HAL
open science

Nouveaux outils d'analyse de la qualité de la voix : bilan de 15 années de recherches dans le cadre de l'ERU 15 du LURCO-UNADREO

Etienne Sicard, Anne Menin-Sicard, Stéphanie Borel

To cite this version:

Etienne Sicard, Anne Menin-Sicard, Stéphanie Borel. Nouveaux outils d'analyse de la qualité de la voix : bilan de 15 années de recherches dans le cadre de l'ERU 15 du LURCO-UNADREO. 28é Congrès scientifique international de la Fédération Nationale des Orthophonistes (FNO), Jun 2021, Lille, France. hal-03196106

HAL Id: hal-03196106

https://hal.science/hal-03196106v1

Submitted on 12 Apr 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.

Nouveaux outils d'analyse de la qualité de la voix : bilan de 15 années de recherches dans le cadre de l'ERU 15 du LURCO-UNADREO

Etienne Sicard (1,2), Anne Menin-Sicard (2), Stéphanie Borel (2,3)

INSA-GEI, 135 Avenue de Rangueil, 31077 Toulouse (1)
Laboratoire LURCO www.lurco.unadreo.org (2)
Université de Tours (3)

Résumé : Dans cet article, nous donnons une vue d'ensemble des actions de recherches entreprises depuis 2003 dans le cadre de l'équipe de recherches UNADREO ERU15 dédiée à l'évaluation objective de la qualité de la voix dans le contexte clinique orthophonique. Nous décrivons les phases successives de nos recherches, les personnes impliquées, les mémoires de Master d'orthophonie co-encadrés, les principaux résultats, leur exploitation en clinique orthophonique, avec une perspective vers l'étude de la parole pathologique. Nous mettons notamment en avant les bénéfices d'une approche pluridisciplinaire, la construction d'une base de données de voix altérée et pathologiques, associée à des fiches d'études de cas mise à disposition par des orthophonistes cliniciennes.

Mots clé : orthophonie, évaluation de la voix, prosodie, dysprosodie, intonation, étendue vocale, VOCALAB, Fondamental, FUM, phonétogramme, altération de la voix, altération de la parole, base de données de voix, bilan d'évolution.

Introduction

Créée en 1982, l'UNADREO (Union Nationale pour le Développement de la recherche et de l'Evaluation en Orthophonie) a été reconnue Société Savante de l'orthophonie en 2005. Depuis 2001, ont été mises en place des Equipes de Recherche UNADREO (ERU), qui avaient pour vocation de faire exister une véritable recherche dans notre domaine. Le constat initial qui a justifié la création d'une équipe de recherches focalisée sur les outils d'analyse objective de la voix était celui des limites des méthodes d'évaluation perceptive de la qualité de la voix, notamment du fait de la variabilité inter-cliniciens, d'un manque de fiabilité et de crédibilité vis-à-vis du patient, ou encore des risques de projections de critères de jugement personnels. Le projet de recherches était dirigé vers la mise au point d'outils cliniques simples, fiables et normalisés, permettant de donner des indications chiffrées sur la qualité de la voix. Leur but était d'orienter l'orthophoniste vers des axes thérapeutiques ciblés et de donner des éléments objectifs sur les progrès accomplis, par comparaison des indices acoustiques avant/après prise en charge orthophonique.

La demande de création de l'ERU 15 a été faite par E. Sicard, Professeur à l'INSA Toulouse, auprès du Directeur de l'UNADREO, Mr Thierry ROUSSEAU, en 2002. Les travaux de l'ERU 15 « Nouveaux outils d'analyse de la qualité de la voix » ont été conduits en 3 phases distinctes : une première phase centrée sur la validation d'outils d'évaluation et de rééducation de la voix, décrite à la section 1, une deuxième phase sur les indicateurs d'altération de la voix décrite en section 2, enfin une 3ème phase d'extension

de la base de données de voix pathologiques et d'analyses spécifiques, décrite à la section 3. La diffusion des résultats de l'équipe ERU15 s'est faite via la revue GLOSSA, en archives ouvertes depuis 2010 [Glossa], Rééducation Orthophonique [RO] et des ouvrages dédiés chez Deboeck-Solal ou Ortho-Editions. Nous avons aussi mis un grand nombre de résultats en accès libre sans préinscription via le site d'archives ouvertes HAL [HAL]. La section références en fin d'article donne les liens vers les références les plus représentatives des travaux de recherche.

Démarche suivie

La démarche de recherches dans le cadre de l'ERU 15 s'est démarquée d'une démarche de recherches usuelle (figure 1 à gauche) dans le sens où la démonstration de l'utilité et de l'efficacité des résultats de recherche devait être réalisée très tôt, en « circuit court », proche de l'application clinique et de la remontée terrain. Notre approche (Figure 1 à droite) s'apparente au formalisme des « méthodes agiles » [Schwartz 2009]. La *conception centrée utilisateurs*, que nous appelons aussi *logique de l'usage*, nécessite un lien étroit entre les chercheurs, développeurs et cliniciens, et requiert une grande flexibilité, et capacité à se comprendre entre spécialistes utilisant des jargons différents, à appréhender les difficultés et nécessaires priorisations liées au développement et au test de prototypes successifs, tout en maîtrisant le temps de développement, le coût du test et la pertinence des approches incrémentales.

