



Profils types des oppositions orales-nasales dans le contexte de la rééducation orthophonique

Etienne Sicard, Anne Menin-Sicard, Gabriel Rousteau, Sandrine Michel

► To cite this version:

Etienne Sicard, Anne Menin-Sicard, Gabriel Rousteau, Sandrine Michel. Profils types des oppositions orales-nasales dans le contexte de la rééducation orthophonique. 2021. hal-03131029

HAL Id: hal-03131029

<https://hal.science/hal-03131029>

Preprint submitted on 4 Feb 2021

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

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

Profils types des oppositions orales-nasales dans le contexte de la rééducation orthophonique

Etienne Sicard (1,2), Anne Menin-Sicard (2), Sandrine Michel (2), Gabriel Rousteau (3)

INSA-GEI, 135 Avenue de Rangueil, 31077 Toulouse (1)

Laboratoire LURCO www.lurco.unadreo.org (2)

CHU Nantes (3)

Résumé :

Dans cet article, nous nous intéressons aux caractéristiques fréquentielles des oppositions de voyelles orales et nasales telles que /o-on/, /a-an/ et /è-in/. Nous proposons une approche basée sur l'analyse spectrale, le calcul du spectre moyen, puis l'analyse statistique sur 3 groupes de cas distincts, hommes, femmes et enfants. Après avoir rappelé les notions de résonance et d'antirésonance, nous construisons un corpus de parole normale basé sur des voyelles isolées, voyelles extraites de mots très simples ou logatomes, ainsi que des oppositions extraites de phrases spécifiques, avec un risque d'erreur de segmentation et de contamination limité. Par le biais d'analyses statistiques, nous mettons en évidence certaines caractéristiques fréquentielles spécifiques des oppositions orales/nasales, permettant d'entrevoir la mise au point d'un outil temps réel de rééducation des confusions orales/nasales en contexte de clinique orthophonique. Nous analysons enfin 4 cas de parole normale et altérée provenant de la clinique, en se focalisant sur l'analyse des oppositions et de possibles imprécisions.

Mots clé : orthophonie, évaluation de la parole, nasalisation, parole de l'enfant, évaluation objective, hypernasalisation, enfants, hypo-nasalisation, voyelles orales, voyelles nasales.

Introduction

Le simple abaissement du voile du palais se traduit par l'ouverture de la cavité nasale à et permet aux vibrations sonores émises par les cordes vocales de se propager non seulement par la bouche, mais aussi par le nez, comme illustré figure 1 avec la voyelle « orale » /a/ et sa correspondante nasale /an/. S'il est difficile de comparer les réalisations temporelles (signal en bas de l'écran), on peut constater certaines différences dans le spectrogramme, représentation qui donne les composantes énergétiques (Axe des Y gradué en fréquence avec des niveaux de couleurs correspondant à l'énergie) en fonction du temps (Axe des X gradué en secondes).

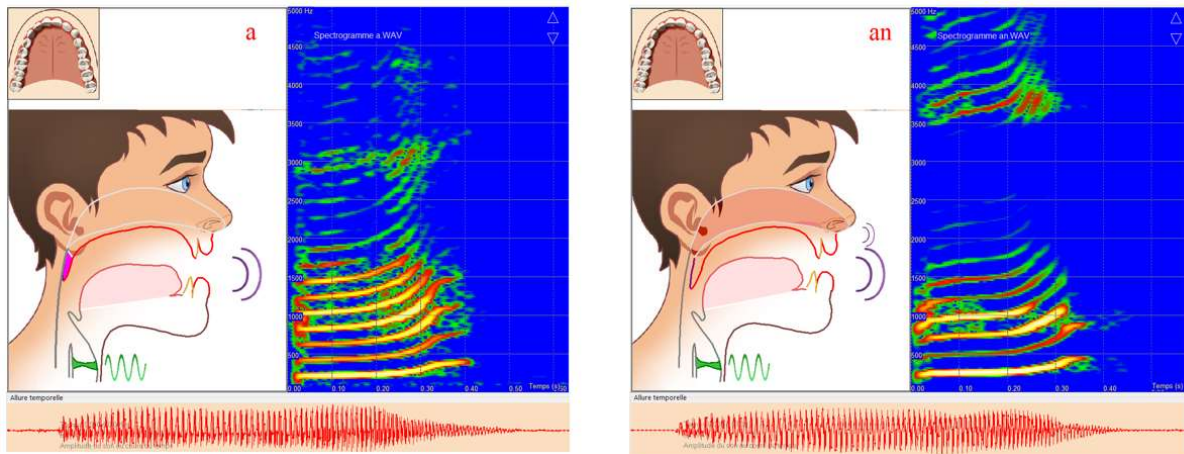


Figure 1 : position des articulateurs, allure temporelle et spectrogramme du /a / (gauche) et /an/ (droite)

Oral 		Nasal			
ou /ours/	[u]	u /usine/	[y]	i /ici/	[i]
on /oncle/	[ɔ̃]	un /lundi/	[œ̃]	eu /heureux/	[ø]
au /olive/	[o]	in /pain/	[ɛ̃]	e /peur/	[œ]
o /ortie/	[ɔ]			è /aide/	[ɛ]
an /enfant/	[ɑ̃]	a /sa/	[a]		

k /copie/	[k]	t /tapis/	[t]		p /papa/	[p]	
g /gâteau/	[g]	d /dent/	[d]	gn /peigne/	[ɲ]	b /bonbon/	[b]
r /rat/	[ʁ]	l /lait/	[l]	n /noël/	[n]	m /maman/	[m]
ch /chat/	[ʃ]	s /sel/	[s]	f /fille/	[f]		
j /jeu/	[ʒ]	z /zèbre/	[z]	v /valise/	[v]		

Figure 2 : Oppositions orales/nasales : voyelles à gauche, consonnes à droite

Nous considérons ici 3 oppositions de voyelles orales et nasales (Figure 2 à gauche) :

- /a/ -> /an/
- /au/ -> /on/
- /è/ -> /in/

Concernant les consonnes, nous pouvons aussi identifier 2 oppositions, que nous ne traiterons cependant pas dans cet article (Figure 2 à droite) :

- /d/ -> /n/
- /b/ -> /m/

Notion de formant et anti-formants

Avant d'étudier en détail l'impact acoustique de la nasalisation, nous devons préciser les notions de formant et d'anti-formants, de même que donner quelques valeurs repères. Si l'on considère la distance l entre les cordes vocales et les lèvres, nous pouvons exprimer les fréquences de résonance d'un simple tube sous la forme de l'équation 1. La section du tube est considérée comme homogène, une hypothèse pour le moins réductrice.

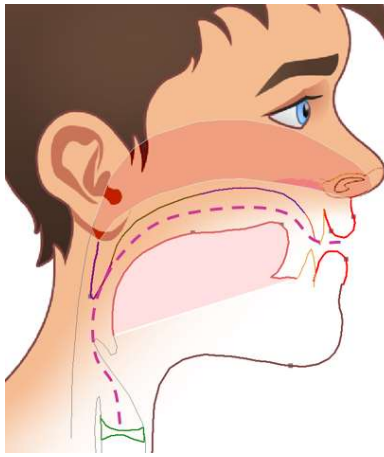


Figure 3 : illustration de la distance l entre les cordes vocales et les lèvres

$$F_n = \frac{(2n-1)}{4l} c \text{ eq. 1}$$

avec :

$$l = 8 - 18 \text{ cm}, c = 350 \text{ m/s}$$

	l (cm)	F1 (Hz)	F2 (Hz)	F3 (Hz)
Enfant	8	1100	3200	5400
Femme	12	730	2200	3600
Homme	18	500	1500	2500

Si l'on considère une longueur variant de 8 cm (enfant) à 18 cm (homme) en moyenne, la valeur fréquentielle des zones de résonance évolue du simple au double. Nous donnons figure 4 l'exemple d'un spectre moyen du /a:/ prononcé par 20 femmes [Lefol 2018]. Les zones de résonance correspondent particulièrement bien aux zones de formants prédites par l'équation 1.

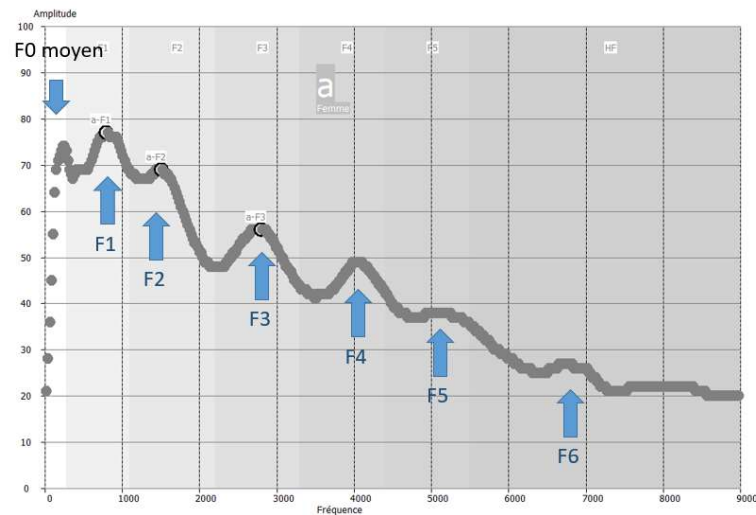


Figure 4 : zones de résonances bien visibles sur un /a:/, moyenne des spectres de 20 femmes [Lefol 2018]

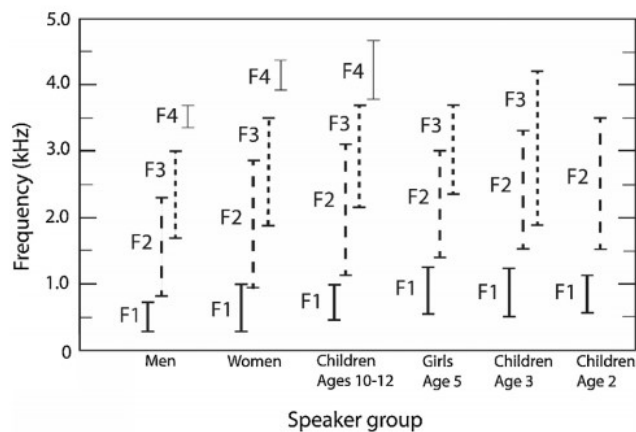


Figure 5 : revue de littérature des zones de formants homme, femme, enfant [Kent 2018]

Nous avons assimilé le conduit vocal à un simple tube, ce qui nous a permis de donner des ordres de grandeur des zones de résonance. Dans la réalité, la variabilité de la section du conduit amène à des valeurs assez différentes, notamment concernant le formant F3, la revue de littérature de Kent [Kent 2018] précisant les valeurs publiées et mettant en évidence un phénomène assez marqué de recouvrement des formants F2 et F3. La détection des formants ne doit pas se limiter à des zones fréquentielles exclusives et rigides, mais à des zones qui peuvent se superposer, avec une dépendance en fonction du genre, de l'âge de l'enfant (Figure 5) et de la tessiture de la voix du sujet.

Un anti-formant est une zone de fréquence où les composantes harmoniques de la parole sont très fortement atténuées (rapport allant de 100 à 1000). Le spectre moyen prend alors la forme d'une cuvette qui peut descendre jusqu'au niveau du bruit de fond, comme le /i:/ dans la zone 1000 Hz pour les hommes, 1500 Hz pour les femmes, et 2000 Hz pour les enfants (Figure 6).

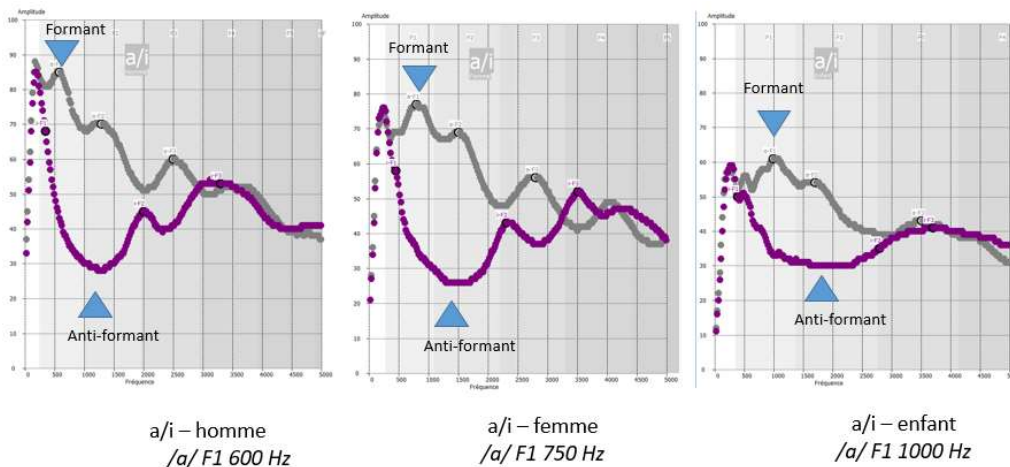


Figure 6 : Zones de forte atténuation sur un /i:/ (courbe violette), comparés au /a:/ (courbe grise), moyenne des spectres de 20 hommes, 20 femmes et 50 enfants [Lefol 2018] [Remacle 2018]

Impact acoustique de la nasalisation

Si le principe mécanique du mouvement vélaire est simple, les avis sont variables, voire contradictoires, sur les conséquences de l'ouverture et de la fermeture du voile du palais sur les composantes spectrales des voyelles et consonnes. Parmi les précurseurs, on peut citer Delattre, pour lequel ce qu'on appelle "nasalité" n'est autre qu'un déséquilibre dans l'intensité des deux premiers formants au profit du second [Delattre 1968]. Dans son tableau « Spectral Features of Nasalisation » [Baken 2000] compile plus d'une vingtaine de publications scientifiques et liste un panel très varié d'effets, comme par exemple :

- L'augmentation de largeur de certains formants
- Le décalage de fréquence de certains formants
- L'apparition de résonance
- Une diminution du 1er formant au profit du second
- Du bruit entre formant
- Un œil de la nasalisation à 5KHz
- Une diminution de l'intensité
- Etc.

Comment expliquer que les avis ne soient pas concordants ? Le couplage entre le conduit oral et le conduit nasal en lien avec l'ouverture du voile du palais a des conséquences considérables sur les caractéristiques acoustiques. Dans le cas des voyelles orales, les zones de résonances sont essentiellement dictées par la position de langue et l'ouverture de la bouche, à la base de la célèbre représentation du triangle vocalique [Sicard 2020b]. En revanche, dans le cas des voyelles nasales, le couplage avec le naso-pharynx et à un degré moindre les sinus rendent les caractéristiques de résonance beaucoup plus complexes. Les indices de la nasalisation peuvent dans une certaine mesure dépendre des différences anatomiques entre les individus. L'analyse formantique doit intégrer les effets des passages vers les narines (Figure 7), ainsi que le couplage avec les sinus maxillaires, frontaux et sphénoïdaux [Pruthi 2007].

