meisler, A. W. (1998). Phonological assessment: a systematic comparison of conversation and picture naming. *Journal of Communication Disorders*, 31(4), 291–313. [https://doi.org/10.1016/S0021-9924\(97\)00092-0](https://doi.org/10.1016/S0021-9924(97)00092-0)
- Wood, J. L., & Smith, A. (1992). Cutaneous oral-motor reflexes of children with normal and disordered speech. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 34(9), 797–812. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1992.tb11518.x>
- Wren, Y., Miller, L. L., Peters, T. J., Emond, A., & Roulstone, S. (2016). Prevalence and predictors of persistent speech sound disorder at eight years old: Findings from a population cohort study. *Journal*

- of Speech, Language, and Hearing Research*, 59(4), 647–673.  
[https://doi.org/10.1044/2015\\_JSLHR-S-14-0282](https://doi.org/10.1044/2015_JSLHR-S-14-0282)
- Yamaguchi, N. (2012). *Parcours d'acquisition des sons du langage chez deux enfants francophones* [Thèse de doctorat, Université Sorbonne Nouvelle Paris 3]. [https://www.afcp-parole.org/doc/theses/these\\_NY12.pdf](https://www.afcp-parole.org/doc/theses/these_NY12.pdf)
- Yaruss, J. S., & Logan, K. J. (2002). Evaluating rate, accuracy, and fluency of young children's diadochokinetic productions: a preliminary investigation. *Journal of Fluency Disorders*, 27(1), 65–86. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0094-730X\(02\)00112-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0094-730X(02)00112-2)
- Yu, V. Y., Kadis, D. S., Goshulak, D., Namasivayam, A. K., Pukonen, M., Kroll, R. M., De Nil, L. F., & Pang, E. W. (2018). Impact of motor speech intervention on neural activity in children with speech sound disorders: Use of magnetoencephalography. *Journal of Behavioral and Brain Science*, 08(07), 415–429. <https://doi.org/10.4236/jbbs.2018.87026>
- Zaghi, S., Peterson, C., Shamtoob, S., Fung, B., Kwok-Keung Ng, D., Jagomagi, T., Archambault, N., O'connor, B., Winslow, K., Peeran, Z., Lano, M., Murdock, J., Valcu-Pinkerton, S., Morrissey, L., & Assessment, L. M. (2020). Nasal Breathing Using Lip Taping: A Simple and Effective Screening Tool. *International Journal of Otorhinolaryngology*, 6(1), 10–15. <https://doi.org/10.11648/j.ijo.20200601.13>
- Zelaznik, H. N., & Goffman, L. (2010). Generalized motor abilities and timing behavior in children with specific language impairment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 53(2), 383–393. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2009/08-0204\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2009/08-0204))

- Zhao, Z., Zheng, L., Huang, X., Li, C., Liu, J., & Hu, Y. (2021). Effects of mouth breathing on facial skeletal development in children: a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health*, *21*(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s12903-021-01458-7>
- Zharkova, N., Hewlett, N., & Hardcastle, W. J. (2011). Coarticulation as an indicator of speech motor control development in children: An ultrasound study. *Motor Control*, *15*(1), 118–140. <https://doi.org/10.1123/mcj.15.1.118>
- Zhou, P., Chen, Y., Zhang, J., Wang, K., & Svensson, P. (2018). Quantitative sensory testing for assessment of somatosensory function in human oral mucosa: a review. *Acta Odontologica Scandinavica*, *76*(1), 13–20. <https://doi.org/10.1080/00016357.2017.1375554>
- Ziegler, W. (2003a). Speech motor control is task-specific: Evidence from dysarthria and apraxia of speech. *Aphasiology*, *17*(1), 3–36. <https://doi.org/10.1080/02687030244000554>
- Ziegler, W. (2003b). To speak or not to speak: Distinctions between speech and nonspeech motor control: A reply to Ballard, Robin and Folkins. *Aphasiology*, *17*(2), 99–105. <https://doi.org/10.1080/729255218>