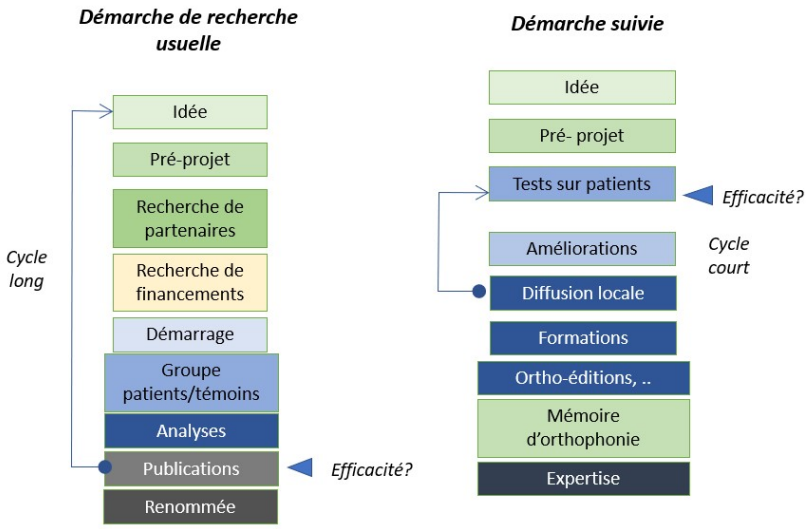

Figure 1 : comparaison entre les démarches de recherches conventionnelles et la démarche suivi dans l'ERU 15

Notre démarche peut être qualifiée *d'hybridation frugale*, sans financement spécifique, en grande partie basée sur le volontariat ou le bénévolat motivé au sein d'une équipe pluridisciplinaire non hiérarchisée et respectueuses des contraintes de chacun. Notre ambition était de développer des outils à moindre coût, pour le plus grand nombre, afin de rendre le bilan plus objectif et la rééducation orthophonique plus efficace. Nous nous inscrivons donc dans une mouvance d'amélioration de la qualité de soins, tout en s'approchant du cadre méthodologique des pratiques probantes. Un de nos outils privilégiés est le co-encadrement de mémoires d'orthophonie, couvrant diverses compétences (clinique, traitement du signal, statistiques, expertise sur certaines pathologies).

Par l'analyse de corpus de groupes de cas de taille suffisante et à l'aide d'outils de statistiques dédiés, nous souhaitions extraire des tendances significatives, comparer nos approches avec les outils et

méthodes de référence, publier nos algorithmes, résultats et sources afin de faciliter le débat contradictoire. Nous avons aussi impliqué dans l'équipe de recherche des étudiants en stage d'initiation, en stage de DRTO et en mémoire de Master, créé des supports pédagogiques pour la formation initiale et continue.

Au niveau publications, nous privilégions les supports en Français, à accès ouverts tels que HAL, sur des formats de rapports de recherche relativement conséquents, étayés et illustrés. Le bénéfice indirect de cette démarche de recherches est l'amélioration de compétences, la construction sur le long terme d'une expertise qui peut se traduire par la rédaction d'ouvrage et la construction de contenus de formation originaux, scientifiques et de haut niveau.

Phase 1

La durée prévue était de 3 ans (2003-2006). L'objectif était principalement de valider de nouveaux outils de calcul des paramètres acoustiques de la voix à destination des orthophonistes et de les intégrer dans le logiciel VOCALAB, édité par la société GERIP à partir de 2001. Nos objectifs étaient de comparer notamment les calculs de fréquence et d'intensité avec des outils référents de l'époque Audiosculpt [Boogards 2004] et Matlab™ [McLoughlin 2009]. Afin de valider VOCALAB comme outil d'aide au bilan, nous avons validé et affiné les valeurs repères proposées, évalué l'influence du matériel (PC, micro, carte son) sur les résultats obtenus. Nous souhaitions aussi disposer d'une base de données de voix d'hommes et de femmes permettant de dégager des tendances en fonction des pathologies : FUM, étendue vocale, richesse harmonique, etc.

Membres de l'équipe

- Etienne Sicard, Professeur, INSA de Toulouse, directeur de recherches ERU 15
- Jean-Claude Farenc, Orthophoniste, Institut Claudius Regaud, Toulouse
- Claude Legros, Professeur d'acoustique, Université du Mirail,Toulouse
- Simy Coen, Orthophoniste à Nice, Responsable administrative ERU 15 Unadreo
- Philippe Revy, Orthophoniste, Société GERIP

Travaux réalisés

Nous avons défini un protocole d'enregistrement de la voix (/a:/ tenu, voix conversationnelle, sirène ; voix d'appel), et par l'intermédiaire de S. Cohen, Unadreo, sollicité une quinzaine d'orthophonistes qui ont effectué les enregistrements, qui concernaient majoritairement des voix normales (groupe témoin) avec quelques voix altérées et pathologiques. Nous avons pu comparer les spectres instantanés produits par VOCALAB et Audiosculpt (Figure 2), ainsi que les spectrogrammes entre VOCALAB et MATLAB (Figure 3).

En exploitant les échantillons du /a:/ tenu, nous avons extrait la fréquence qui s'est avérée très proche des repères initiaux proposés dans l'écran « fondamental + étendue vocale » de VOCALAB (Figure 4), qui était basée sur une revue de littérature, notamment des ouvrages de référence de [Kent 2000] et [Baken 2000], véritables bibles de l'évaluation des paramètres acoustiques de la voix.