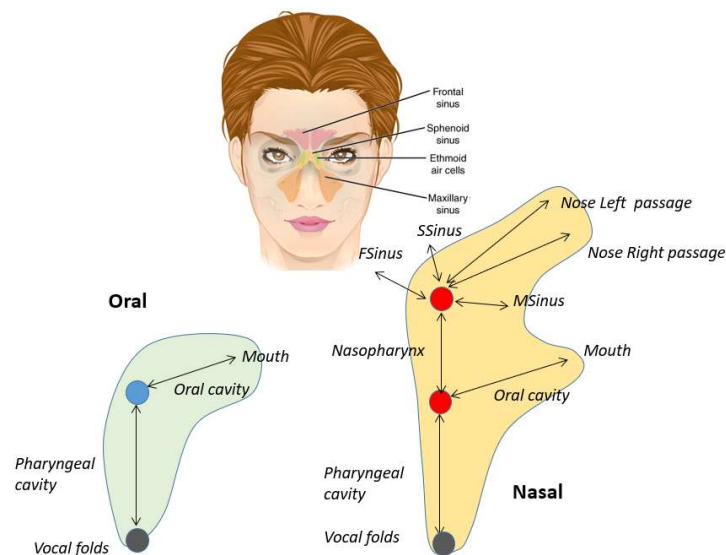


Figure 7 : Couplage des cavités pharyngées, buccales, naso-pharynx et sinus, d'après [Pruthi 2007]

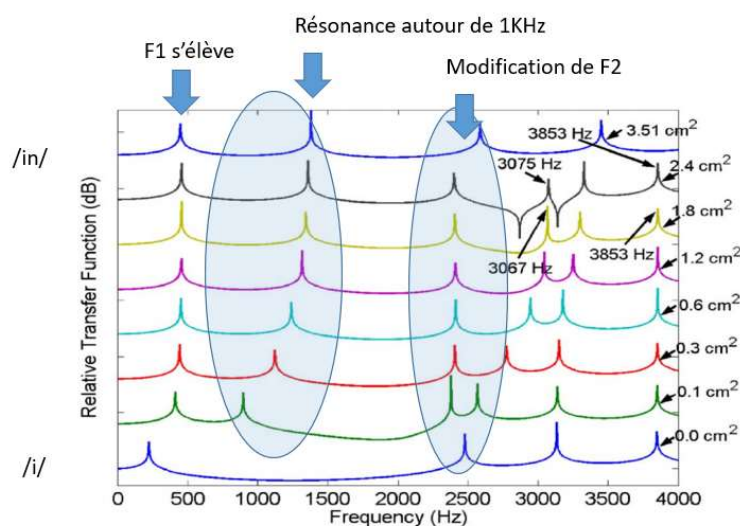


Figure 8 : Impact de la cavité nasale sur les caractéristiques du /i/ selon son volume : modification des formants et apparition d'un pic vers 1 KHz [Pruthi 2007]

Étant donné la difficulté d'identifier des indices de nasalisation génériques qui s'appliquent à tous les phonèmes, les études scientifiques sélectionnent souvent la voyelle /i/ pour l'analyse de la nasalisation [Kent 2018]. L'effet du couplage acoustique est considéré comme plus important pour les voyelles avec mâchoire haute (/i, ou/) que basse (/a/). En langue anglaise, les voyelles orales hautes adjacentes aux consonnes nasales ont souvent une durée de nasalisation plus longue que les voyelles basses dans le même contexte. Enfin, un « pôle nasal » apparaît près de 1 KHz dans la voyelle nasale /in/ par rapport au /è/, avec une forme assez proéminente, plutôt bien différenciée des formants F1 et F2, comme l'illustre Pruthi dans ses modélisations [Pruthi 2007] (Figure 8).

L'étude spécifique du /i/ est défendue par Novotny pour l'étude de l'hypernasalité pour les patients dysarthriques [Novotny 2017], en se focalisant aussi sur les composantes spectrales autour de 1 KHz. Dans le cadre d'une analyse perceptive, une hypernasalité légère à modérée a en effet été constatée dans 65% des cas de Maladie de Parkinson, 89% de la maladie de Huntington, contre seulement 22% des témoins.

Outils d'analyse

Spectrogramme

Nous utilisons le spectrogramme disponible dans DIADOLAB [Sicard 2020] comme outil d'analyse préliminaire de la production sonore. Le spectrogramme donne une représentation au cours du temps (axe des X) des niveaux d'énergie selon la fréquence (axe des Y). Un exemple de spectrogramme est proposé à la figure 9, correspondant à la production de voyelles isolées /a-an, au-on, è-in/ par une femme de 22 ans normo phonique. Le calcul du spectrogramme repose sur une transformée de Fourier glissante sur l'ensemble de l'échantillon sonore, permettant de présenter en un seul graphe environ 1000 décompositions spectrales (ou « spectres » fréquentiels) élémentaires de petites portions de son, grâce à un jeu de couleurs représentant l'énergie. Le spectrogramme donne une décomposition fréquentielle très précise et informative des phonèmes, en permettant notamment d'extraire :

- La fréquence fondamentale F0 (trait horizontal surligné en noir)
- Les zones de résonance (formants F1, F2, etc.) et les antirésonances
- Le bruit éventuel (attaque dure, souffle, éraillure, etc.).

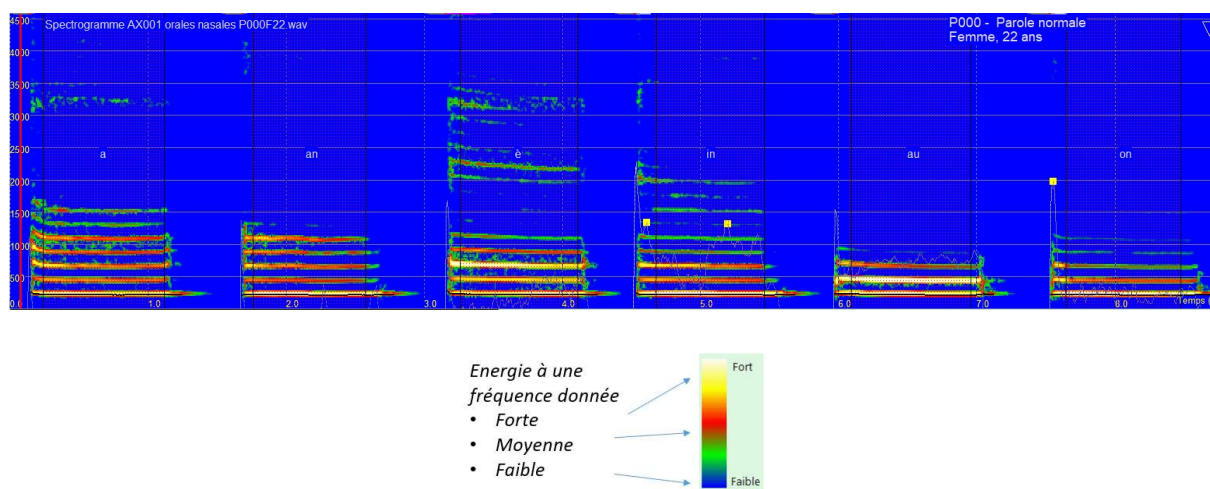


Figure 9 : Spectrogramme des oppositions orales-nasales, femme de 22 ans, parole normale, et code des couleurs utilisées

Profil moyen d'un segment pour un individu

Nous utilisons l'outil Phonologie de DIADOLAB pour la segmentation, particulièrement aisée dans le cas des voyelles isolées. Pour un segment donné, la série de décompositions spectrales peut être moyennée, que l'on appelle profil spectral. La très grande dynamique du spectre (de l'ordre de 100 dB en amplitude soit un facteur 100,000 entre la plus haute et plus faible énergie) permet des analyses très précises des caractéristiques fréquentielles des phonèmes. Elle se distingue du spectrogramme par une analyse factuelle des rapports d'énergie, des zones de résonance et d'antirésonance, autant de paramètres plus difficiles à extraire dans le spectrogramme du fait de la représentation de l'énergie par une palette de couleurs.

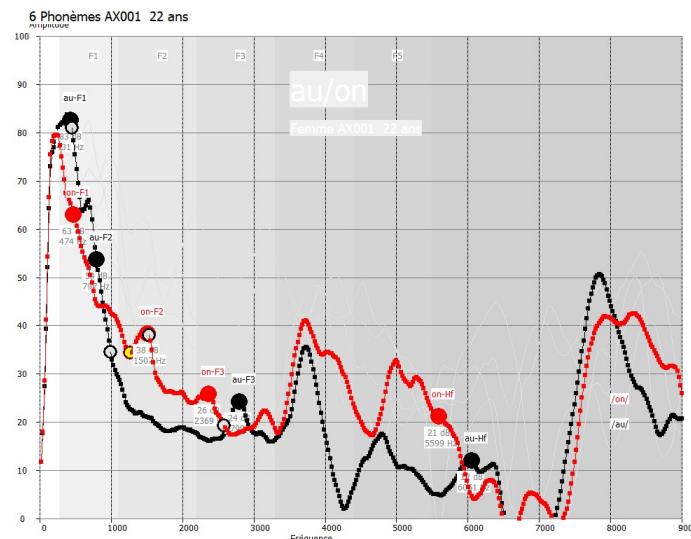


Figure 10 : Profil moyen des oppositions orale-nasale /au-on/, femme de 22 ans, parole normale

Un exemple de profil comparatif entre le spectre moyen du /au/ (en noir) et celui du /on/ (en rouge) est proposé à la figure 10. Il correspond aux intervalles /au/ et /on/ tels que segmentés dans le spectrogramme de la figure 9. Un pic dans le profil moyen correspond donc à une couleur chaude dans le spectrogramme (proche du jaune), un creux dans le profil à une couleur froide (proche du bleu).

Une part de ce profil est récurrent au sein d'un même groupe, c'est-à-dire que l'on retrouve des caractéristiques communes à tous les individus. Parmi ces caractéristiques, on trouve la position fréquentielle des formants F1 et F2, à la base du triangle vocalique [Sicard 2020] et l'amplitude relative des zones de résonance et d'antirésonance. Ici par exemple, le formant F2 du /on/ est supérieur en amplitude à celui du /au/. Toutefois, d'autres caractéristiques spectrales sont spécifiques à un individu donné, en lien avec la notion de timbre de la parole, comme les zones de résonance en F4, d'antirésonance autour de 7000 Hz, puis de résonance à 8000 Hz, propre au cas analysé.

Profil type d'un phonème

Pour aider à identifier ce qui est récurrent de ce qui est propre à un individu donné, nous devons moyenner les profils correspondant à un même phonème. Nous espérons ainsi dégager des tendances sur quelques dizaines d'échantillons comparables en termes de protocole, de conditions d'enregistrement, d'amplitude et de durée de phonation. Nous obtenons alors ce que l'on peut considérer comme un profil type des phonèmes, dont nous pouvons notamment extraire la position des formants en fréquence et amplitude, et ce pour un genre donné, enfant, femme ou homme.

Dans le cas de 20 /au-on/ en contexte de voyelle isolée, selon un même protocole, et avec les mêmes conditions d'enregistrement [Lefol 2018], nous obtenons les profils type du /au/ et du /on/ (figure 11) que nous pouvons alors analyser en termes de zone de résonance et de rapport d'amplitude (voir section opposition au-on).

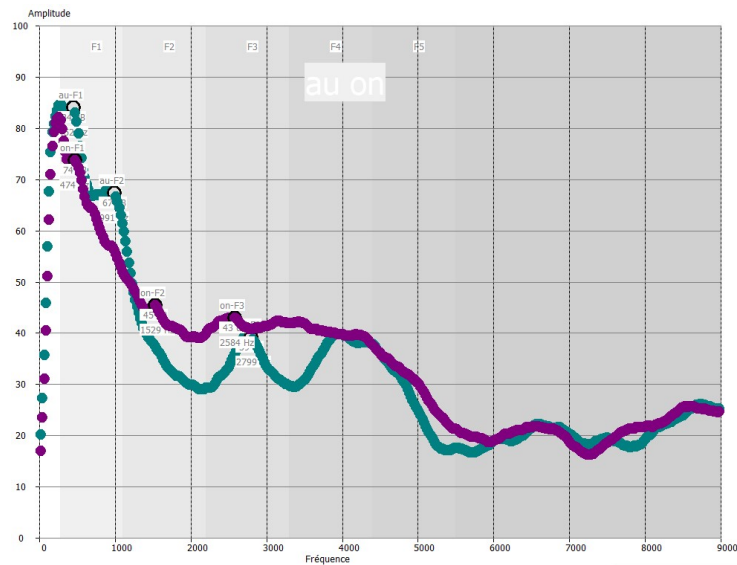


Figure 11 : Profil moyen des voyelles /au/(courbe verte) et /on/(courbe violette), 21 femmes, parole normale

Triangle vocalique

Le triangle vocalique [Sicard 2020b] est une représentation intéressante des voyelles que l'on positionne dans un espace à deux dimensions où X représente la fréquence du formant F2, corrélé à la position de la langue avant/arrière, et Y le formant F1, corrélé à l'ouverture de la bouche. Trois valeurs extrêmes se distinguent, comme dessiné figure 12 :

- Le /a/ en bas
- Le /i/ à droite
- Le /ou/ à gauche

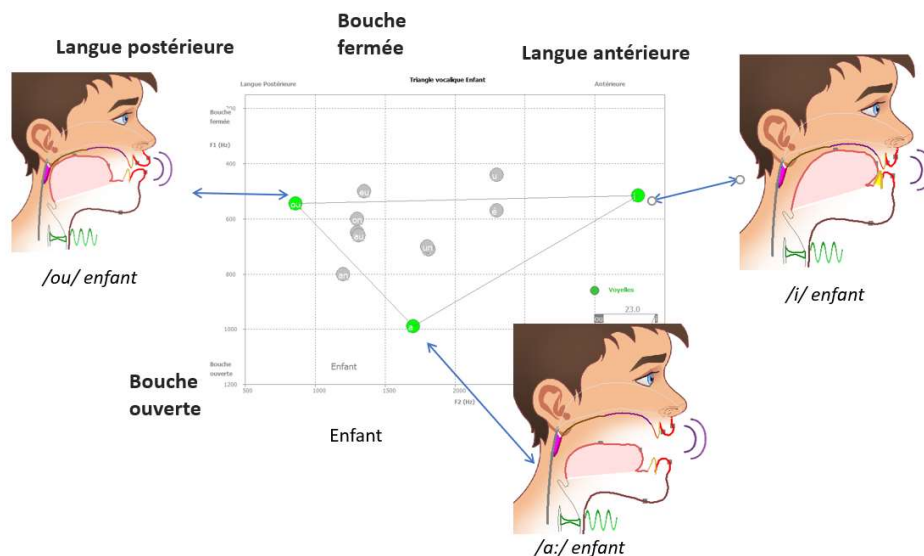


Figure 12 : Représentation des différentes voyelles de la langue française mettant en évidence les extrêmes d'un triangle /a,i,ou/, valeurs pour un enfant. L'axe X correspond à la valeur du formant F2, l'axe Y au formant F1.