# **ANNEXES**

## Annexe 1.

Version francophone de l'Orofacial Myofunctional Evaluation with Score traduite par un groupe de logopèdes/orthophonistes experts et approuvée par les auteurs (de Felício & Ferreira, 2008)

| APPARENCE ET POSTURE                                |   |        |
|---|---|--------|
| <b>Posture labiale</b>                              |   | Scores |
| Fermeture labiale normale                           | Normal  | (3)    |
| Fermeture labiale avec effort                       | Augmentation de l'activité des lèvres et du muscle mentonnier | (2)    |
| Absence de fermeture labiale (incompétence labiale) | Dysfonction légère  | (2)    |
|   | Dysfonction sévère  | (1)    |
| <b>Posture mandibulaire verticale</b>               |   | Scores |
| Posture normale                                     | Avec espace libre interdentaire                               | (3)    |
| Occlusion des dents (ou)                            | Sans espace libre interdentaire                               | (2)    |
| Ouverture buccale                                   | Dysfonction légère  | (2)    |
| Ouverture buccale excessive                         | Dysfonction sévère  | (1)    |
| <b>Apparence des joues</b>                          |   | Scores |
| Normal  |   | (3)    |
| Augmentation du volume ou flasques/affaissées       | Dysfonction légère  | (2)    |
|   | Dysfonction sévère  | (1)    |
| <b>Apparence du visage</b>                          |   | Scores |
| Symétrie entre les côtés droits et gauches          | Normal  | (3)    |
| Asymétrie   | Dysfonction légère  | (2)    |
|   | Dysfonction sévère  | (1)    |
| <b>Posture linguale</b>                             |   | Scores |
| Contenue dans la cavité orale                       | Normal  | (3)    |
| Entre les arcades dentaires                         | Adaptation ou dysfonction                                     | (2)    |
|   | Protrusion excessive  | (1)    |
| <b>Apparence du palais</b>                          |   | Scores |
|   | Normale   | (3)    |
| Diminution de la largeur                            | Légère  | (2)    |
|   | Sévère  | (1)    |
| Total des résultats Apparence et Posture            |   |        |

| MOBILITÉ  |                       |           |                  |                  |
|---|-----------------------|-----------|------------------|------------------|
| (Des dysfonctions ou des altérations ont été considérées comme présentes lorsqu'un manque de précision dans le mouvement, un tremblement, des mouvements associés à d'autres composants (ex. : les lèvres accompagnent le mouvement de la langue), et une incapacité à effectuer le mouvement ont été observés) |                       |           |                  |                  |
| Performance   | Mouvements des lèvres |           |                  |                  |
|   | Protrusion            | Rétrusion | Latéral à droite | Latéral à gauche |
| Précis  | (3)                   | (3)       | (3)              | (3)              |
| Manque de précision   | (2)                   | (2)       | (2)              | (2)              |



|                     |                                   |           |                  |                                     |                  |           |
|---------------------|-----------------------------------|-----------|------------------|-------------------------------------|------------------|-----------|
| Incapacité sévère   | (1)                               | (1)       | (1)              | (1)                                 | Résultat (somme) |           |
| Performance         | <b>Mouvements de la langue</b>    |           |                  |                                     |                  |           |
|                     | Protrusion                        | Rétrusion | Latéral à droite | Latéral à gauche                    | Monter           | Descendre |
| Précis              | (3)                               | (3)       | (3)              | (3)                                 | (3)              | (3)       |
| Manque de précision | (2)                               | (2)       | (2)              | (2)                                 | (2)              | (2)       |
| Incapacité sévère   | (1)                               | (1)       | (1)              | (1)                                 | (1)              | (1)       |
| Résultat (somme)    |                                   |           |                  |                                     |                  |           |
| Performance         | <b>Mouvements de la mandibule</b> |           |                  |                                     |                  |           |
|                     | Ouverture                         | Fermeture | Latéral à droite | Latéral à gauche                    | Protrusion       |           |
| Précis              | (3)                               | (3)       | (3)              | (3)                                 | (3)              |           |
| Manque de précision | (2)                               | (2)       | (2)              | (2)                                 | (2)              |           |
| Incapacité sévère   | (1)                               | (1)       | (1)              | (1)                                 | (1)              |           |
| Résultat (somme)    |                                   |           |                  |                                     |                  |           |
| Performance         | <b>Mouvements des joues</b>       |           |                  |                                     |                  |           |
|                     | Gonfler                           | Aspirer   | Rétracter        | Transférer l'air de droite à gauche |                  |           |
| Précis              | (3)                               | (3)       | (3)              | (3)                                 |                  |           |
| Manque de précision | (2)                               | (2)       | (2)              | (2)                                 |                  |           |
| Incapacité sévère   | (1)                               | (1)       | (1)              | (1)                                 |                  |           |
| Résultat (somme)    |                                   |           |                  |                                     |                  |           |