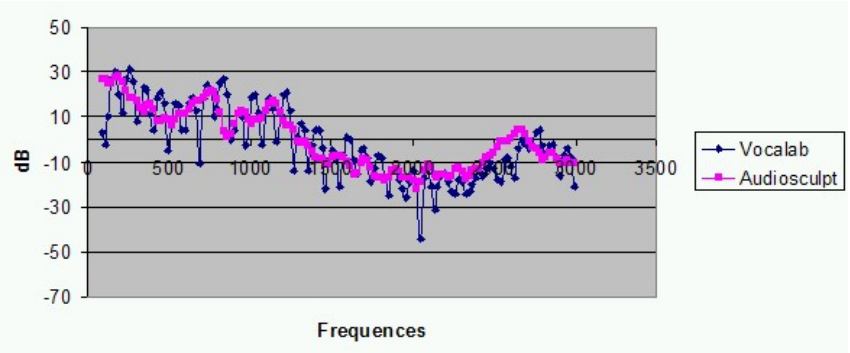

Figure 2 : comparaison VOCALAB/Audiosculpt des spectres d'un échantillon de voix

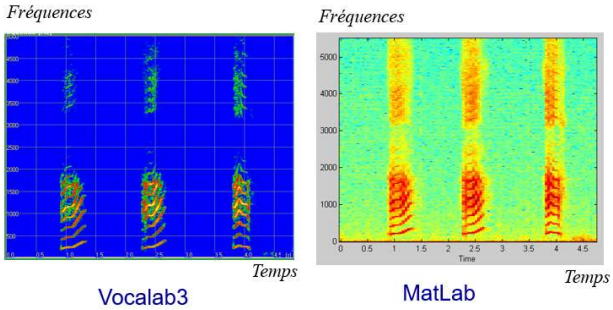

Figure 3 : comparaison VOCALAB/MATLAB du spectrogramme de la voix d'appel

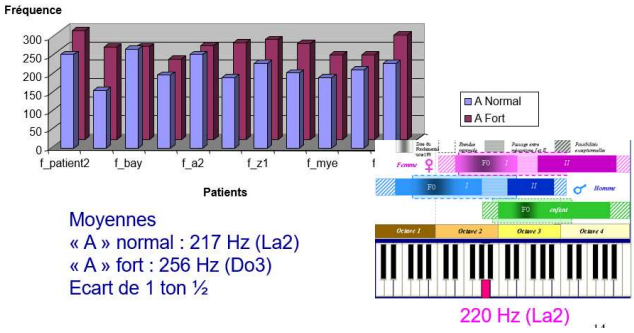

Figure 4 : Extraction de valeurs moyennes et comparaison avec les normes proposées dans VOCALAB

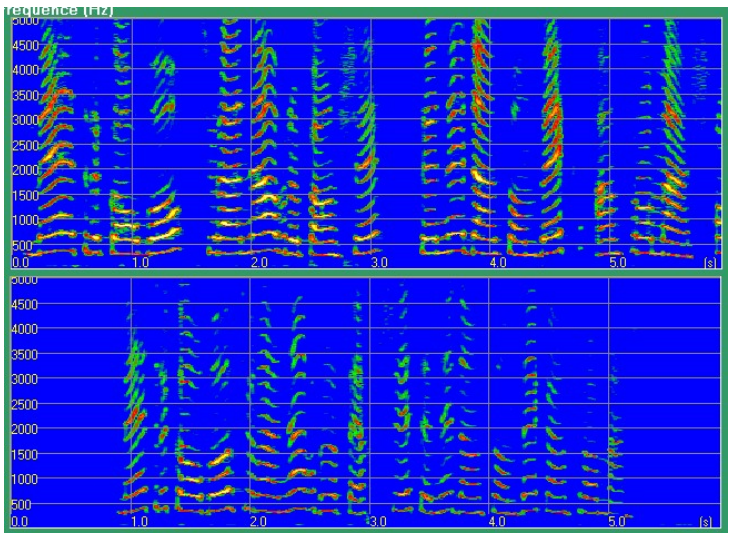

Figure 5 : Comparaison du spectrogramme de « Maître corbeau » avant (en bas), et après prise en charge orthophonique (en haut).

Exploitation en clinique orthophonique

Nous avons donné des recommandations concernant le type de micro, la distance bouche/micro, le réglage de la carte son et l'étalonnage. Nous avons pu montrer le très grand intérêt du spectrogramme, autant en mode temps réel pour la rééducation qu'en mode différé pour l'analyse comparative des performances du patient, comme illustré figure 5 avant et après prise en charge. Nous avons décrit dans un ouvrage « *Vocalab : aide à l'évaluation et à la rééducation de la voix et de la parole : de la théorie à la pratique* » paru aux éditions Ortho-Editions [Menin-Sicard 2006] les notions d'enrichissement du timbre, les variations de la fréquence fondamentale, de la qualité de l'attaque, l'instabilité en hauteur et en intensité, etc.

Nous avons aussi démarré dès 2003 des actions de formation continue auprès des orthophonistes à Toulouse. Les actions de formation sont montées en puissance années après années, notamment à l'invitation de syndicats régionaux, avec une notoriété grandissante de VOCALAB comme outil objectif d'aide à la prise en charge des pathologies de la voix. Nous avons aussi publié deux articles dans *Glossa* [Menin-Sicard 2004] [Menin-Sicard 2007].

Phase 2

En 2010, le Comité Directeur de l'UNADREO a créé le Laboratoire Unadréo de Recherche Clinique en Orthophonie (LURCO). Ce laboratoire a réuni les ERU existantes, dont l'ERU15, permettant notamment une meilleure cohésion de leurs actions et un affichage plus clair de la recherche en orthophonie sous une même entité. En parallèle, de nouvelles demandes sont apparues en lien avec l'évaluation des paramètres acoustiques de la voix, notamment grâce à la popularité grandissante de PRAAT [Boersma 2018], à accès libre contrairement aux autres logiciels disponibles (EVA2, MDVP), qui permettait de conduire des analyses fines de la qualité de la voix, notamment par le biais d'indicateurs tels que le *Jitter, Shimmer, Harmonic-Noise-Ratio*, etc.

A partir de 2012, nous avons rassemblé une équipe élargie et défini un programme de travail de 4 ans, que nous avons appelé « phase 2 », principalement centré sur le développement d'indicateurs d'altération de la voix, en se basant sur les analyses PRAAT, MDVP, mais aussi les méta-analyses sur la voix et ces pathologies, avec une attention particulière aux réserves émises par la communauté scientifique vis-à-vis de la difficulté d'interprétation de certains résultats et le manque de corrélation avec l'analyse clinique ou l'auto-évaluation du patient.

Nos objectifs étaient d'aider les orthophonistes à affiner l'évaluation objective de la voix afin de définir plus précisément le projet thérapeutique, de corréler avec l'auto-évaluation avec l'évaluation perceptive, de chiffrer de manière fiable les progrès au fil des séances de rééducation à l'aide de marqueurs pertinents transmissibles et comparables, et enfin de valider la pertinence des outils et les prototyper dans le logiciel VOCALAB.