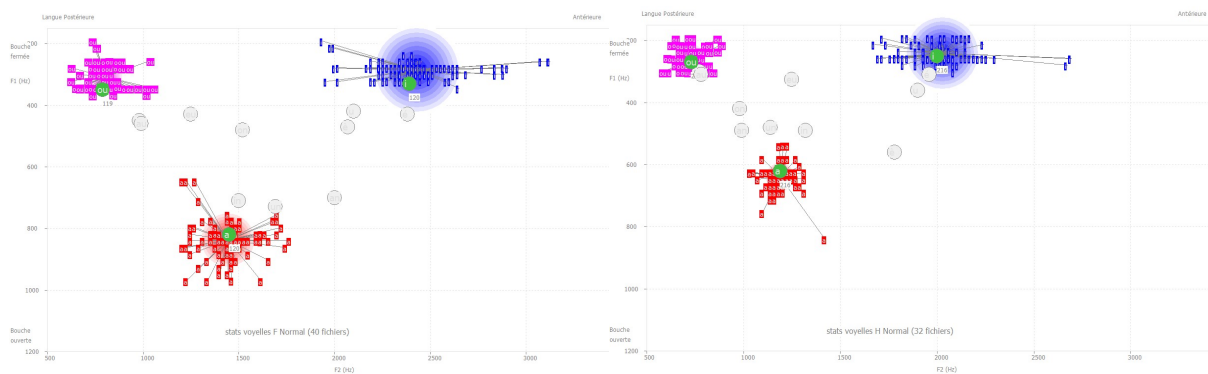


Figure 13 : Représentation statistique de /a,i,ou/, 40 femmes et 32 hommes normophoniques [Lefol 2018][Papazian 2019].

Si les valeurs changent considérablement selon homme, femme ou enfant, les positions respectives des voyelles dans l'espace F1, F2 restent à peu près les mêmes, et les extrêmes du triangle sont toujours /a,i,ou/.

En pratique, chaque réalisation d'une même voyelle peut donner lieu à des valeurs de F1 et F2 différentes. Comme les valeurs des formants sont fortement dépendantes du genre, nous traitons les groupes enfant, femme et homme séparément. Les formants sont aussi liés à la morphologie de l'orateur (longueur et forme du conduit, fosses nasales), d'où une certaine dispersion. On note en figure 13 l'exemple d'un corpus de 650 voyelles isolées prononcées par 40 femmes (gauche) et 32 hommes (droite) [Lefol 2018] [Papazian 2019]. La valeur de F1, F2 correspond à une zone, avec parfois un écart type important comme pour le F2 du /i:/. Certains points excentrés de la cible peuvent être liés à des imprécisions, erreurs de prononciations, mais aussi des erreurs de segmentation ou encore erreurs d'extraction des valeurs de formants. Ces points nécessitent une attention spécifique, pouvant aller jusqu'à exclusion en cas d'erreur, afin de ne pas dénaturer les résultats statistiques.

Protocoles & Corpus

Protocoles proposés

Diverses approches d'enregistrement de la parole en lien avec l'étude de la nasalité sont proposées dans la littérature, allant de l'analyse d'une simple voyelle jusqu'à l'analyse de plusieurs heures de corpus de parole. Nous notons « CV » une syllabe composée d'une consonne et d'une voyelle, « VN » une voyelle nasale et « CN » une consonne nasale.

- Voyelle tenue /i:/ et monologue [Novotny 2017]
- Répétition de CV puis nasale CNV /n/ : /tadana/, /sazana/, /pabama/ [Denkinger 1946]
- Répétition des voyelles orales les plus résistantes à la nasalisation : /a/è/o/, associées aux consonnes /p/t/k/ : « tèkap » ; puis les moins résistantes : /u/é/i/ou/, associées aux consonnes /v/z/j/ : « jévuzizou » [Rousteau 2017]
- Alternance de syllabes orales et nasales V/VN : o/non ; pè/gne ; mon/toto ; mon/coco ; [Rousteau 2017]
- 6 mots /pan, pont, pas, pot, panne, paume/ [Montagu 2002]
- 39 syllabes de type CV et CVN où C est une consonne /p, t, k/ [Borel 2015]
- Répétition des phonèmes, de mots pluri-syllabiques [Carlin 2019]

- Voyelles isolées, combinaisons CV, CVN nasales/orales : /dadada/dadanda/pipinpi/, phrases et parole spontanée [Amelot 2004]
- 100 Paires CV-CVN: bè/bin ;ba/ban ; bo/bon,etc ; 39 mots de type CVCVN ou CVNCV : /boton/tokan/, etc. [Fily 2018]
- 92 mots de type CNVN, CNVNC, CVN, CVNC, VNC, VN ; C : [Meynardier 2017]
- 96 mots de 1 à 3 syllabes dans divers contextes:/bin/ban/cousin/savon/cornichon/catacombe/, etc. [Martin 2001]

Nous pouvons dégager quelques incontournables :

- L'analyse des oppositions de voyelles orales/nasales : a-an/è-in/au-on.
- L'analyse de syllabes combinant CV, CVN, CNV, CNVN. Par rapport aux voyelles isolées, l'information subit l'influence du contour intonatif, de la coarticulation et de l'anticipation liée à la consonne.

Corpus utilisé

Nous disposons tout d'abord de 30 enregistrements des oppositions orales/nasales en contexte isolé, pour 10 enfants, femmes et hommes, tels que ceux présentés figure 14. La réécoute sélective de chaque segment a permis de confirmer la bonne prononciation des voyelles. La segmentation se fait au cœur de la voyelle, en évitant l'attaque et la fin du son.

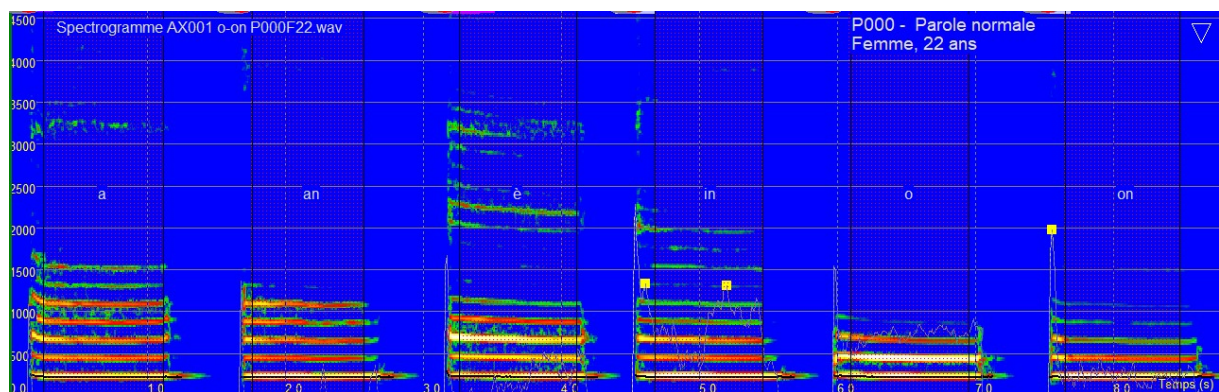


Figure 14 : Spectrogramme et segmentation des oppositions orales-nasales /a-an, è-in, o-on/, femme de 22 ans, parole normale

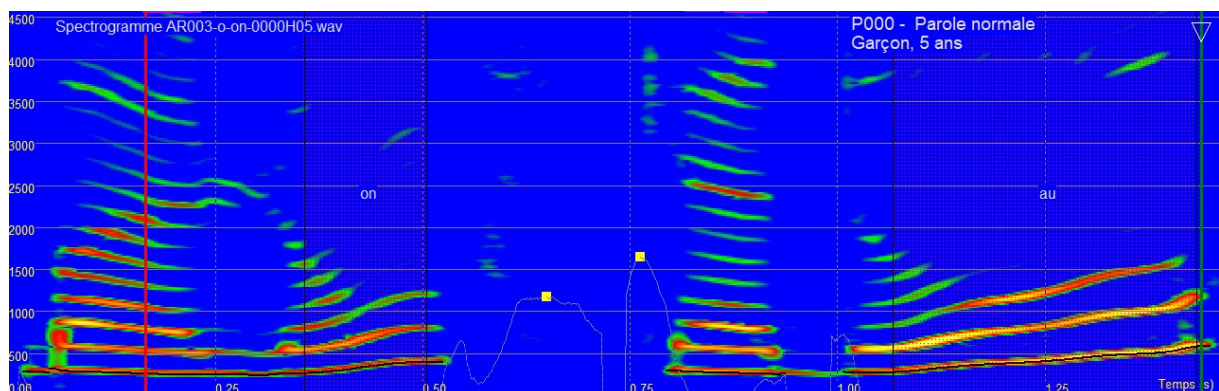


Figure 15 : Spectrogramme des mots /ballon/ et /cadeau/ incluant l'opposition au/on, enfant de 5 ans, corpus de [Remacle 2017]

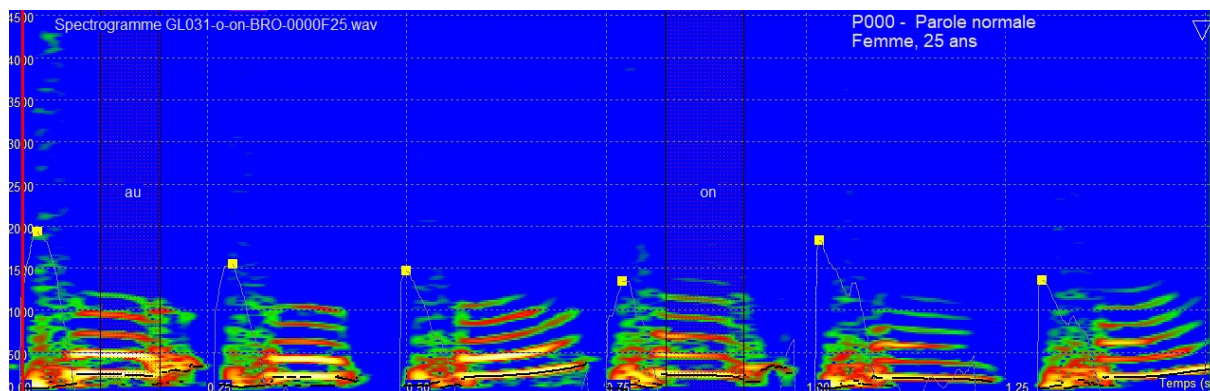


Figure 16 : Spectrogramme de 3 /pau/ suivis de 3 /pon/, corpus de [Lefol 2018]

Nous disposons aussi de 60 enregistrements de parole d'enfants de 5 ans normophoniques [Remacle 2017] avec des mots cibles, dont on peut extraire certaines oppositions orales/nasales telle que /au-on/ (/ballon/, /gâteau/, figure 15). Dans le cadre du mémoire de [Lefol 2018], 40 hommes et femmes ont répété des voyelles dans un contexte CV (Figure 16, 3 /pau/ suivi de 3 /pon/) que nous avons inclus dans nos analyses statistiques. La segmentation évite d'inclure la fin de l'explosion du /p/ et s'arrête avant la fin de la voyelle.

Nous disposons, dans le cadre des mémoires d'orthophonie de [Bardelang 2020], [Grenier 2020] et de l'activité de recherche de l'ERU 46 du LURCO/UNADREO, de 300 échantillons de phrases « *Bonjour Monsieur Tralipau* », hommes, femmes et enfants, prononcée par des témoins et des patients, ainsi que 80 échantillons de phrase « *Est-ce que tu connais Glochin l'écureuil ?* » et « *Il vole des Framboises* », principalement prononcées par des enfants de 5 à 8 ans.

Phrase incluant /au-on/

La phrase « *Bonjour Monsieur Tralipau* » incluse dans le protocole Diadolab [Sicard 2020b] contient une opposition de voyelles nasales et orales /on-au/ sous la forme CV (/bon..pau/), sans contamination de consonne nasale. Le /on/ est le 1er segment voyelle de la phrase, le /au/ le dernier, donc facile à identifier (figure 17).

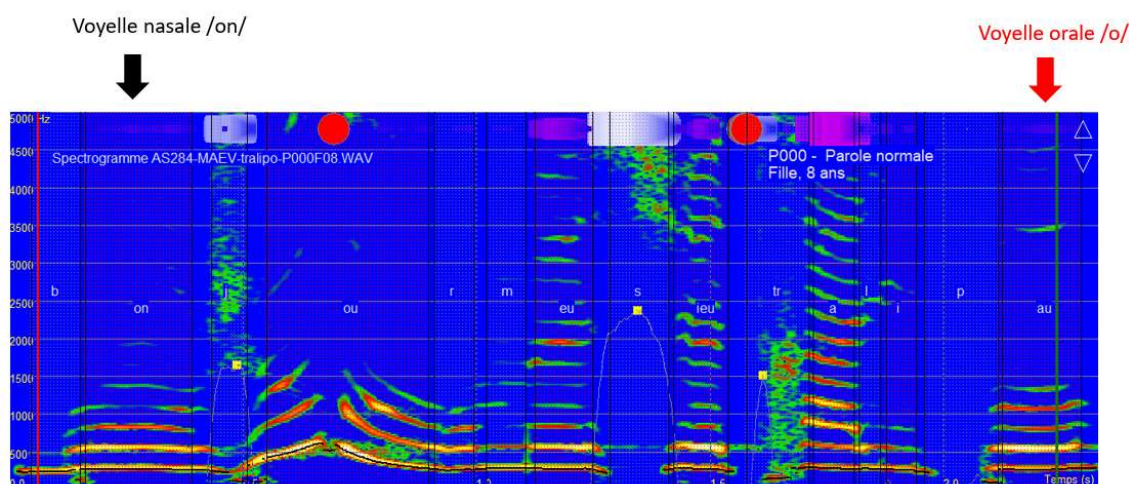


Figure 17 : Spectrogramme de « *Bonjour Monsieur Tralipau* », cas AS284 de la base de données, et position des segments /on/ et /au/, fille de 8 ans, parole normale

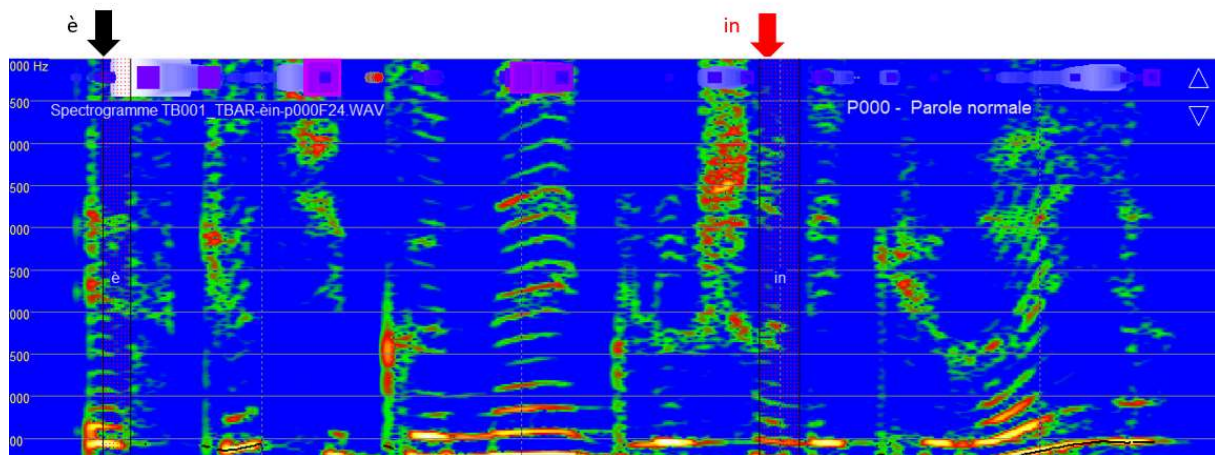


Figure 18 : Spectrogramme de « Est-ce que tu connais Glochin l'écureuil ? », cas TB001 de la base de données, et position des segments /è/ et /in/.