| <b>FONCTIONS</b>  |                           |               |
|---|---------------------------|---------------|
| <b>Respiration</b>  |                           | <b>Scores</b> |
| Respiration nasale  | Normal                    | (3)           |
| Respiration buccale   | Dysfonction légère        | (2)           |
|   | Dysfonction sévère        | (1)           |
| Résultat  |                           |               |
| <b>Déglutition : comportement labial</b>                            |                           | <b>Scores</b> |
| Fermeture labiale normale   | Sans effort               | (3)           |
| Fermeture labiale avec effort                                       | Dysfonction légère        | (2)           |
|   | Dysfonction modérée       | (1)           |
| Absence de fermeture labiale (incompétence labiale)                 | Dysfonction sévère        | (0)           |
| <b>Déglutition : comportement lingual</b>                           |                           | <b>Scores</b> |
| Contenue dans la cavité orale                                       | Normal                    | (3)           |
| Entre les arcades dentaires   | Adaptation ou dysfonction | (2)           |
|   | Protrusion excessive      | (1)           |
| Résultat  |                           |               |
| <b>Déglutition : autres comportements et changements de signaux</b> |                           | <b>Scores</b> |
| Mouvement de tête (ou de mâchoire)                                  | Absent                    | (1)           |
|   | Présent                   | (0)           |

|   |         |        |
|---|---------|--------|
| Tension des muscles de la face                            | Absent  | (1)    |
|   | Présent | (0)    |
| Fuites d'aliments   | Absent  | (1)    |
|   | Présent | (0)    |
| Résultat  |         |        |
| <b>Item complémentaire – efficacité de la déglutition</b> |         | Scores |
| <b>Bolus solide</b>                                       |         |        |
| Pas de répétition de la déglutition                       |         | (3)    |
| Une répétition  |         | (2)    |
| Déglutitions multiples                                    |         | (1)    |
| <b>Bolus liquide</b>                                      |         |        |
| Pas de répétition de la déglutition                       |         | (3)    |
| Une répétition  |         | (2)    |
| Déglutitions multiples                                    |         | (1)    |
| Résultat  |         |        |
| <b>Résultat total de déglutition (somme)</b>              |         | Scores |

|   |                                |        |
|---|--------------------------------|--------|
| <b>Mastication : morsure</b>  |                                | Scores |
| Avec les incisives  |                                | (3)    |
| Avec les dents postérieures   |                                | (2)    |
| Coupé en morceaux avec les mains                                    |                                | (1)    |
| Résultat  |                                |        |
| <b>Mastication : type</b>   |                                | Scores |
| Bilatéral   | Alterné                        | (4)    |
|   | Simultané                      | (3)    |
| Unilatéral (effectue la fonction du même côté de la cavité orale)   | Préférence (66% du même côté)  | (2)    |
|   | Chronique (95% du même côté)   | (1)    |
| Antérieure  | Trituration avec les incisives | (1)    |
| N'effectue pas la fonction  |                                | (1)    |
| Résultat  |                                |        |
| <b>Mastication : autres comportements et changements de signaux</b> |                                | Scores |
| Mouvement de tête   | Absent                         | (1)    |
|   | Présent                        | (0)    |
| Posture altérée   | Absent                         | (1)    |
|   | Présent                        | (0)    |
| Fuites d'aliments   | Absent                         | (1)    |
|   | Présent                        | (0)    |
| Résultat  |                                |        |
| <b>Résultat total de mastication (somme)</b>                        |                                |        |

## Annexe 2.

*Liste des données recueillies en début de récolte de données puis au cours du suivi longitudinal*

|   |
|---|
| Données initiales   |
| Coordonnées   |
| Rôle de la personne qui complète le questionnaire   |
| Genre de l'enfant   |
| Poids de naissance  |
| Taille de naissance   |
| Prématurité   |
| Vitesse du développement  |
| Suivi ostéo/posturo à la naissance  |
| Premiers mots   |
| Premières phrases   |
| Troubles langagiers dans la famille   |
| Durée d'allaitement   |
| Durée des repas   |
| Données longitudinales  |
| Prise en charge logopédique   |
| Prise en charge orthodontique   |
| Troubles ORL fréquents  |
| Inquiétude pour le développement langagier  |
| Succion non-nutritive (type, fréquence, arrêt)  |
| Succion nutritive (type, fréquence, arrêt)  |
| Présence de reflux  |
| Intervention ORL  |
| Préférence de texture d'aliments  |
| Frénectomie   |
| Intelligibilité par l'enseignant  |
| Critères de respiration buccale (Abreu et al., 2008)  |
| Pediatric Sleep Questionnaire (Chevrin et al., 2000 ; version francophone par Jordan et al., 2019)  |
| Intelligibility in Context Scale (McLeod et al., 2012 ; version francophone par MacLeod, 2012)  |
| Picky eaters (Toyama & Agras, 2016 ; version francophone traduite par un groupe de logopèdes/orthophonistes experts et approuvée par les auteurs) |