Membres de l'ERU 15 Phase 2

- Stéphanie BOREL, Orthophoniste, Hôpital Beaujon, Clichy, Doctorante université Paris 3
- Marie DAUMET, Etudiante en orthophonie à Nice

- Jean-Claude FARENC, Orthophoniste, Institut Claudius Regaud, Toulouse
- Peggy GATIGNOL, Professeure associée, Université Paris-VI,
- Anne MENIN-SICARD, Orthophoniste, Toulouse
- Stéphanie PERRIERE, Orthophoniste, CHU Pasteur, Nice
- Etienne SICARD, Professeur, INSA de Toulouse (Directeur de recherches ERU 15)

Travaux réalisés

La première tâche de l'ERU 15 a été de dresser un état de l'art des marqueurs de pathologies déjà implémentés dans différents outils (EVA2, PRAAT, MDVP), les démarches scientifiques associées et les éventuelles critiques formulées dans leur utilisation ou leur biais [Sicard 2013]. Les orthophonistes de l'ERU 15 ont été sollicitées pour fournir, dans le respect de la loi informatique et liberté et la CNIL, des échantillons de voix (voyelles, sirènes) avant et après rééducation, qui ont donné lieu à la construction d'une base de données de voix pathologiques ouverte [Sicard 2014]. Nous nous sommes reposés sur la classification internationale et nomenclature décrite par [Verdolini 2006].
Après une phase d'analyse de plusieurs mois et de tests préliminaires, nous avons pu sélectionner cinq marqueurs que nous considérons comme les plus pertinents : altération de l'attaque, instabilité en hauteur, instabilité en amplitude, rapport bruit/signal et pauvreté harmonique. Nous avons proposé de normaliser ces indicateurs de sorte que l'indicateur soit < 1.0 pour les voix normales et >1.0 pour des voix altérées, et >> 1.0 pour des voix pathologiques.
Une fois les indicateurs implémentés, nous avons pu tester leur pertinence sur l'ensemble des 150 cas de voix normales, altérées et pathologiques de la base de données en ligne. La comparaison des résultats avec PRAAT [Sicard 2013b], l'analyse de la corrélation entre les indicateurs a permis d'affiner les algorithmes en vue d'une parution dans la version 4 de VOCALAB. La figure 6 donne un exemple d'évaluation des cinq indicateurs d'altération du /a:/ tenu avant et après rééducation, cas SP119 de la base de données.

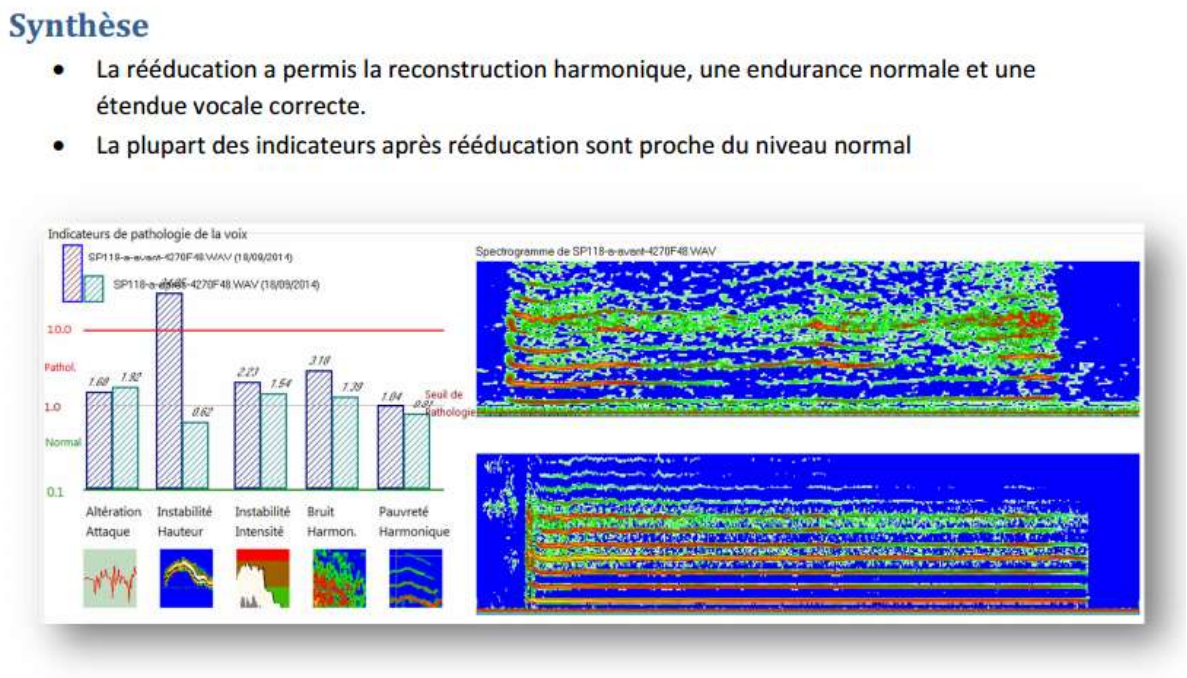

Figure 6: Evolution des indicateurs de pathologie de la voix et spectrogrammes avant/après prise en charge orthophonique [ERU 15]

Nous avons bénéficié d'une bonne dynamique d'équipe, d'étudiants rigoureux et motivés, ce qui a permis un partage de connaissances, des itérations et progressions rapides dans la pertinence de l'évaluation des pathologies de la phonation. Un prototype d'outil statistique a été développé en support aux mémoires, pour traiter jusqu'à 100 cas de voix afin d'en extraire des tendances, comme l'augmentation des indicateurs avec l'âge [Barbera & Frenay 2016] ou la variabilité des indicateurs [Daumet 2015]. Plusieurs publications ont été faites incluant des études de cas [Perriere 2013][Sicard 2016b] [Sicard 2016].
Deux mémoires d'orthophonie ont été conduits dans le cadre de l'ERU 15 phase 2 :