Le voisement du /b/ se distingue du /on/ par la signature d'un bruit transitoire synonyme de l'ouverture de la bouche, suivi d'un enrichissement harmonique qui rend la segmentation assez aisée. Il n'y a pas d'accent spécifique ni sur le /on/, ni sur le /au/, le modèle sonore proposé systématiquement avant enregistrement inclut en revanche un accent tonique sur le /ou/.

Phrase incluant /è-in/

Les mémoires de T. Bardelang [Bardelang 2020] et C. Grenier [Grenier 2020] proposent l'étude de la phrase « Est-ce que tu connais Glochin l'écureuil ? », qui inclut l'opposition /è-in/, le /è/ étant choisi en position initiale. Le spectrogramme de la phrase est reporté Figure 18, dans le cas d'une femme témoin de 24 ans. Le /in/ se situe ici en contexte /CVNC/, sans interruption de voisement, ce qui n'est pas idéal pour la segmentation. A noter que /connais/ permet d'extraire un /è/ dans un contexte de contamination nasale (k o n è), que l'on peut comparer au /è/ initial sans contamination.

Phrase incluant /a-an/

Une 3^{ème} phrase analysée par T. Bardelang et C. Grenier est « Il vole des framboises » où l'on trouve cette fois le /an/ dans un contexte CCV /f r an/, mais où il est parfois difficile d'isoler le /a/ de la séquence terminale /b ou a z/, le /a/ étant dans un contexte de diphtongue (Figure 19).

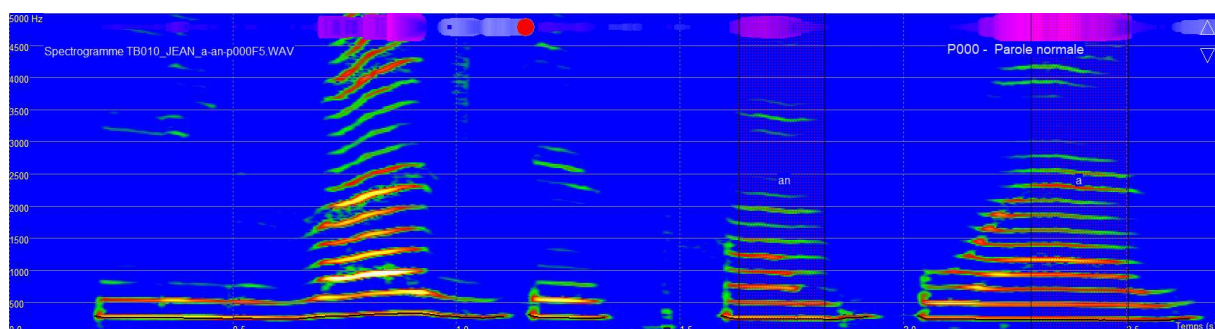


Figure 19 : Spectrogramme de « Il vole des framboises », cas TB010 (fille de 5 ans, parole normale) et position des segments /a/ et /an/.

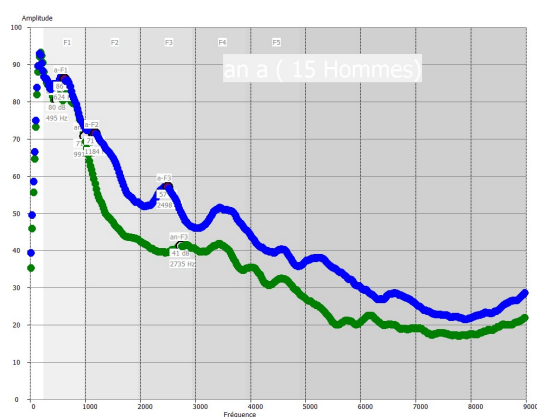
Choix des échantillons

Nous choisissons d'inclure dans nos analyses des oppositions comportant environ 1/3 de voyelles isolées, 1/3 de voyelles en contexte de syllabe isolée ou de logatome court, en enfin 1/3 d'oppositions segmentées dans les phrases. Bien que la distribution en âge ne soit pas homogène, nous tentons, au sein d'un même genre, de sélectionner des âges couvrant 4-11 ans pour les enfants, 20-90 ans pour hommes et femmes. Dans le groupe enfant, nous n'avons pas séparé garçons et filles.

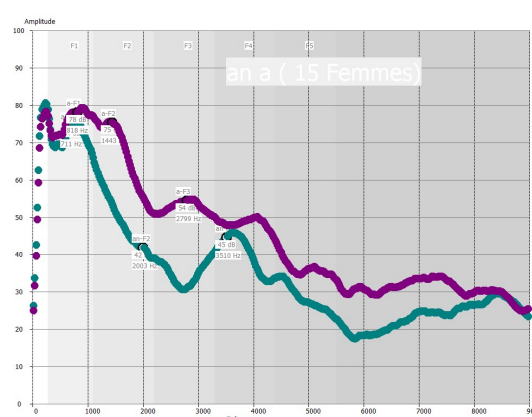
Analyse statistique des oppositions

Opposition a-an

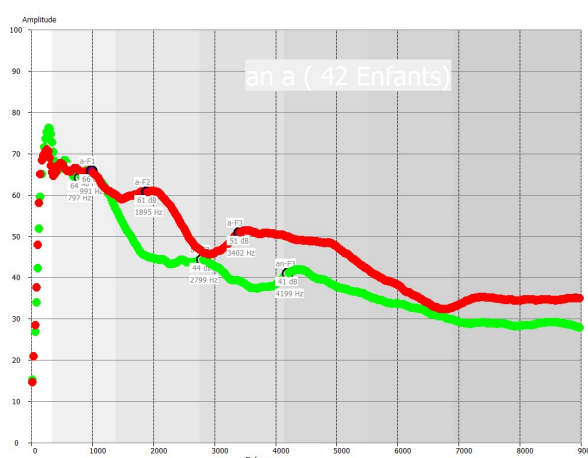
Les profils comparatifs du /a/ et du /an/, pour hommes, femmes et enfants, sur la base de moyennes statistiques des spectrogrammes sont reportés figure 20. On constate une certaine similitude dans la zone F1, puis une énergie du /an/ toujours inférieure au /a/. Le formant F3 du /an/ est aussi décalé vers les hautes fréquences par rapport au /a/. Sur le profil type des femmes & enfants, il y a une opposition assez marquée entre les zones de résonance et les zones d'antirésonance. Ainsi, à un maximum du /a/ correspond un minimum du /an/. Ce phénomène est moins marqué pour les hommes.



a) 15 hommes : a (bleu) an (vert)



b) 15 femmes : a (violet) an (vert)

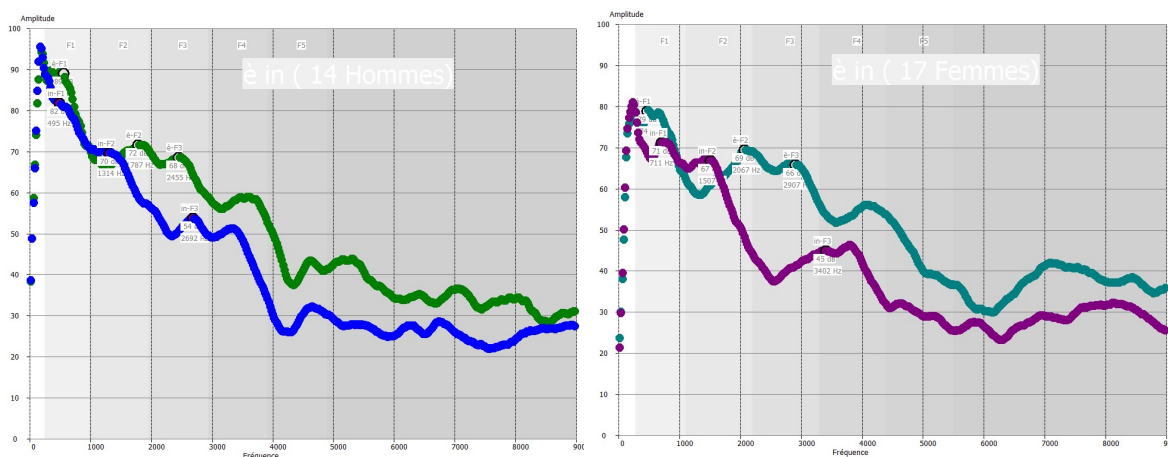


c) 42 enfants : a (rouge) an (vert)

Figure 20 : Profils comparés du /a/ et du /an/, femmes, hommes & enfants, parole normale

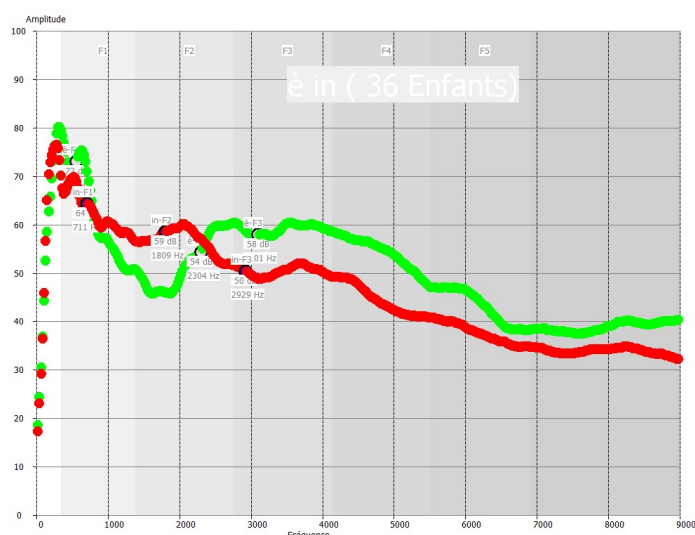
Opposition é-in

Les profils du /è/ et du /in/ reportés figure 21 montrent un profil du /è/ globalement plus énergétique que le /in/. Il existe, notamment chez les enfants et de manière moindre chez les femmes, une zone autour de F2 où le /in/ passe au-dessus du /è/. L'apparition d'une résonance autour de 2000 Hz pour le /in/ est assez marquée chez les enfants, tandis que le /è/ est minimal dans cette zone. La situation s'inverse ensuite, le /in/ est atténué autour de 3000 Hz tandis que le /è/ résonne à 2700 et 3500 Hz.



a) 14 hommes : è (vert) in (bleu)

b) 17 femmes : è (vert) in (violet)

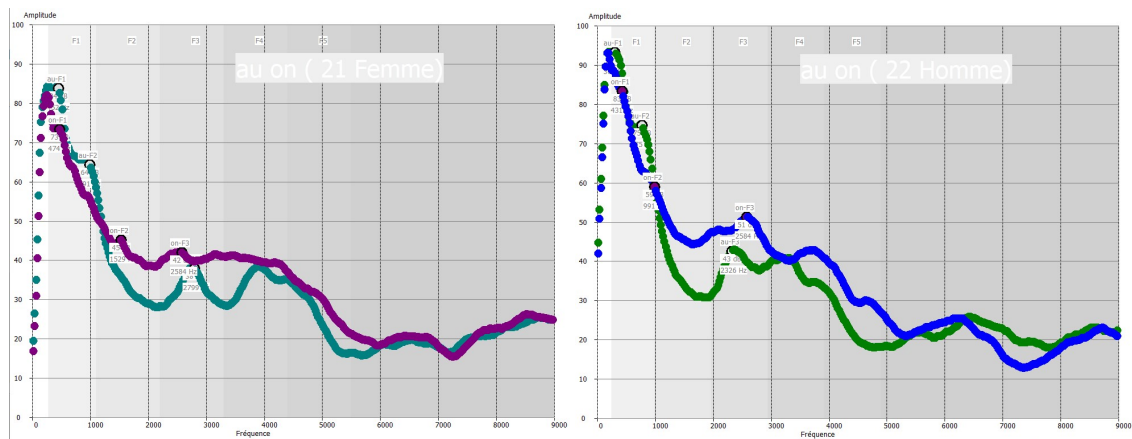


c) 36 enfants : è (vert) in (rouge)

Figure 21 : Profils comparés du /è/ et du /in/, femmes, hommes & enfants, parole normale

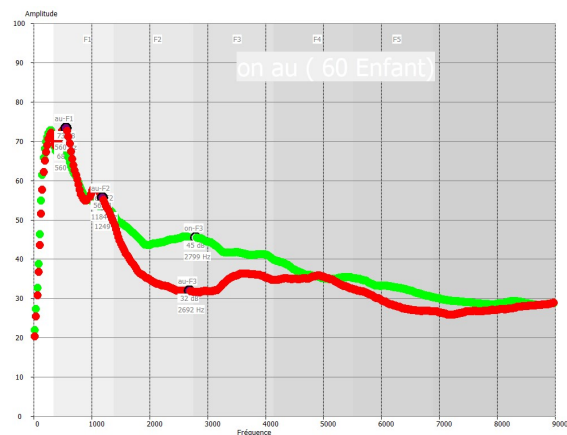
Opposition au-on

Les profils type du /au/ et du /on/ sont assez similaires pour les 3 groupes (figure 22), avec l'essentiel de l'énergie regroupée à basse fréquence. On note de manière récurrente une légère résonance en limite F1/F2 pour /au/, dont l'amplitude passe au-dessus de /on/, et un profil du /on/ supérieur à celui du /au/ dans la zone F2 et F3. A partir de F4, il est difficile de distinguer les deux profils.



a) 21 femmes : au (vert) on (violet)

b) 22 hommes : au (vert) on (bleu)

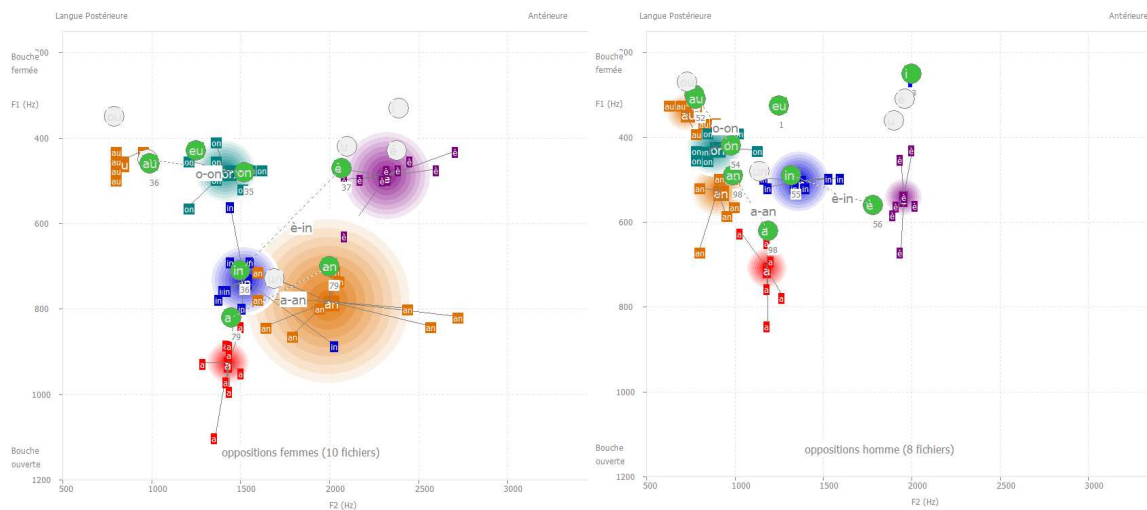


c) 60 enfants : au (rouge) on (vert)