### Annexe 3.

Règles employées pour la transcription des échantillons de parole en vue d'un traitement via le logiciel Phon

#### 1. Références sur la transcription phonétique

- Stemberger, J. P., & Bernhardt, B. M. (2020). Phonetic Transcription for Speech-Language Pathology in the 21st Century. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 72(2), 75–83. <https://doi.org/10.1159/000500701>
- MacLeod, A. A. N. (2015). Guide d'initiation à la transcription phonétique [Document non publié].
- Heselwood, B. (2013). *Phonetic transcription in theory and practice*. Edinburgh University Press.
- Shriberg, L. D., Kwiatkowski, J., & Hoffmann, K. (1984). A procedure for phonetic transcription by consensus. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 27(3), 456–465. <https://doi.org/10.1044/jshr.2703.456>

#### 2. Utilisation de l'API

Il est toujours préférable de transcrire avec un symbole de l'API correspondant au son produit. Si la production s'éloigne d'un symbole existant, il est possible d'employer un diacritique (voir point suivant). Pour cibler le phonème IPA correct, se référer à <https://www.ipachart.com/>

Quelques exemples :

- Ces phonèmes peuvent convenir pour certaines distorsions du [t] et du [d] (à aller écouter sur *ipachart*) : [t̪], [t̪s], [t̪ʃ], [d], [d̪], [d̪ʒ]
- Pour les [s] et les [z] avec sigmatisme interdental, utiliser les phonèmes suivants : [θ] et [ð]
- Pour les [ʃ] et les [ʒ] distordus avec schlintement, utiliser respectivement [ʃ̺] ou [ç̺] et [ʒ̺]
- Le [N] est un [n] plus reculé, comme dans 1951\_1C item 22

- Un [l] qui se situe entre [j] et [l] sans être ni l'un ni l'autre est transcrit [ʌ]

### 3. Utilisation de diacritiques

On ne note le diacritique que si le phonème est audiblement altéré, pas s'il s'agit d'une variante acceptable du phonème cible. On emploie également un diacritique lorsque la production du mot ne correspond pas à la cible, mais qu'elle est insuffisamment marquée que pour altérer la structure du mot et être considérée comme un adjonction.

Quelques exemples :

- Les explosives qui ne sont pas relâchées (donc qui n'explorent pas) s'indiquent <sup>ˀ</sup>
- Les phonèmes aspirés ou soufflés s'indiquent <sup>h</sup>
- Les [R] dérhotosés se transcrivent [R̥]

### 4. Cible adulte

La cible adulte est la cible que l'on garde en tête lors de la transcription. On considère qu'à partir du moment où il y a une hésitation du transcripateur quant à la justesse du phonème, c'est que le phonème n'est pas produit de manière suffisamment mature et précise. Cela permet d'être cohérent avec l'objectif d'évaluer le contrôle moteur de la production de l'enfant. On laissera donc peu le bénéfice du doute. Lors d'une hésitation sur la justesse de la production, se poser la question : « est-ce que si la production venait d'un adulte, nous la considérerions comme correcte ? ». Dans cette idée, on considère les « particularités régionales » comme des erreurs, car on considère qu'elles surviennent avec la coarticulation et que l'adulte ne ferait pas d'erreur sur un mot isolé (ex. : [nɛ̃] ou [lãk] est une erreur, y compris dans la région liégeoise car elle serait considéré comme tel chez l'adulte en dénomination d'images).

### Quelques exceptions :

- Lorsque l'enfant prononce le e censé être muet, nous ne le comptabilisons pas comme une erreur
- On ne tient pas compte des bizarreries de prosodie qui sont fréquents chez les enfants plus jeunes (phonème prolongé, cris, coupure dans la production,...)
- Faire attention à ne pas confondre l'explosion d'une plosive avec la présence d'un phonème qui suit. Exemple : 1919\_1C, item 3 : [pɔpɔtat] et pas [pɔpɔtats]
- [ʁ] ou [R] ; [a] ou [ɑ] ; [w] ou [ʏ] ; [ɔʀeje] ou [ɔʀeje] ne sont pas des erreurs qui nécessitent d'être relevées

## **5. Transcription des voyelles**

S'il y a hésitation, on considère la voyelle comme correcte si elle se trouve dans le même quartier vocalique que la voyelle cible.