- Marie DAUMET : Le but de son travail était de construire des profils vocaux objectifs pour 11 pathologies vocales et d'étudier leur pertinence clinique. Les profils ont été construits grâce à 5 indicateurs de pathologie (altération de l'attaque, instabilité en hauteur, instabilité en amplitude, bruit, pauvreté en harmoniques) du logiciel d'évaluation et de rééducation vocales VOCALAB. La construction et l'analyse des profils nous ont permis de constater que les indicateurs de VOCALAB permettaient d'obtenir des résultats pertinents et cohérents avec les troubles attendus décrits dans la littérature. Néanmoins certaines incohérences de mesure et une étude sur la variabilité des indicateurs nous ont conforté dans l'idée que même si l'évaluation instrumentale est un atout majeur dans l'évaluation vocale d'aujourd'hui elle ne saurait se passer de l'appréciation subjective de la voix du patient [Daumet 2015].
- Océane BARBERA et Camille FRENAY [Barbera & Frenay 2016] ont souhaité explorer la voix âgée sur des plans objectifs comme subjectifs. Leurs résultats ont montré que l'âge aurait un impact négatif sur la voix et sa perception. D'un point de vue acoustique, la voix évolue au cours du temps chez les femmes comme chez les hommes et cela plus significativement à partir de ans. Une importante proportion de la population (20%) aurait des profils vocaux subnormaux dont la plupart réunissent les conditions nécessaires à la mise en place d'un suivi thérapeutique. La conscience de sa voix et de l'évolution qu'elle subit avec le temps est loin d'être systématique dans la population tout venant et participe largement à la sous-estimation des altérations vocales chez les personnes de plus de 50 ans. Le travail s'est inscrit au sein d'un projet de développement des outils cliniques aujourd'hui disponibles pour prendre en charge les troubles de la voix : le logiciel Vocalab et sa base de données en ligne.

Exploitation en clinique orthophonique

Un ouvrage pédagogique a été édité à la fois pour la formation initiale dans les écoles d'orthophonie et pour la formation continue [Menin-Sicard 2016]. Il contient notamment dans le chapitre 4, 5 études de cas.
Une base de cas de voix en ligne avec notamment 50 cas d'enregistrements avant/après prise en soin et 100 fiches descriptives ont été mises en ligne, accessibles depuis le site du LURCO [ERU 15].
L'étude de l'évolution des indicateurs au cours de la rééducation (avant/après) avec la liste des axes thérapeutiques associés, a fait l'objet de fiches en libre accès, et de publications scientifiques autour d'études de cas [Menin-Sicard 2016] [Sicard 2016b].
Différentes formations autour des indicateurs de pathologie et de l'utilisation de la base de données ont été proposées à partir de 2014 dans le cadre de formation continue, d'ateliers ou de conférences.

Phase 3

Grâce à la contribution de 15 orthophonistes cliniciennes, nous avons pu enrichir la base de voix en ligne et élargir le type de pathologies adressées. Nous avons étudié plus spécifiquement la voix des jeunes enfants grâce à l'accès au corpus de voix et parole d'enfants de 5 ans [Remacle 2017] [Sicard 2019], en utilisant le module de calculs statistiques de VOCALAB qui traite une vingtaine d'indices acoustiques en lien avec la voix.

Membres de l'ERU 15 Phase 3

- Stéphanie BOREL, Maître de Conférences Université de Tous
- Peggy GATIGNOL, Professeur, Université Paris-VI,
- Anne MENIN-SICARD, Orthophoniste, Formatrice voix & parole, Puybegon
- Etienne SICARD, Professeur, INSA Toulouse (Directeur de recherches ERU 15)
- Stéphanie BOREL, Orthophoniste, Maître de Conférences
- Claire PILLOT-LOISEAU, Orthophoniste, Maître de Conférences
- Stéphanie PERRIERE, Orthophoniste
- Aurélie RAVERA-LASSALE , Orthophoniste
- Gaïa LEFOL, étudiante en orthophonie à Tours
- Antoine PAPAZIAN, étudiant en orthophonie à Tours

Travaux réalisés

A partir de 2017, nos travaux de recherche ont pris un virage vers l'analyse des composantes de la parole. La plateforme VOCALAB, spécifiquement dédiée à la voix et ses pathologies, s'est révélée très vite limitée pour l'analyse de la parole, notamment l'analyse au niveau phonèmes. Nous avons donc décidé de poursuivre les développements autour de la parole pathologique sur la plateforme DIADOLAB, qui était édité par la société GERIP depuis 2011.

Les mémoires de [Lefol 2018] et [Papazian 2019] ont concerné non seulement les indices acoustiques de la voix, mais aussi des segments de voyelles et de consonnes en vue de l'analyse de caractéristiques moins restreintes que la simple analyse du /a:/ tenu, d'une sirène ou de l'aire dynamique vocale :

- Gaia LEFOL (2017-2018) [Lefol 2018] a étudié les substitutions phonologiques et/ou phonétiques dans le cadre des troubles de la parole (co-encadrants S. Borel, E. Sicard). Il a été proposé à 40 sujets sains et à 8 sujets atteints d'une ataxie de Friedreich de produire plusieurs syllabes ou logatomes portant sur 14 paires minimales. Pour chacune d'entre elles, différents paramètres acoustiques ont été comparés sous Praat afin de voir lesquels étaient les plus pertinents pour distinguer la parole saine de la parole pathologique. Sous Diadolab, des mesures globales de distances inter-phonèmes ont été réalisées d'après l'intensité et la fréquence. Si les résultats sous Praat sont difficilement interprétables en raison d'une trop grande sensibilité des indicateurs, les résultats sous Diadolab sont quant à eux plus exploitables. Ces derniers permettent de mettre en avant des distances moyennes interphonèmes chez les sujets normaux qui varient chez les sujets atteints d'une ataxie de Friedreich. Même si la dernière fonctionnalité développée par le logiciel Diadolab n'en est qu'à ses débuts pour l'évaluation objective de l'articulation, la dernière fonctionnalité développée par le logiciel semble toutefois adaptée à la pratique clinique orthophonique tant pour l'évaluation que pour la rééducation.

- Le mémoire d'Antoine PAPAZIAN (2018-19), soutenu en Juin 2019 à l'Université de Tours (S. Borel, E. Sicard) [Papazian 2019] a porté sur l'analyse acoustique de la parole dysarthrique dans le cadre de la maladie de Friedreich (FRDA). Antoine PAPAZIAN a exploité des données de parole pathologique du projet ORFA en lien avec l'ERU 35 (Pitié Salpêtrière, ICM, Sorbonne-Université Sorbonne Université). Quarante sujets FRDA ont été enregistrés deux fois chacun sur un même corpus de logatomes issu du protocole MonPaGe [Fougeron 2016], à un an d'intervalle, ainsi que quarante sujets témoins qui leur sont appariés en âge et en sexe. Des échantillons de productions de voyelles et de consonnes ont été segmentés sur la base de ce corpus et ont été soumis à une analyse acoustique via les logiciels Praat [Boersma 2018] et Diadolab. Concernant les voyelles, les valeurs des formants F1 et F2 indiquent que les sujets FRDA sont globalement concernés par des mouvements d'ouverture et fermeture mandibulaire moins amples. Concernant les consonnes, on a constaté des difficultés à initier le voisement en début de mot sur une consonne sonore et à le stopper en milieu ou fin de mot sur une consonne sourde.