Figure 22 : Profils comparés du /au/ et du /on/, femmes, hommes & enfants, parole normale

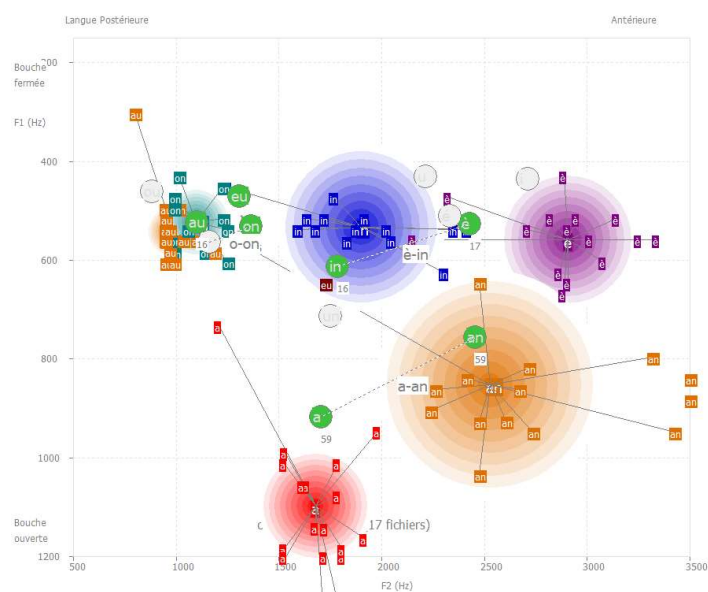
Triangle vocalique

Nous reportons les valeurs des formants pour chaque réalisation /a, an, au, on, è, in/ dans l'espace F1-F2 du triangle vocalique. Une bonne séparation des espaces des voyelles est observée, à l'exception du /au-on/. On note une forte dispersion de certaines réalisations, notamment le /an/ des enfants (Figure 23). Certains points très à l'écart de la zone cible méritent une analyse spécifique : s'agit-il d'une erreur de détection du formant qui empêche de détecter correctement la zone de résonance, ou s'agit-il d'une erreur de segmentation lors de la création du corpus de référence, auquel cas cela renforcerait la pertinence de la détection ? L'information de valeur de F1 et F2 apparaît donc comme un indice intéressant en vue de la classification orale/nasale dans le contexte d'opposition.



a) femmes

b) hommes



c) enfants

Figure 23 : Position des oppositions /a-an, au-on, è-in/ dans l'espace F1/F2, femmes, hommes & enfants, parole normale

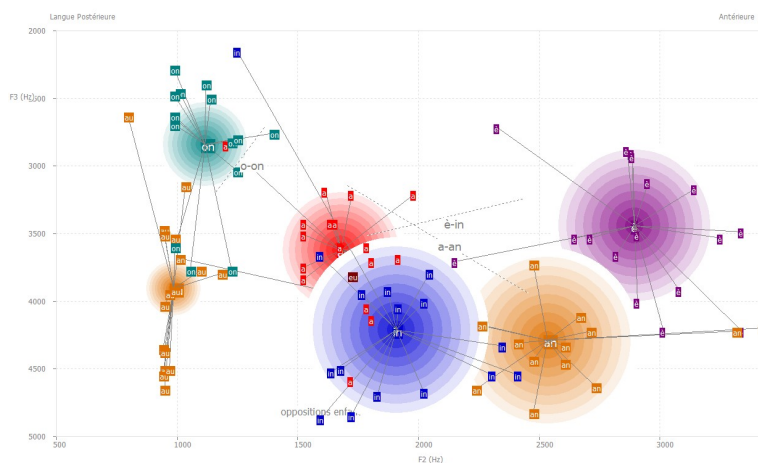


Figure 24 : Position des oppositions /a-an, au-on, è-in/ dans l'espace F2/F3, enfants avec parole normale

D'autres espaces tels que F2/F3 peuvent s'avérer porteurs d'informations complémentaires, comme l'illustre la figure 24 pour les oppositions orales/nasales des enfants. Les distances entre les couples orales/nasales sont globalement assez grandes, permettant d'envisager une classification fiable des oppositions.

Oppositions orales/nasales altérées

Nous donnons ci-après l'illustration de quelques cas d'opposition orale/nasale altérée. Les cas sont proposés par le Dr. Gabriel ROUSTEAU et par Sandrine MICHEL, Orthophoniste.

Cas N°1 – SM074

Le cas SM074 BW correspond à un garçon de 5 ans et demi. Les éléments synthétiques issus de l'évaluation orthophonique mettent en évidence des capacités d'interaction jugées limitées avec une hypo spontanéité et une anxiété latente. Il est noté quelques disfluences avec allongements de phonèmes vocaliques, un débit un peu lent et une intonation peu variée. L'enfant s'exprime avec des petites phrases simples. Le trouble phonologique semble entraver ses capacités de programmation morpho-syntaxiques avec des imprécisions au niveau des flexions verbales et des omissions de déterminants, ce qui nuit à son intelligibilité.

Pour la phrase à répéter « Bonjour monsieur Tralipau », les phonèmes segmentés par l'orthophoniste sont "p/ou/?/ou/m/eu/?/ié/ai/d/i/k/eu". La segmentation avec écoute sélective met en évidence :

- des processus de parole en cours d'acquisition mais avec des altérations nombreuses et assez atypiques
- une désonorisation (b/p), une dénasalisation (on/ou), une constriction indifférenciée, une omission du /r/, une omission du cluster /tr/, une substitution (l/d), ainsi qu'une simplification de la diphtongue. Les difficultés phonologiques sont importantes.

La contamination est forte avec des imprécisions, au niveau de la production des voyelles et des constrictives. L'évaluation conclut à un trouble phonologique lié à un déficit des fonctions oro-myo faciales. Le score est de 18/30, ce qui est limite pour 4 ans mais pas pathologique.

Concernant les oppositions orales/nasales selon le protocole des voyelles isolées (Figure 25), on constate des distances entre la cible et la réalisation assez faibles dans F1/F2 et modérées dans F3/F2 (Figure 26).

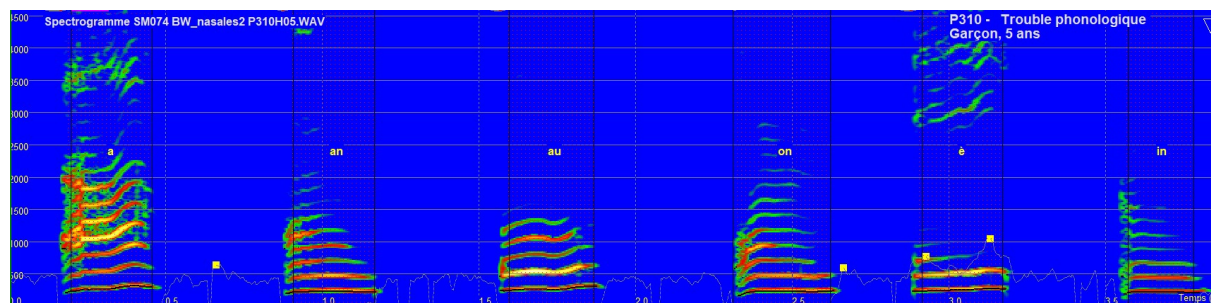


Figure 25 : Spectrogramme des oppositions orales/nasales du cas SM074



Figure 26 : Position des orales/nasales dans les espaces F1/F2 et F3/F2 du cas SM074.

De même, les profils des oppositions orales/nasales sont bien différenciés, une résonance sur une voyelle correspondant fréquemment à une antirésonance de la voyelle opposée, phénomène particulièrement visible sur /a-an/ de la figure 27. Nous ne constatons donc pas de problème particulier sur les oppositions orales/nasales en contexte de voyelles isolées.

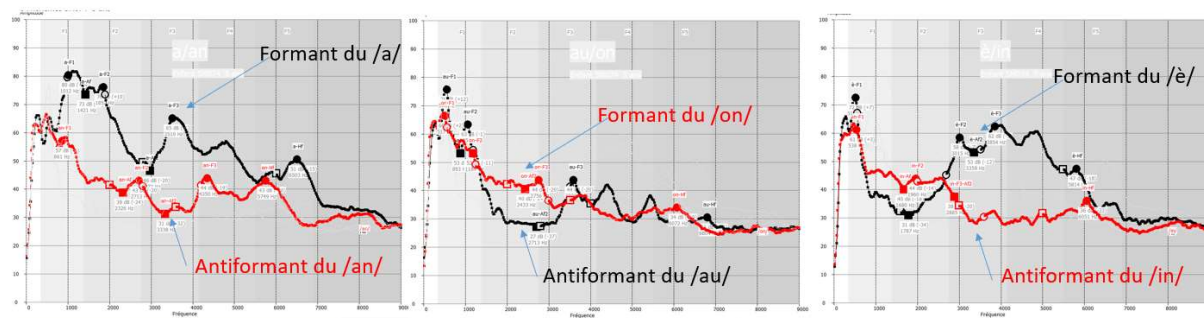


Figure 27 : profils comparés des orales/nasales du cas SM074.

Cas N°2 – SM075

Cet enfant de 5 ans 4 mois est suivi de façon intensive pour trouble sévère du langage oral. Il est décrit comme un enfant vif et curieux, très désireux de communiquer et de s'exprimer. Son orthophoniste note qu'il compense son trouble expressif par la langue des signes auxquels il fait souvent appel. Le trouble phonologique est important, doublé de difficultés attentionnelles conséquentes et très fluctuantes. Les fonctions oro-myo-faciales sont altérées avec une dégradation du tonus et de la capacité à maîtriser les mouvements de la langue. Tout ceci demande beaucoup d'efforts de concentration à ce petit garçon pour compenser ses difficultés. Le diagnostic s'oriente vers une dyspraxie verbale sous réserve d'examen neuropsychologiques complets et du réexamen de son acuité auditive. L'orthophoniste note une évolution lente, très progressive avec un niveau réceptif préservé.



Figure 28 : Position des orales/nasales dans les espaces F1/F2 et F3/F2 du cas SM075.

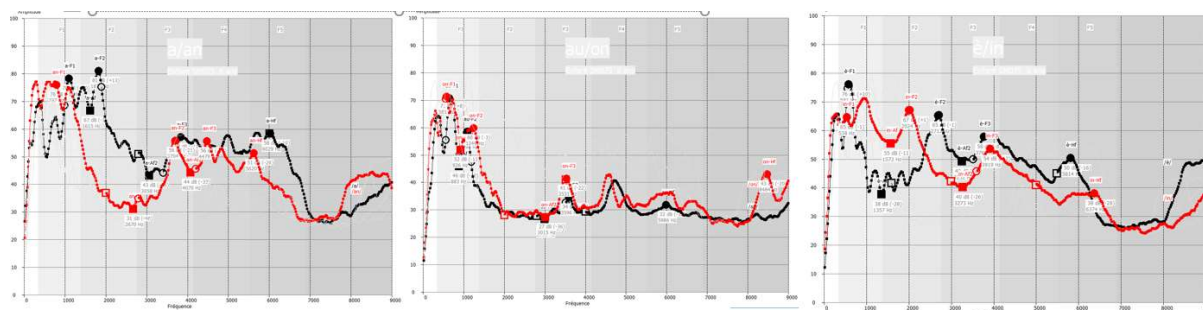


Figure 29 : profils comparés des orales/nasales du cas SM075.

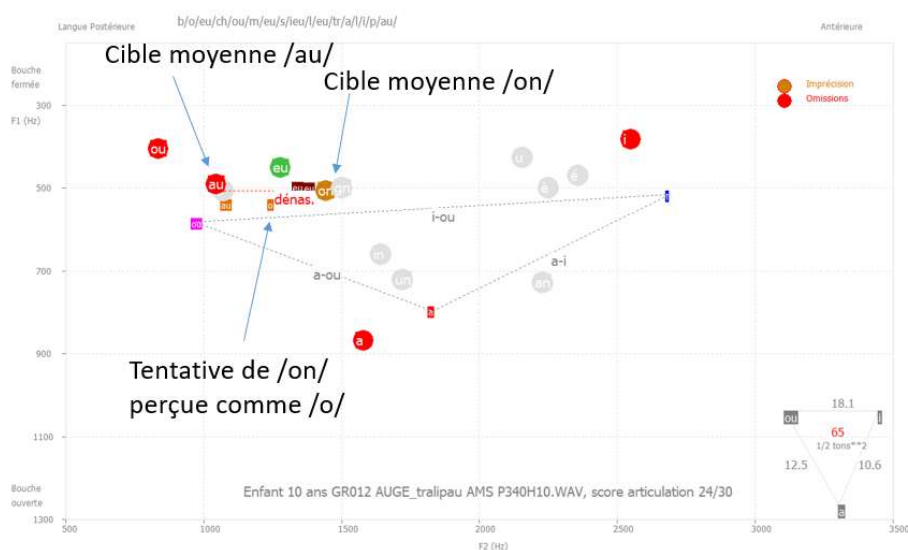
La répétition de la phrase « Bonjour Monsieur Tralipau » donne : au/j/ou/m/eu/?/eu/t/a/i/p/au : il est noté une omission du /b/, une constriction peu différenciée et très faible, une omission du /r/, pas de cluster /tr/, une omission du phonème /l/. Le score de phonologie est de 19/30 ce qui correspond à un âge phono de 3 ans et demi. On perçoit un effet de contamination élevé entre chaque phonème. Ses performances sont améliorées en dehors de la séquence de répétition. La distinction entre chaque phonème manque de clarté et ceci est lié à une altération motrice et tonique des organes bucco-phonateurs.

Concernant les oppositions orales/nasales en contexte isolé, le décalage entre les cibles et les réalisations apparaît très nettement dans l'espace F3/F2 (Figure 28), beaucoup moins dans l'espace F1/F2 à l'exception notable du /a-an/.