## **6. Situations particulières**

### Lorsque l'enfant ne produit que la fin du mot à la suite de l'ébauche phonétique

Il s'agit généralement d'une erreur de passation de la part de l'expérimentateur. Il faut retranscrire le mot sans tenir compte de l'amorce, tel que l'enfant le produit + préciser dans les commentaires que l'amorce a été donnée. Par exemple : le transcripteur dit « c'est l'o... » et l'enfant répond [ʀeje], on transcrira [ʀeje] même s'il s'agit d'une erreur de l'expérimentateur de ne pas avoir fait répété l'entièreté du mot.

### Lorsqu'un échantillon est très inintelligible

On transcrit une première fois en réécoutant autant de fois que nécessaire et en répétant à haute voix les transcriptions pour les faire correspondre à la production. Ensuite, on réitère la transcription le lendemain puis on compare les différences de transcriptions. Lorsqu'il y a des différences, on réécoute une troisième fois.

## Prise en compte de l'article « l' » suivi d'une voyelle

|  | <u>Production spontanée</u>   | <u>Production sur ébauche ou répétition</u>   |
|--|---|---|
| <u>Nombre de syllabes correct</u>                  | <p>- Production correcte, nombre de syllabes correct : L'article n'est pas compris dans la transcription. Ex. : [l-ipopotam] → [ipopotam]</p> <p>- Production altérée, nombre de syllabe correct : L'article n'est pas compris dans la transcription. Ex. : [l-itototam] → [itototam]</p> | idem  |
| <u>Réduction syllabique</u>                        | - Réduction syllabique, on considère [l] comme une erreur : L'article est compris dans la transcription. Ex. : [l-ipotam] → [lipotam]   | Si l'expérimentateur a donné l'article précédemment, on tient compte que l'enfant est incité à employer cet article : L'article n'est pas compris dans la transcription. Ex. : l'expérimentateur dit « c'est l'i... » et l'enfant répond [lipotam] → [ipotam] |
| <u>Lorsque le mot commence par un « h » aspiré</u> | - On comptabilise comme incorrect le fait de contracter l'article lorsque le mot qui suit commence par un « h » aspiré. L'article est compris dans la transcription. Ex. : [l-ibu] → [libu]   | idem  |
| <u>Précédé de l'article « un(e) »</u>              | - Lorsque l'enfant emploie « un/e » puis ajoute une liaison erronée : L'article est compris dans la transcription. Ex. : « Un » [l-ipopotam] → [lipopotam]  | idem  |

## Prise en compte de la liaison avec l'article « un »

|                            | <u>Spontané - Ebauche - Répétition</u>   |
|----------------------------|--|
| Nombre de syllabes correct | <ul style="list-style-type: none"><li>- Lorsque le mot commence par une voyelle et que l'enfant fait la liaison : L'article n'est pas compris dans la transcription. Ex : « un » [n-elefā] → [elefā]</li><li>- Production incorrecte, mais nombre de syllabe correct : L'article n'est pas compris dans la transcription. Ex. : un [n-elepā] → [elepā] (((parfois cela fait passer inaperçu une erreur d'assimilation car ex. nenefa).</li></ul> |
| Réduction syllabique       | <ul style="list-style-type: none"><li>- Réduction syllabique, on considère la liaison comme une erreur : L'article est compris dans la transcription. Ex : « un [n-efā] → [nefā]</li></ul>   |

### **7. Distorsions sur Phon**

Phon ne considère par un symbole de l'API comme une distorsion, mais comme une substitution. Par exemple, il comptabilise [θ] ([s] distordu) comme une substitution et ce, même si [s] est le phonème cible. Il est donc nécessaire de stipuler à Phon quels sont les phonèmes distordus. Pour ce faire, il existe un signe qui marque la distorsion :

Attention, ce symbole est à ajouter uniquement sur les phonèmes produits qui correspondent à la cible, mais qui sont distordus. Un phonème qui est a substitué et distordu ne être étiquetté avec cette marque, sinon Phon ne tiendra plus compte du fait que le phonème a été substitué.

### **8. Calcul du pourcentage de fidélité**

Pour l'entraînement à la transcription, nous calculons le pourcentage de fidélité intra et interjuges sur chaque échantillon un par un. Une fois cette étape passée, nous faisons une moyenne de la fidélité des transcriptions sur bas de toutes les sessions.