Exploitation en clinique orthophonique

Plus de 250 cas de voix /a/ et sirènes pris en charge par une dizaine d'orthophonistes cliniciennes ont été mis en ligne, accessibles depuis le site de l'ERU 15 [ERU 15]. Une centaine de fiches descriptives accompagnent ces cas. Pour une trentaine de fiches, une description détaillée du /a/ tenu avant et après prise en charge, sirène avant et après prise en charge, axes thérapeutiques et synthèse des progrès observés est disponible (Figure 7).

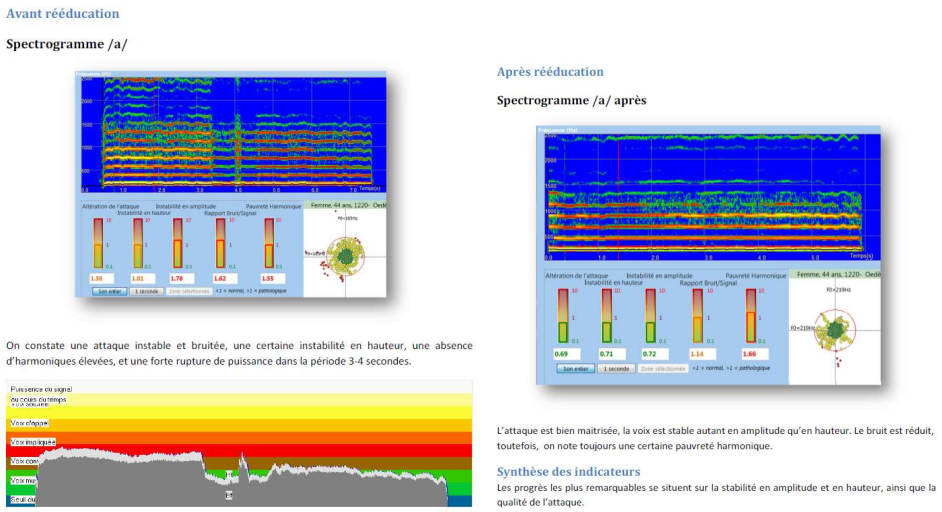

Figure 7 : exemple d'analyse avant/après prise en charge

De l'analyse avant-après prise en soin, on peut donner une évaluation chiffrée des progrès, une visualisation des performances vocales telles que la durée de phonation, l'étendue vocale, l'altération de la voix, ou encore les possibilités globales du patient grâce à l'aire dynamique vocale.

Différentes publications sur les études de cas ont été faites, notamment 5 cas différents dans l'ouvrage [Menin-Sicard 2016] au chapitre 4, et 12 cas dans la publication [Menin-Sicard 2021b]. Concernant le bilan d'évolution, nous avons proposé de présenter les résultats sous forme synthétique en reportant la trajectoire de 13 indices acoustiques de la voix avant et après prise en charge, afin de souligner des

évolutions positives des performances du patient. La zone normale est située au centre de la cible. Plus les paramètres sont altérés, plus ils se dessinent sur les zones excentrées (Figure 8).

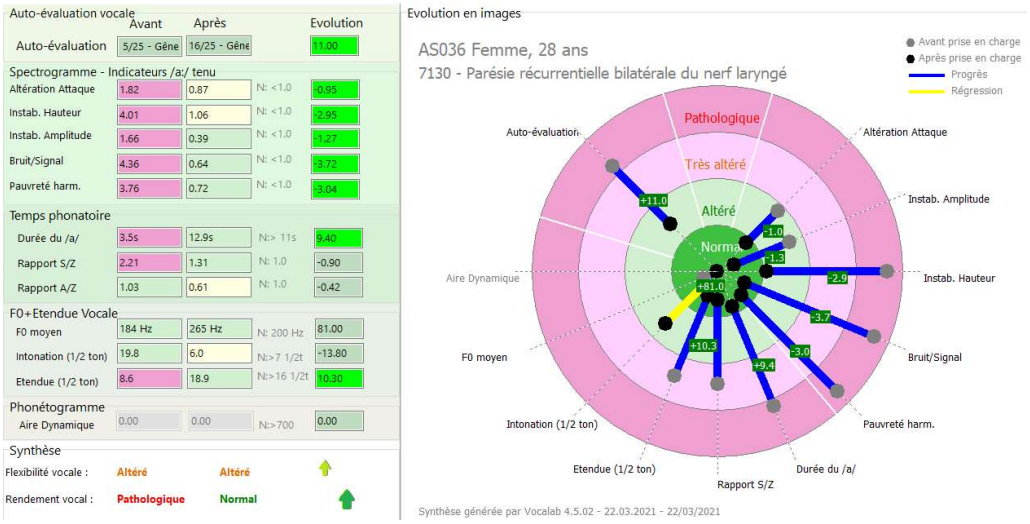

Figure 8 : Exemple de synthèse de l'évolution des paramètres avant/après prise en charge orthophonique à l'aide de l'écran « bilan d'évolution » de VOCALAB

Les différents paramètres qui apparaissent sur la figure 8 à gauche sont ensuite regroupés pour évaluer deux notions principales [Sicard 2021b] :

- **<u>La flexibilité vocale</u>**: elle regroupe six indicateurs en lien avec le positionnement du FUM, l'étendue vocale, l'intonation, l'Aire Dynamique Vocale, l'instabilité en hauteur, et l'instabilité en intensité. Elle comporte trois niveaux : flexibilité vocale normale, altérée ou pathologique.
- **<u>Le Rendement vocal</u>** : ce paramètre regroupe six indicateurs en lien avec l'altération de l'attaque, la pauvreté harmonique, le rapport bruit/signal, la durée du /a:/, le rapport S/Z et le rapport A/Z. Il comporte trois niveaux : rendement vocal normal, altéré ou pathologique.