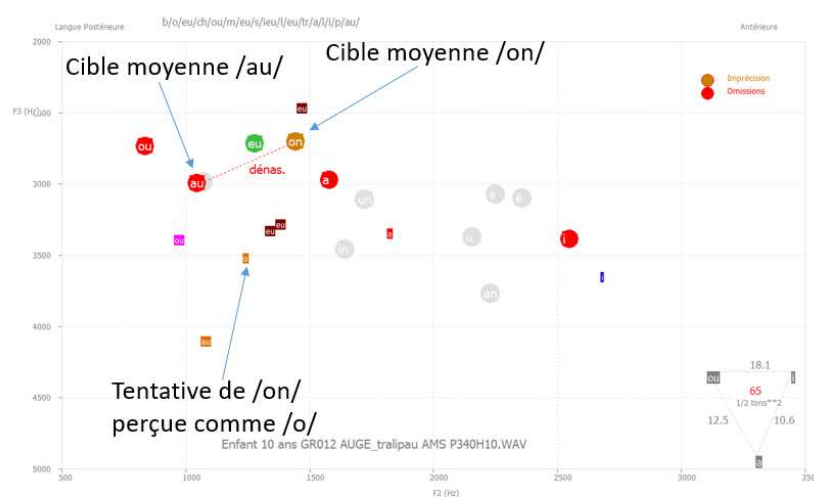
Autant pour le cas précédent (SM074), les profils des oppositions orales/nasales étaient bien différenciés, autant on constate sur le cas SM075 de larges zones fréquentielles très semblables entre les oppositions : F3-F4 pour /a-an/, quasiment tout le spectre pour /au-on/ et au-delà de F2 pour /è-in/ (Figure 29). Il est très difficile aussi d'identifier des zones de fréquences pour lesquelles un formant d'une voyelle peut être mis en relation avec un antiformant de son opposée. Il y a donc ici un véritable problème de distinction orales/nasales, très net à l'audition.

Cas N°3 – GR012

Le cas GR012 correspond à un garçon de 10 ans, dyspraxique verbal. Lors de la passation du protocole, nous avons réitéré plusieurs fois de suite la consigne afin d'obtenir une alternance de syllabes orales/nasales contrastée. On constate chez ce patient une variabilité importante de la nasalisation caractéristique des dyspraxies verbales. Concernant la voyelle /a:/ tenue, l'analyse des indicateurs d'altération de la voix [Sicard 2013] montre une instabilité en amplitude marquée, avec décroissance rapide de la puissance au cours des 2 secondes de production. Les autres indicateurs sont normaux. On note une attaque dure et une fin de production bruitée, sur un temps de phonation court. L'analyse de la diadococinésie à base de répétition de /pataka/ pendant environ 7 secondes [Sicard 2020a] montre aussi différentes altérations, notamment de l'irrégularité et de l'instabilité en puissance.



a) Espace F1/F2



b) Espace F3/F2

Figure 30 : Positionnement dans l'espace F1/F2 (a) et F3/F2 (b) des voyelles du cas GR012 sur la phrase /bonjour monsieur Tralipau/

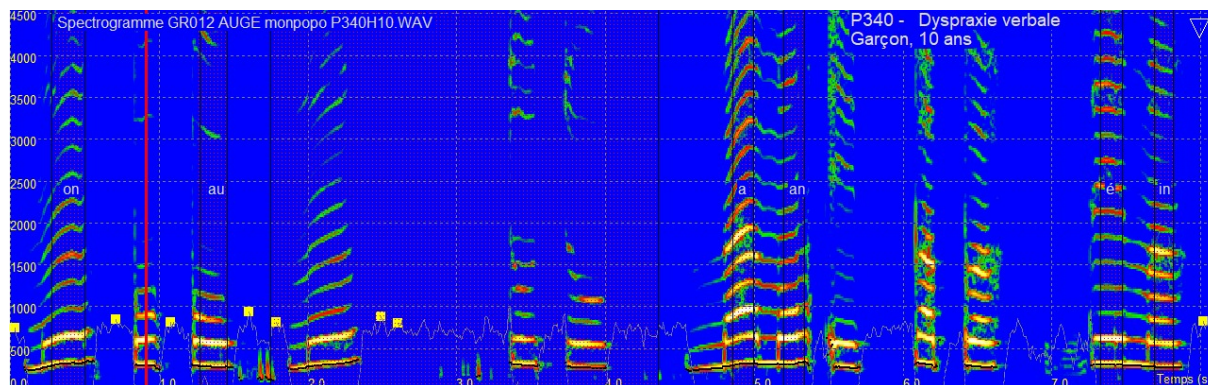


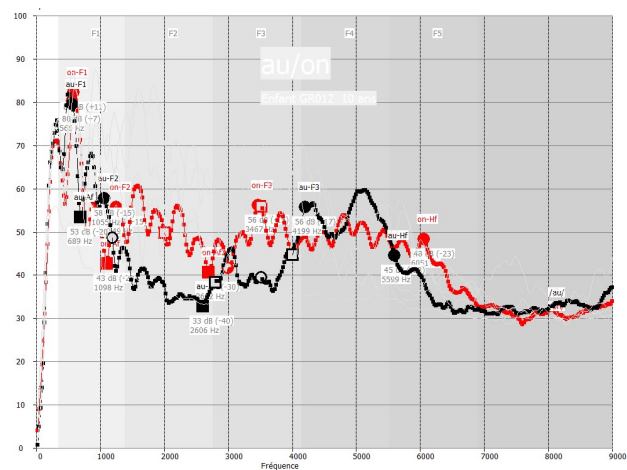
Figure 31 : Segmentation des oppositions orales/nasales dans l'enchaînement /mon popo, maman, tes mains/

L'analyse de la phrase « Bonjour Monsieur Tralipau » [Sicard 2019][Sicard 2019b] révèle de nombreuses imprécisions, avec un score d'articulation de 22/30, la norme étant de 28/30. La segmentation de l'orthophoniste, sur la base de l'écoute sélective, est /b/o/eu/ch/ou/ /m/eu/s/ieu/l/eu/ /tr/a/l/i/p/au/. On peut noter la dénasalisation du /on/ dans /bonjour/, qui a été perçue par l'orthophoniste comme /o/ suivi de /eu/ comme une sorte de pseudo-diphtongue. Dans l'espace des formants F1/F2 [Sicard 2020b], le /o/ se positionne dans une zone intermédiaire entre la cible du /au/ et la cible du /on/. L'écart est encore plus net dans l'espace F3/F2 (Figure 30).

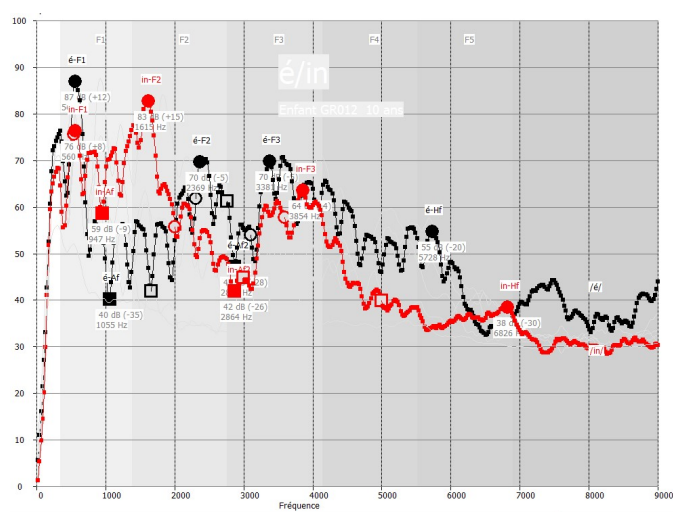
La segmentation des oppositions orales/nasales s'effectue sur le texte répété d'après un modèle sonore /mon popo, maman, tes mains/ (Figure 31). L'écoute sélective ne met en évidence qu'un effet de régionalisation (è -> é). Quelques caractéristiques peuvent être relevées sur les profils types (Figure 32) :

- /on/ supérieur au /au/ dans la bande F2 et F3, formant F3 du /on/ correspondant à un creux du /au/. Inversement, formant F3 du /au/ correspondant à un creux du /on/,
- /in/ proéminent dans la transition F1/F2, correspondant à un creux du /è/ ; formants /è/ énergétiques et distincts en F2 et F3,
- /a/ très énergétique, formants réguliers au centre des cibles, /an/ fortement atténué mais formant du /an/ dans F3 opposé à un creux du /a/.

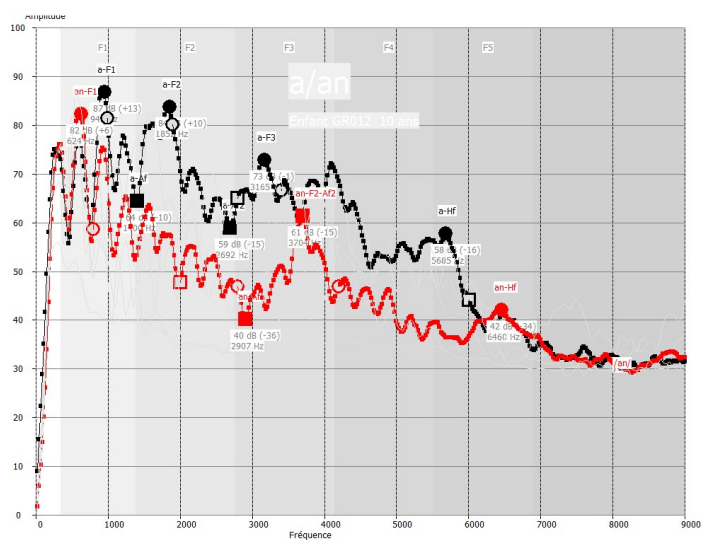
Ces caractéristiques correspondent bien aux propriétés communes des oppositions orales/nasales. On peut remarquer que l'oralisation de la voyelle /on/ dans /bonjour/, ne se reproduit pas dans le /on/ de /mon popo/.



au/on



é/in



a/an

Figure 32 : Profil moyen des oppositions orales/nasales au/on, a-an et è-in extraits de l'enchaînement /mon popo, maman, tes mains/, cas GR012

Cas N°4 – GR014

Le cas GR014 correspond à une fille de 5 ans et 5 mois, opérée à 6 et 18 mois, pour fente labio-maxillo palatine (FLMP), avec une rhinolalie assez invalidante dans la vie courante. Elle est cependant bien intelligible. Le /a:/ tenu ne donne pas d'indice d'altération ce qui correspond aux mesures de l'aérophonoscope. Concernant le triangle vocalique, l'aire est de 99 ½ tons, assez en dessous des valeurs communes des enfants (150 ½ tons) [Sicard 2020b] du fait de la position un peu basse de F1 par rapport à la cible du /a/ (Figure 33). Les indicateurs de diadococinésie correspondent à un contrôle phono-articulatoire normal, avec une forte décroissance de la puissance cependant (Figure 34) et un bruit de souffle nasal constant durant la production. La décroissance correspond à une perte de rendement phonatoire liée à la déperdition d'air par le nez. Elle parvient, malgré l'insuffisance vélaire à obtenir une pression intra-buccale pour réaliser les occlusives sourdes et les constrictives, ce qui assure un certain degré d'intelligibilité.

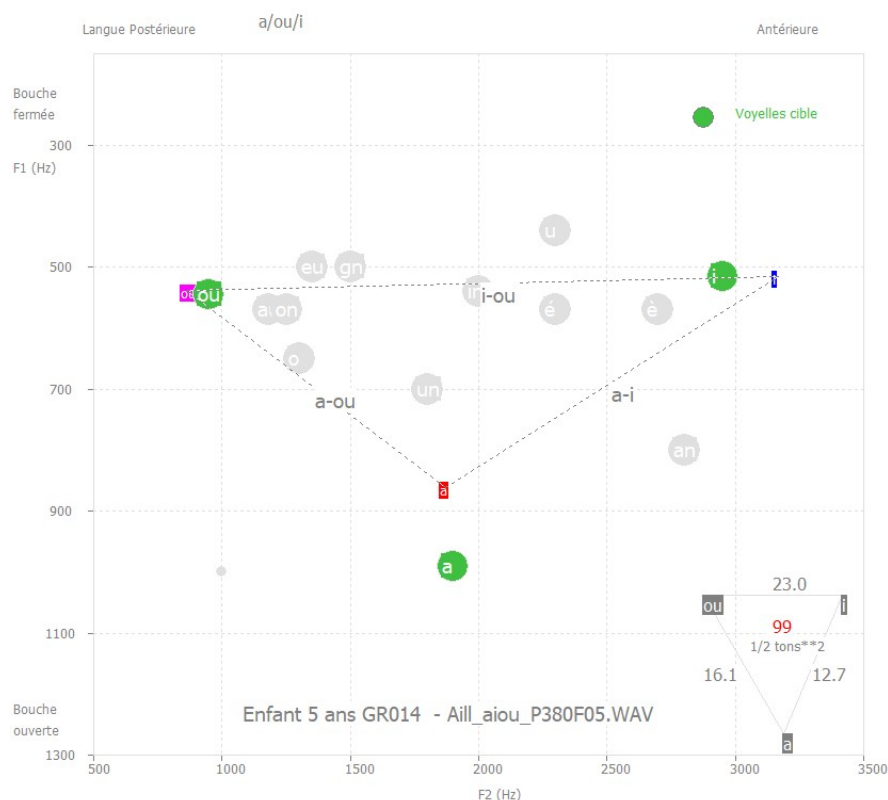


Figure 33 : Positionnement dans l'espace F1/F2 des voyelles extrêmes du triangle vocalique, cas GR014

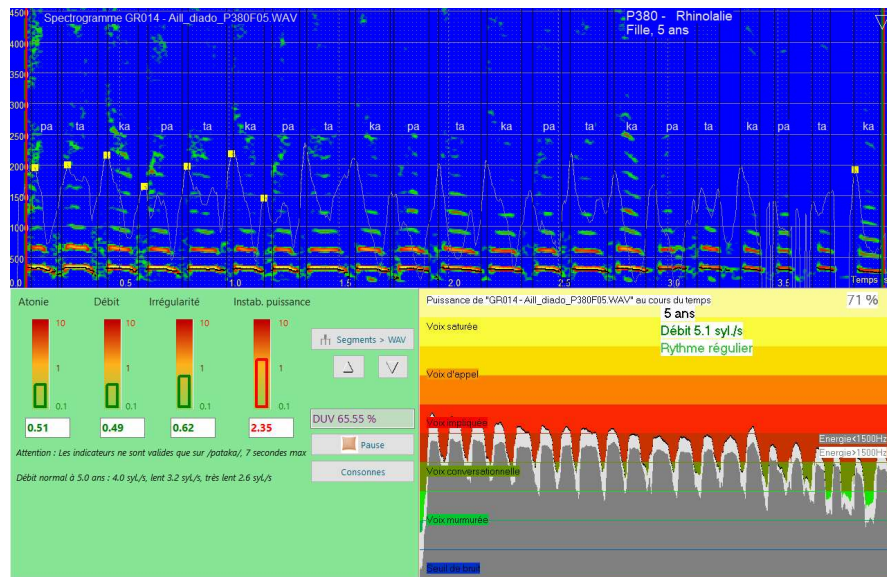


Figure 34 : Diadococinésie sur /Pataka/ du cas GR014



Figure 35 : Position des nasales dans le triangle vocalique, cas GR014

Concernant les oppositions orales/nasales extraites de la segmentation de /Mon popo, maman, tes mains/, la position des formants est conforme à celle d'un enfant de 5 ans. Les voyelles sont remarquablement proches des valeurs cible (marquées en vert sur le schéma), à l'exception du /a/ surligné en rouge (Figure 35). On constate aussi sur le profil moyen du /on/ un renforcement de l'énergie dans la zone F4.