Vers l'ERU 46

L'évolution de l'analyse de la voix à l'analyse de la parole initiée lors des mémoires de [Lefol 2018] et [Papazian 2019] s'est poursuivie avec la segmentation de la parole, l'analyse du spectre moyen, l'étude des formants, mais aussi plus globalement de l'intelligibilité et la fluence. Cette ambition nouvelle a fait ressentir le besoin de développer un atelier logiciel orienté parole, qui se démarque de la voix sur de nombreux aspects. Nous avons donc intégré dans la plateforme DIADOLAB les prototypes d'outils d'analyse par segmentation spectrale de la parole pathologique, en vue de développer un outil de bilan [Menin-Sicard 2020] basé sur l'étude d'une phrase courte [Sicard 2020] et d'une épreuve de diadococinésie [Sicard 2020b].

Cette démarche de recherche orientée parole, bien qu'ayant en commun avec l'analyse de la voix des outils d'analyse communs (spectrogramme, profil de puissance), se démarque cependant nettement des études menées dans l'ERU 15, ce qui nous a amené à créer en 2019 une nouvelle équipe de recherches ERU 46 sur la parole pathologique [ERU 46].

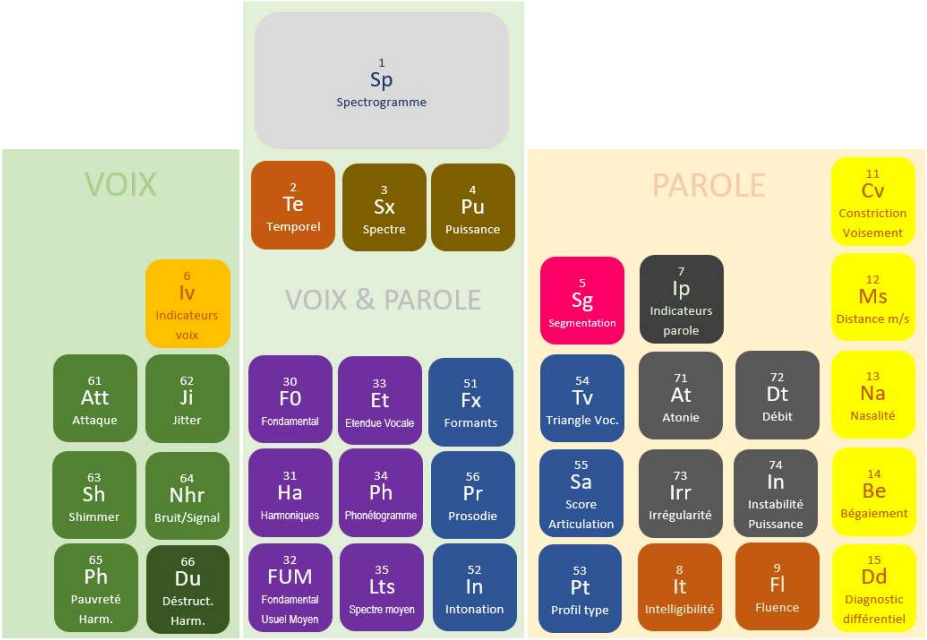

Figure 9 : Outils supports des études sur la voix pathologique (ERU 15) et la parole pathologique (ERU 46)

Au total, ce sont plus de 35 outils distincts qui ont été mis au point dans le cadre des études de l'ERU 15 et de l'ERU 46 et mis à disposition des orthophonistes cliniciens (Figure 9). Ces outils regroupent les indicateurs d'altération du /a:/, de la sirène, de la parole, des phonèmes, des épreuves basées sur deux protocoles complémentaires, courts et non redondants.

L'intégration de ces outils dans les plateformes VOCALAB et DIADOLAB s'est accompagné de rédaction de nombreux articles, de participation à ouvrages et publications en accès libre, ainsi que des formations individuelles à distance [AMS] pour faciliter leur mise en pratique par les orthophonistes cliniciennes dans le cadre de la prise en charge des pathologies de la voix et de la parole.

Conclusion

Nous avons retracé dans cet article plus de 15 années de recherches sur les outils objectifs d'analyse de la qualité de la voix, au travers de trois phases distinctes, la première dédiée à la validation par rapport à des normes et des outils d'analyse du signal, la deuxième dédiée aux indicateurs d'altération de la voix et la construction d'une base de données de voix altérée et pathologique, enfin une dernière phase traitant de cas spécifiques tels que la voix de l'enfant et donnant de nombreux exemples d'études de cas avant/après prise en charge permettant de mesurer l'évolution des indices acoustiques et mettre en évidence l'efficacité des axes thérapeutiques.

Remerciements

Nous tenons à remercier les orthophonistes contributrices à l'ERU 15 « voix pathologique » 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 voix et ses pathologies. Nous remercions l'ensemble des contributeurs à la base de données de voix, notamment Stéphanie PERRIERE, Jean Claude FARENC, Michaela PERNON & Aurélie RAVERA-LASSALLE. Enfin nous remercions les étudiants

qui nous ont accompagné dans les différentes phases de recherche, Marie DAUMET, Océane BARBERA, Camille FRENAY, Gaïa LEFOL et Antoine PAPAZIAN.

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.

Références

[AMS] https://www.formationsvoixparole.fr/e-formation-opop/bases/

[Baken 2000] Baken, R. J., & Orlikoff, R. F. (2000). Clinical measurement of speech and voice. Cengage Learning.

[Ballard 2010] Ballard, K. J., Robin, D. A., McCabe, P., & McDonald, J. (2010). A treatment for dysprosody in childhood apraxia of speech. Journal of Speech, Language, and Hearing Research.

[Barbera & Frenay 2016] Barbera O., Frenay, C. (2016). Acquisition d'une population adulte tout-venant pour la caractérisation de l'évolution de la voix au cours du vieillissement par le logiciel VOCALAB. Questionnement des limites entre pathologie et normalité. Mémoire d'orthophonie. Université de Lyon.

[Boersma 2018] Boersma P. & Weenink D. (2018): Praat: doing phonetics by computer [Computer program]. Version 6.0.37, retrieved 14 March 2018 from http://www.praat.org/

[Bogaards 2004] Bogaards, N., Röbel, A., & Rodet, X. (2004, November). Sound analysis and processing with AudioSculpt 2. In International Computer Music Conference (ICMC) (pp. 1-1).

[Daumet 2015] Daumet, M. (2015), "Etude du logiciel VOCALAB: élaboration de des profils types en fonction des pathologies vocales, sur la base de critères objectifs", Mémoire d'orthophonie de l'Université de Nice

[ERU 15] https://www.unadreo.org > Les ERU > ERU 15

[Fougeron 2016] Fougeron, C., et al. (2016). Chapitre 14. MonPaGe: un protocole informatisé d'évaluation de la parole pathologique en langue française. Joyeux N. & Topouzkhanian S. Orthophonie et technologies innovantes, 2016, ISBN 978-2-36235-093-1, Ortho-Editions, https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02437340/

[Gerip 2020] VOCALAB v4.1 https://boutiquesante.gerip.com > Logiciels santé

[Glossa] https://www.glossa.fr

[HAL] https://hal.archives-ouvertes.fr

[Kent 2000] Kent, R. D., & Ball, M. J. (Eds.). (2000). Voice quality measurement. Singular.

[McLoughlin 2009] McLoughlin, I. (2009). Applied speech and audio processing: with Matlab examples. Cambridge University Press.

[Menin-Sicard 2004] Menin-Sicard, A., & Sicard, É. (2004). Evaluation et rééducation de la voix et la parole", Glossa, no 88, 2004, pp 62-76. https://www.glossa.fr/index.php/glossa/article/view/86

[Menin-Sicard 2006] Menin-Sicard, A., & Sicard, É. (2006). Vocalab: aide à l'évaluation et à la rééducation de la voix et de la parole: de la théorie à la pratique. Ortho éditions. Epuisé.

[Menin-Sicard 2007] Menin-Sicard, A, Sicard, E, Farenc, J.C. (2007). Validation du logiciel Vocalab dans le cadre de l'évaluation vocale, Glossa, Décembre 2007, Volume 102, pp 6-21 https://www.glossa.fr/index.php/glossa/article/view/16

[Menin-Sicard 2016] Menin-Sicard, A., & Sicard, E. (2016). Evaluation et réhabilitation de la voix: Approche clinique et objective. De Boeck Supérieur.

[Menin-Sicard 2016b] Menin-Sicard, A. (2016). "Cas cliniques comparés AS042-AS048 - Comment deux cas similaires peuvent aboutir à des résultats différents", Les Journées Cliniques d'Orphéo, Nîmes

[Menin-Sicard 2020] Menin-Sicard, A., Sicard, E. (2020). Outils de mesures et d'évaluation objective de la phonologie, de la fluence et de la prosodie avec DIADOLAB3, Rééducation Orthophonique, N° 281, Le bilan Orthophonique. pp 161-168.

[Menin-Sicard 2021] Menin-Sicard, A., & Sicard, E. (2021). Etude de cas de voix dans le cadre de la prise en charge orthophonique. Lurco/UNADREO, INSA Toulouse. Archives Ouvertes HAL.

[Meyrieux & Moreau 2018] Meyrieux, L. & Moreau, M. (2018) Caractérisation acoustique des productions vocales d'enfants de 5 ans à l'aide du logiciel Vocalab, Mémoire de Master en logopédie. Université Catholique de Louvain, Belgique. 2018. Promoteur : Remacle, A.

[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.

[Perriere 2013] Perrière, S., (2013). La voix en images : comment l'évaluation objectivée par logiciel permet d'optimiser la prise en charge vocale. *Dossier spécial sur l'évaluation vocale, Rééducation Orthophonique, 254*, 103-119. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00872413

[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.

[Sicard 2017] Sicard, E., Mauclair, J., & Woisard, V. (2017, June). Etude de paramètres acoustiques des voix de patients traités pour un cancer ORL dans le cadre du projet C2SI. In 7èmes Journées de Phonétique Clinique. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01510418/

[Sicard 2013] Sicard, E., Menin-Sicard, A. , (2013) "Etude Bibliographique sur les Indicateurs de Pathologie de la Voix", https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00836900

[Sicard 2013b] Sicard, E., Menin-Sicard, A., Perriere, S., (2013, Décembre). Développement de nouveaux outils de mesures de la qualité de la voix en vue d'une implémentation dans le logiciel VOCALAB. Papier présenté aux XIIIèmes Rencontres d'orthophonie, Paris. https ://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00977731

[Sicard 2014] Sicard, E., Menin-Sicard, A. , Perriere, S. , (2014) « Construction d'une base de données de voix pathologiques pour la recherche orthophonique - Recherche en orthophonie et identité professionnelle », Rééducation Orthophonique N° 257, pp. 177-202, Mars 2014, Archives ouvertes du CNRS https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00968599

[Sicard 2019] Sicard, E., Meyrieux, L., Moreau, M., & Remacle, A. (2019). L'analyse acoustique des voix d'enfants de 5 ans: Proposition de valeurs de référence pour les logiciels PRAAT et VOCALAB.

[Sicard 2020] Sicard, E., & Menin-Sicard, A. (2020). Analyse d'une phrase type dans le cadre du bilan orthophonique de la parole. Rapport de recherches en archives ouvertes. INSA Toulouse, LURCO/UNADREO. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02568392

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

[Sicard 2021] Sicard, E. (2021) Analyse objective de la parole dysarthrique : évaluation d'une sélection d'indices acoustiques. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03139503

[Sicard 2021b] Menin-Sicard, A., Sicard, E. (2021) Etude de cas de voix dans le cadre de la prise en charge orthophonique. Archives ouvertes HAL.

[Stemple 2018] Stemple, J. C., Roy, N., & Klaben, B. K. (2018). Clinical voice pathology: Theory and management. Plural Publishing.

[Verdolini 2006] Verdolini, K. (2006). « Classification Manual For Voice Disorders – Volume 1, Psychology Press, 2006