En ce qui concerne la segmentation de la phrase /Bonjour Monsieur Tralipau/, on retrouve différentes imprécisions, notamment des substitutions assez typiques des rhinolalies :

- le /b/ substitué en /m/ en lien avec la difficulté de mise en pression du conduit pharyngé et buccal
- pour le /j/ de 'bonjour', peu de constriction, faible voisement perçu comme un /ch/

- omission du /r/ dans 'bonjour', contrairement au cluster /tr/ bien prononcé
- segmentation orthophoniste : "m/on/ch/ou/m/eu/s/eu/tr/a/l/i/p/au"

On peut aussi noter : un /ou/ un peu imprécis, qui s'approche du /au/, un /r/ à peine ébauché, et le /eu/ de /monsieur/ imprécis également. Les difficultés dans les constrictives (constriction faible) sont à rapprocher du souffle très visible sur la diadococinésie. Au total, on obtient un score d'articulation de 25/30 pour une norme de 24/30 à 5 ans, un score considéré comme normal mais avec un défaut structurel qui va engendrer d'autres problèmes tels que des stratégies de facilitation ou de compensation qui concerneront le débit ou la prosodie.

Cas N°5 – GR016

Le cas GR016 correspond à un garçon de 13 ans avec insuffisance vélaire. Sur le plan cinétique vélopharyngé, les mouvements sont très peu amples et lents. Sur le plan acoustique, on constate peu de rhinolalie, mais des bruits parasites de souffle nasal, des coups de glotte sur les consonnes plosives telles que /p/ et /t/.

La segmentation de l'enregistrement de /bonjour Monsieur Tralipau/ met notamment en évidence sur le mot /bonjour/ les effets de la déperdition nasale, et une constriction peu efficace sur /j/ et /s/. Concernant la diadococinésie, on note un rendement phonatoire faible qui altère le débit et l'oblige à faire une reprise inspiratoire.

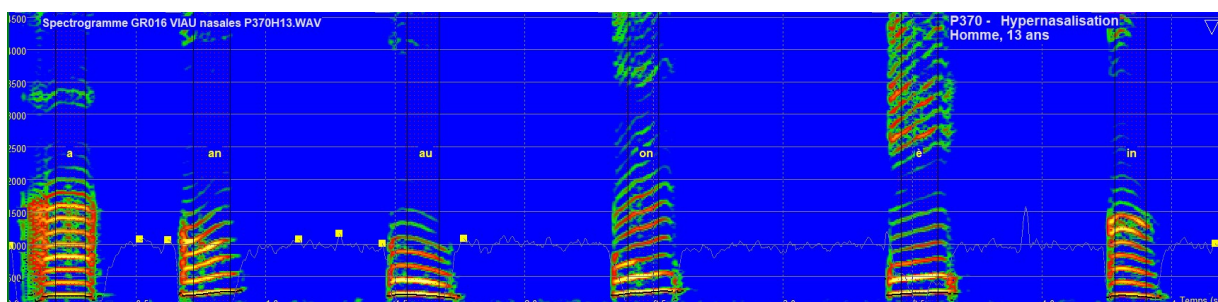
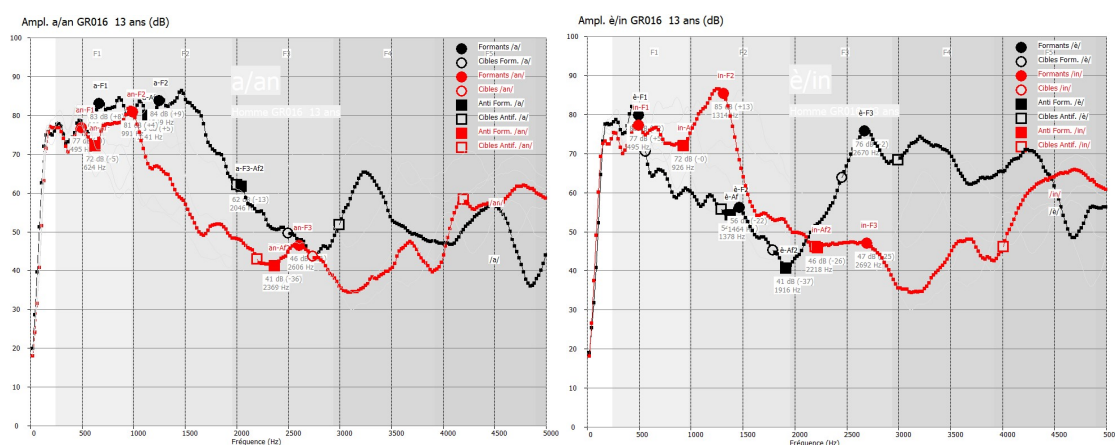


Figure 36 : Spectrogramme des oppositions orales/nasales isolées, cas GR016



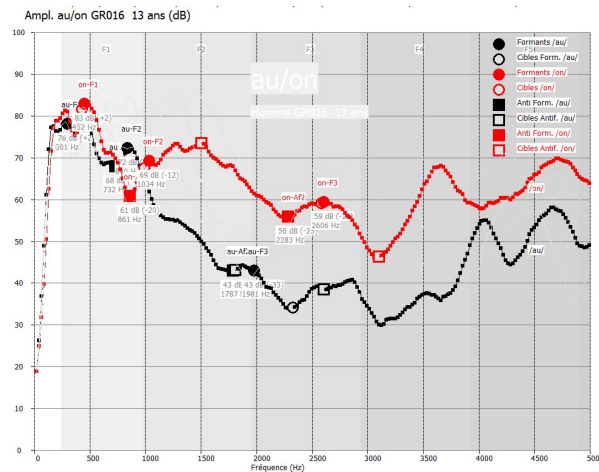


Figure 37 : Spectre moyen des oppositions orales/nasales, cas GR016

L'étude des oppositions orales/nasales en contexte isolé (figures 36 et 37) montre une différenciation nette des voyelles, avec :

- Comparatif a/an : le /a/ est plus énergétique sur l'ensemble du spectre. On note sur F2 et F4 une opposition entre formant du /a/ et antiformant du /an/
- Comparatif è/in : le /in / est plus énergétique sur F2, /è/ sur F3 et F4. On note une opposition entre résonance F3-F4 sur /è/ et antirésonance sur /in/
- Comparatif au/on : les courbes sont superposées dans la bande F1, puis se suivent à une distance de 20 dB environ (/on/ au-dessus du /au/), avec résonances et antirésonances similaires en termes de fréquence. On constate aussi un renforcement d'énergie dans les zones F4 et F5 et un parallélisme très net des 2 courbes (Figure 37 en bas).

Cas N°6 – GR018

Concernant le cas GR018 (garçon de 7 ans), le diagnostic posé met en avant une certaine hypotonie et une légère dyspraxie verbale, avec un très faible nasonnement mais de façon aléatoire, des oppositions orales/nasales peu marquées. L'inconstance des voyelles est un trait assez marquant chez ce patient. Le triangle vocalique positionne les voyelles isolées /a/, /ou/ et /i/ proches des repères d'un enfant de 4 ans et non de 7 dans l'espace F1/F2, notamment à cause de F1 très élevé (Figure 38). La diadococinésie sur /PaTaKa/ est lente et irrégulière par rapport à l'âge. Sur la phrase /Bonjour Monsieur Tralipau/, les altérations les plus marquantes concernent le /b/ prononcé /m/, le /j/ inaudible et le /l/ prononcé /n/, avec un score d'articulation en dessous de la norme. La constriction est peu présente.

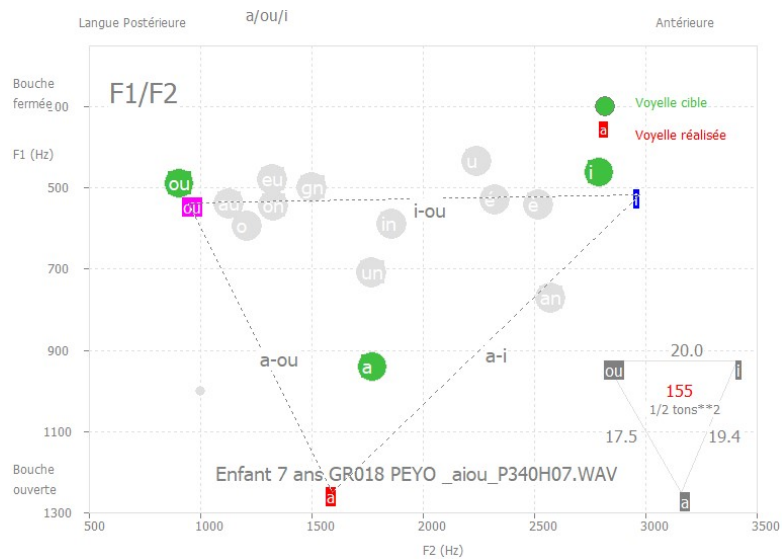


Figure 38 : triangle vocalique extrait des voyelles isolées /a,ou,i/, cas GR018

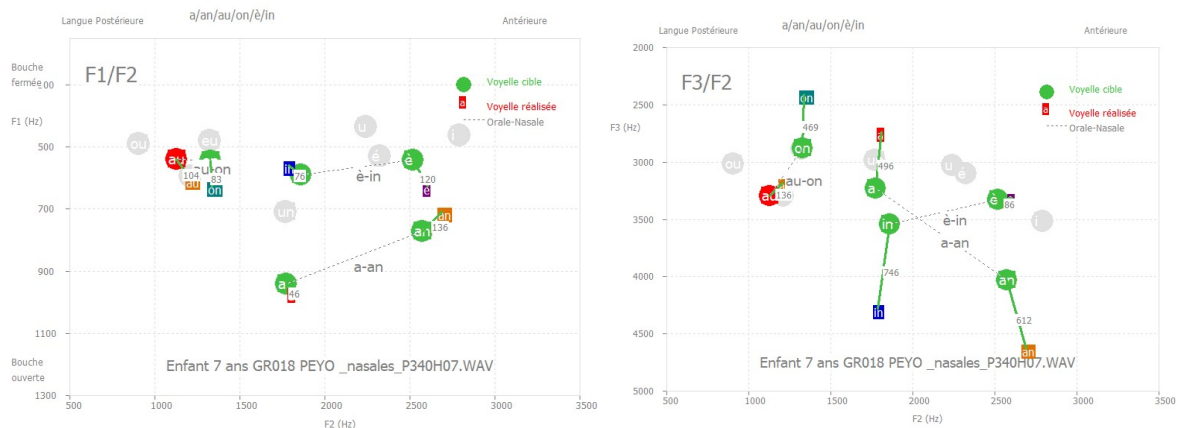


Figure 39 : Positionnement dans l'espace F1/F2 des oppositions orales/nasales, cas GR018

Les réalisations des voyelles orales et nasales (a/an, au/on, è/in) sont proches des cibles dans l'espace F1/F2, et plus éloignées pour /in/ et /an/ dans l'espace F3/F2 (Figure 39). Les profils comparés du spectre des oppositions /a-an/, /au-on/ et /è-in/ de la figure 40 ne montre pas de défaut majeur, notamment dans les rapports d'énergie et les symétries formants/antiformants. On note cependant une imprécision sur le /an/ et une absence de résonance dans les zones d'antirésonance du /a/.

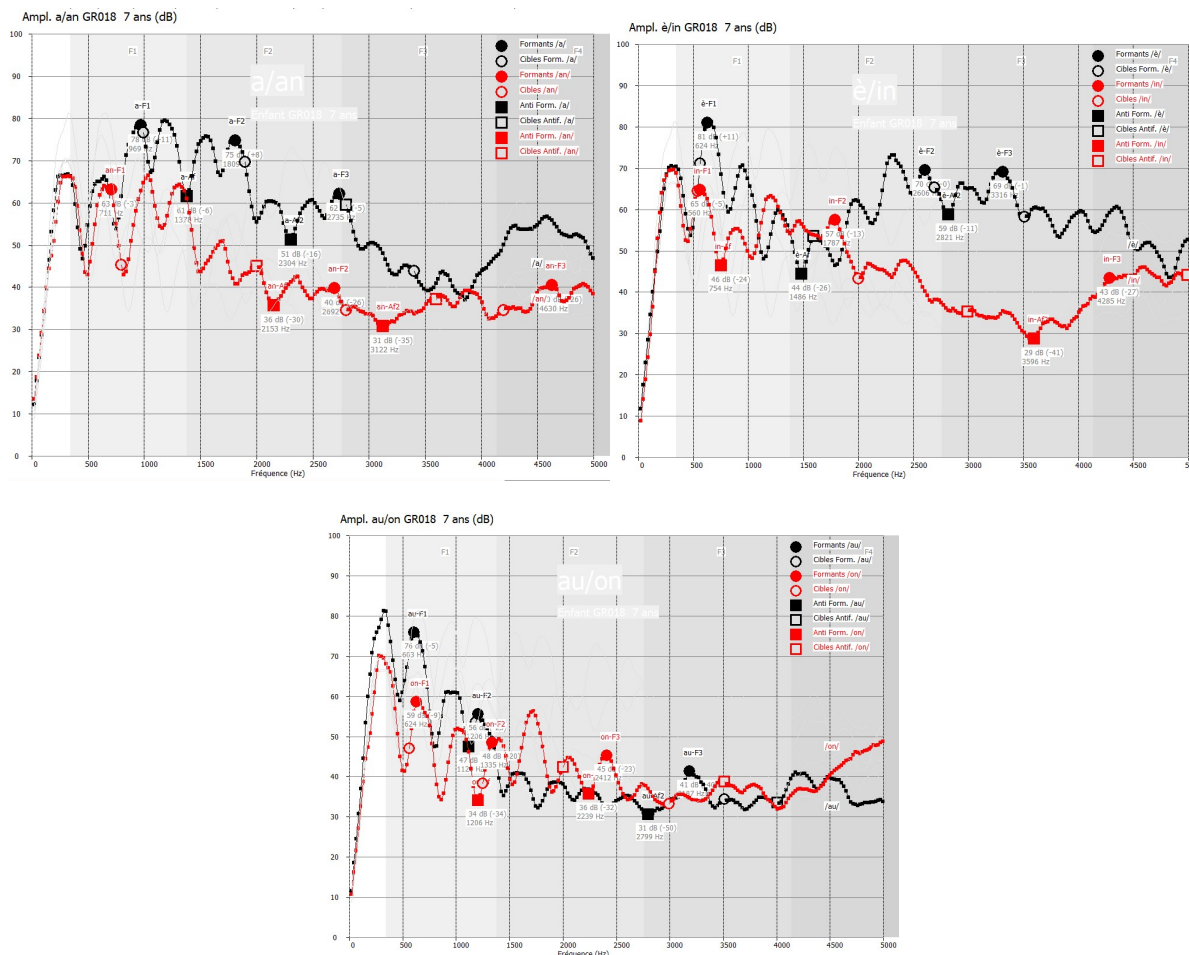


Figure 40 : Profils moyens des oppositions orales/nasales, cas GR018

Prospective

Dans le cadre de la rééducation orthophonique du contraste oral/nasal, nous souhaitons doter la plateforme DIADOLAB de capacité d'analyse en temps réel de la production du patient, permettant de donner une évaluation de la vraisemblance de la voyelle par rapport à un modèle préétabli. Pour simplifier la tâche, nous supposons connu :

- L'âge du patient
- Le genre du patient
- Le type d'opposition ciblée : /a-an/, /o-on/, etc.

En restreignant l'analyse à l'opposition entre deux modèles, nous espérons garantir une certaine fiabilité de l'identification du phonème prononcé. Une application possible de cette reconnaissance temps réel est le pilotage de la tête parlante d'après la production du patient, sujet abondamment étudié dans la littérature scientifique dans les années 1995-2015 mais pour lequel, à notre connaissance, aucun outil à application orthophonique n'a dépassé le stade du prototype de laboratoire, tel que Vizard3D [Hueber 2012].

Disposant de capacités temps réel, d'un outil de calcul de spectre moyennée, d'extraction de F0 et de formants et d'antiformants relativement fiable, nous pouvons envisager de combiner :

- les valeurs des formants (fréquence et amplitude),

- la position des formants dans les espaces fréquentiels F1/F2 et F2/F3,
- les valeurs des antiformants (fréquence et amplitude),
- la moyenne de l'énergie dans les bandes de formants,
- les valeurs relatives de l'énergie entre bandes de formants,
- la comparaison du spectre moyen par rapport aux profils type de référence homme/femme/enfant

Nous devons faire face à une grande variabilité spectrale entre individus et la disparité des réalisations du patient selon les consignes ou conditions expérimentales.

Une difficulté supplémentaire réside dans la grande variabilité des conditions d'enregistrement, que ce soit dans les cabinets d'orthophonie, ou chez le patient lui-même en condition de télé-orthophonie un système particulièrement mise en avant lors des périodes de confinement en lien avec la crise sanitaire. Il faut donc s'attendre à des coupures drastiques des basses fréquences (notamment la zone du fondamental F0), mais aussi les hautes fréquences (au-dessus de 5000 Hz), ainsi qu'à un bruit généralisé, pouvant affecter toute la bande fréquentielle de la parole, notamment dans la zone F1. Toutes ces contraintes rendent le projet d'inversion articulatoire assez délicat à amener au stade d'un outil fiable et utile en clinique orthophonique.

Conclusion

Dans cet article, nous avons analysé les caractéristiques fréquentielles des voyelles orales et nasales, en se basant notamment sur l'analyse spectrale, le calcul du spectre moyen et l'analyse statistique. Nous avons ainsi pu mettre en évidence des résonances et antirésonances récurrentes d'un point de vue forme et position fréquentielle. Nous avons aussi proposé des profils types des voyelles /a/, /an/, /au/, /on/, /è/ et /in/ pour hommes, femmes et enfants. Différents corpus comprenant des voyelles tenues isolées, des mots très simples incluant les oppositions, ou encore des phrases type ont été utilisés. Les résultats des analyses statistiques ont recoupé ceux obtenus par des études antérieures sur des corpus ciblés et homogènes.

Nous pensons avoir atteint une force statistique suffisante et être en mesure de distinguer ce qui est récurrent pour un genre donné de ce qui est spécifique à un timbre de voix en particulier. Parmi les différents types de représentation utilisés, c'est le profil moyen qui se révèle le plus précis pour évaluer les zones de résonances, d'antirésonance, et facilite grandement la comparaison des oppositions. De nombreuses illustrations ont été proposées dans cet article à base de profils type. Parmi les caractéristiques qui méritent le plus d'attention, on peut citer la position des formants en fréquence, en intensité, ainsi que les couplages résonance/antirésonance. Au travers de 4 cas de parole normale et altérée, nous avons utilisé notamment les représentations F1/F2 (triangle vocalique) et F3/F2.

L'exigence d'une détection de phonèmes de haute fiabilité dans le cadre d'un outil temps réel d'évaluation des confusions orales/nasales passe par des analyses multiparamétriques des caractéristiques des phonèmes, objectif que nous espérons atteindre progressivement, avec une extension élargie à d'autres types de confusions qui rentrent dans le champ de la prise en charge orthophonique.

Remerciements

Nous tenons à remercier les orthophonistes contributrices à l'ERU 46 du laboratoire LURCO ainsi que les orthophonistes qui ont accepté d'enregistrer des témoins et des patients ou de co-encadrer des

mémoires en lien avec la parole et ses pathologies. Nous tenons tout particulièrement à saluer le travail de Tiphaine Bardelang et Caroline Grenier concernant la parole de l'enfant dans le cadre de leur mémoire, ainsi que Gaia Lefol et Antoine Papazian pour la parole adulte normale et pathologique. Nous remercions Angélique Remacle pour les analyses partagées du corpus de parole d'enfants de 5 ans. Nous saluons aussi les membres des projets C2SI et Voice4PD qui nous ont permis, par le biais de corpus conséquents, d'affiner nos outils notamment en lien avec la segmentation, les spectres moyens et l'extraction des formants. Nous remercions les étudiants en orthophonie Alix Ségalowitch, Pauline Billières & Blanche Lecocq ainsi que les nombreux étudiants de l'INSA Toulouse qui ont conduit des analyses sur la nasalité dans le cadre de leurs projets d'initiation à la recherche.

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

A propos des auteurs



Etienne SICARD est professeur à l'INSA Toulouse en électronique, informatique et traitement du signal. Il est directeur de recherches de l'équipe ERU 46 sur la parole pathologique au Laboratoire LURCO et chercheur associé à l'IRIT dans le cadre du projet ANR Voice4PD sur le

diagnostic différentiel des Syndromes Parkinsoniens. Etienne SICARD est co-auteur des logiciels VOCALAB et DIADOLAB pour le bilan et la rééducation orthophonique de la voix et la parole, ainsi que MICROWIND et IC-EMC en lien avec les circuits intégrés. Il a co-écrit une vingtaine d'ouvrages et plus de 200 publications scientifiques dans le domaine de l'analyse de la voix et parole, des circuits intégrés, et de la compatibilité électromagnétique. Il a été nommé en 2006 *Distinguished Lecturer* de la société savante IEEE.

Site : www.etienne-sicard.fr

Email : etienne.sicard@insa-toulouse.fr



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

Dans le cadre de AMS Formation, elle organise et anime des formations aux orthophonistes sur le bilan et la prise en charge de la voix et parole pathologique. Elle a fondé en 2019 Opop, pour la formation en ligne personnalisée à destination des orthophonistes. Chercheuse associée à l'ERU 46 du LURCO, elle développe des outils de mesures objectives et de rééducation de la parole en lien avec le logiciel DIADOLAB. Elle est auteur d'un ouvrage sur l'évaluation objective de la voix (DeBoeck, 2017) ainsi que de nombreuses publications dans le domaine de la voix et de la parole pathologique.

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

Email : anne.sicard2@orange.fr

Sandrine MICHEL

Sandrine MICHEL est orthophoniste en cabinet libéral à Castelginest. Elle est aussi rattachée à l'Unité Régionale d'Évaluation des TSA et autres troubles du neurodéveloppement, Hôpital La Grave à Toulouse. Elle est aussi chargée de cours au Centre de Formation des Orthophonistes de l'Université de Toulouse, dans les domaines tels que la rééducation vocale.

Dans le cadre de l'équipe ERU 46 du LURCO/UNADREO, elle conduit des recherches sur la parole pathologique, notamment en lien avec les troubles d'articulation, dyspraxies, surdité, mais aussi les dysarthries. Elle a co-encadré différents mémoires, notamment dans le domaine de l'autisme, ainsi que celui de C. Grenier en 2020 sur l'étude comparative de tests phonologiques existants et de protocoles d'analyse objective de la parole.

Email : s.michel81@orange.fr



Gabriel ROUSTEAU

Gabriel ROUSTEAU est médecin phoniatre et praticien hospitalier au Département Audiophonologie du CHU de Nantes. Titulaire des DIU en bioacoustique, surdité et audiophonologie, il conduit des recherches dans le domaine de la dyspraxie verbale, de l'évaluation des insuffisances vélo-pharyngée, notamment à l'aide de l'aérophonoscope. Il rejoint l'équipe ERU 46 du LURCO/UNADREO pour l'analyse de parole pathologique concernant des cas de fentes palatines et de dyspraxies.

Il est chargé de cours au Centre de Formation des Orthophonistes de Nantes depuis 1991, en matière de surdité, rhinolalie, dysphasie, dysodie et anthropologie linguistique. Il enseigne notamment le diagnostic différentiel et étiologique de ces différentes pathologies. Gabriel ROUSTEAU est l'auteur et co-auteur de diverses publications, notamment dans le domaine de l'audiophonologie, l'analyse instrumentale aérodynamique des insuffisances vélo-pharyngées et le suivi des fentes labio-maxillo-palatines et des dyspraxies verbales

Site : https://www.researchgate.net/profile/Gabriel_Rousteau2

Email : dr.rousteau@live.fr

Références

- [Amelot 2004] Amelot, A. (2004) Etude aérodynamique, fibroscopique, acoustique et perceptive des voyelles nasales du français. Linguistique. Université de la Sorbonne nouvelle - Paris III, 2004. Français. (tel-00315998).
- [Baken 2000] Baken, R. J., & Orlikoff, R. F. (2000). Clinical measurement of speech and voice. Cengage Learning.
- [Bardelang 2020], Bardelang T. (2020) L'apport d'une phrase supplémentaire au protocole de DIADOLAB3, Mémoire d'orthophonie de l'Université de Lyon, encadrant A. Menin-Sicard, Juin 2020.
- [Borel 2015] Borel, S. (2015). Perception auditive, visuelle et audiovisuelle des voyelles nasales par les adultes devenus sourds. Linguistique. Université Sorbonne Paris Cité. tel-01162201

- [Boula de Mareüil 2007] Boula de Mareüil, P., Adda-Decker, M., & Woehrling, C. (2007). Analysis of oral and nasal vowel realisation in northern and southern French varieties. In 16th International Congress of Phonetic Sciences (pp. 2221-2224).
- [Carlin 2019] Carlin, C. (2019) Caractéristiques de la production orale chez les enfants porteurs d'une fente labio-palatine totale avant greffe osseuse, et ceux porteurs d'une fente palatine uniquement. Étude comparative pour des enfants âgés de 2 à 6,5 ans. Mémoire orthophonie Université Strasbourg, Juin 2019
- [Delattre 1968] Delattre, P. (1968). Divergences entre nasalités vocalique et consonantique en français. *Word*, 24(1-3), 64-72.
- [Denkinger 1946] Denkinger, M. (1946). Du refus de nasalisation en français. *French Review*, 310-319.
- [Diadolab 2019] Menin-Sicard, A., Sicard, E. (2019) DIADOLAB 3 - Logiciel d'évaluation et de rééducation de la parole - Manuel d'utilisation. 2019. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02073314>
- [Fily 2018] Fily, M. (2018). Caractérisation de la nasalité en contexte de parole: séparation du signal oral et nasal pour la recherche des corrélats de la nasalité dans le signal oral. Application au français et au mandarin.
- [Grenier 2020] Grenier C. (2020), Etude comparative de tests phonologiques existants et du protocole d'analyse objective de la parole avec Diadolab : intérêt et limites d'un test court et des mesures objectives d'intelligibilité et de fluence. Mémoire de Master d'orthophonie. Université de Toulouse. Co-encadrement : S. Michel, E. Sicard.
- [HAL] <https://hal.archives-ouvertes.fr>
- [Hueber 2012] Hueber T (2012) "Vizart3D : Retour Articulatoire Visuel pour l'Aide à la Prononciation", JEP 2012, Grenoble, France, pp. 17-18
- [Kent 2000] Kent, R. D., & Ball, M. J. (Eds.). (2000). Voice quality measurement. Singular.
- [Kent 2018] Kent, R. D., & Vorperian, H. K. (2018). Static measurements of vowel formant frequencies and bandwidths: A review. *Journal of communication disorders*, 74, 74-97.
- [Lefol 2018] Lefol, G. (2018) "Vers une évaluation objective de l'articulation en pratique clinique orthophonique", Mémoire de Grade Master 2 en Orthophonie, Université de Tours, Faculté de médecine, Centre de Formation Universitaire en Orthophonie, dumas-01815287, 2018
- [Martin 2001] Martin, P., Beaudoin-Bégin, A. M., Goulet, M. J., & Roy, J. P. (2001). Les voyelles nasales en français du Québec. *La linguistique*, 37(2), 49-70.
- [Meynadier 2019] Meynadier, Y., Ghio, A., Cesari-Lietard, A., & Robert, D. (2019). Protocole d'analyse aérodynamique de la nasalité en français: des variétés régionales aux variations cliniques. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02098835/>
- [Montagu 2002] Montagu, J. (2002). L'articulation labiale des voyelles nasales postérieures du français: comparaison entre locuteurs français et anglo-américains. *Actes des XXIVèmes JEP*, 253-256.

- [Novotny 2017] Novotny, M., Rusz, J., Spalenka, K., Klempir, J., Horakova, D., & Ruzicka, E. (2017). Acoustic Evaluation of Nasality in Cerebellar Syndromes. In INTERSPEECH (pp. 3132-3136).
- [Papazian 2019] Papazian, A. (2019) Analyse acoustique de la production des consonnes et voyelles dans l'ataxie de Friedreich. Mémoire d'orthophonie, Université de Tours, Juin 2019.
- [Pruthi 2007] Pruthi, T., Espy-Wilson, C. Y., & Story, B. H. (2007). Simulation and analysis of nasalized vowels based on magnetic resonance imaging data. The Journal of the Acoustical Society of America, 121(6), 3858-3873
- [Remacle 2017] Remacle A., Genel Y., Segers M. (2017), Caractérisation de la voix d'enfants francophones euphoniques âgés de 5 ans, Congrès de la SFP & Journées Thérapeutiques de la voix, Nice, France.
- [Remacle 2020] Remacle, A., Genel, Y., Segers, M., & de Bodt, M. (2020). Vocal characteristics of 5-year-old children: Proposed normative values based on a French-speaking population. Logopedics, Phoniatrics, Vocology, 45(1), 30-38.
- [Rousteau 2017] Rousteau, G., & Talmant, J. C. (2017). L'évaluation des insuffisances vélo-pharyngées par l'aérophonoscope: essai de classification et incidences thérapeutiques. REV LARYNGOL OTOL RHINOL, 138(4), 143-15
- [Sicard 2019a] Menin-Sicard A., Sicard E. (2019). Méthodologie d'évaluation objective de la phonologie, de la fluence et de la prosodie - Vers un bilan rapide à destination des orthophonistes. Journées de Phonétique Clinique JPC, Mai 2019, Mons, Belgique. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02127039>
- [Sicard 2019b] Sicard E., Menin-Sicard A. (2019). Analyse de la qualité des phrases pour un bilan objectif de la parole. [Rapport de recherche] INSA Toulouse. 2019. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02389764>
- [Sicard 2020a] Sicard E., Menin-Sicard A. (2020). DIADOLAB: bilan court et objectif de la dysarthrie dans le cadre de la prise en charge orthophonique. Journées Nationales de Neurologie en langue Française, Avril 2020, Lyon, France. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02396136>
- [Sicard 2020b] Sicard, E., & Menin-Sicard, A. (2020). Le triangle vocalique et son application en contexte orthophonique. Rapport de recherches en archives ouvertes. INSA Toulouse, LURCO/UNADREO. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02504513/>