

Evaluation de la voix avant/après suivi orthophonique – à propos de la méthodologie d'évaluation et de la fiabilité des mesures chiffrées

Evaluation of voice before / after speech-language therapy - about the evaluation methodology and the reliability of the measurements

Etienne SICARD

Professeur

Directeur de Recherches au LURCO, Chercheur associé à l'IRIT

INSA, Université de Toulouse

Correspondance :

Etienne SICARD, INSA/GEI, 135 Av de Ranguel, 31077 Toulouse

Etienne.sicard@insa-toulouse.fr

Anne MENIN-SICARD

Orthophoniste

Chercheur associé au LURCO

Formatrice Voix et Parole

Correspondance :

Anne MENIN-SICARD, Jalabert, 81390 Puybegon

anne.sicard2@orange.fr

Marie DAUMET

Orthophoniste

Correspondance :

6 RUE FERDINAND FERLIN, 38160 Saint-Marcellin

marie-daumet@hotmail.fr

Stéphanie PERRIERE

Orthophoniste

Correspondance :

25 r Guiglia, 06000 NICE

stephanie.perriere@gmail.com

Océane BARBERA

Orthophoniste

Correspondance :

28 place Bellecour, 69002 LYON

oceanebarbera@gmail.com

UNADREO

BP 70145 – 72303 Sablé sur Sarthe cedex – Tél : 02 43 92 04 06

unadreo@wanadoo.fr

www.unadreo.org

Résumé :

Dans cet article, nous tentons de porter un avis critique sur les méthodologies d'évaluation objective de la voix avant/après suivi orthophonique et discutons de l'efficacité des mesures ainsi que des bénéfices et limites observés. Nous rappelons notre démarche qui a consisté en une analyse critique des méthodes, publications et outils existants, la mise en place d'une équipe de recherche au sein du laboratoire LURCO, la construction d'une base de données de voix pathologiques, d'outils statistiques associés, et l'encadrement de mémoires d'orthophonie en lien avec les groupes de cas. Nous soulignons l'importance de la corrélation entre mesures objectives et auto-évaluation du patient. Nous abordons ensuite les écueils rencontrés lors des différentes phases de recherche et analysons nos approches d'extraction des valeurs de référence. Nous vérifions leur pertinence clinique et étudions les dérives selon les pathologies ou l'âge des patients. Bien que notre démarche repose sur une méthodologie rigoureuse et peut représenter un apport significatif à la rééducation de la voix, l'auto-évaluation du patient et l'avis critique de l'orthophoniste demeurent prioritaires.

Mots-clé : Voix, mesures objectives, indicateurs d'altération, pratiques probantes, autoévaluation

Abstract : In this paper, we attempt to critically evaluate the methodologies of objective assessment of voice before and after speech therapy. We discuss the effectiveness of the measures as well as their benefits and limitations. We review the methods, publications and available tools for voice evaluation, and justify the research action developed within the LURCO laboratory. We focus on the construction of a database of pathological voices, development of statistical tools, and the extraction of trends for specific pathologies, in the context of end-of-study speech therapy research. We emphasize the importance of the correlation between the objective measurement and the self evaluation of the patient. We then address issues at different phases of research and analysis, and our approaches to extracting the reference values. We verify their clinical relevance and study the drifts according to the pathologies and the age of the patients. Although our approach is based on a rigorous methodology and may contribute to efficient voice rehabilitation, patient self-assessment and speech therapist's critical opinion remain a priority.

Keywords : Voice, objective measures, indicators of alteration, evidence-based practice, self-assessment

Table des matières

Résumé :	2
I - Introduction	3
II – Evaluation de la voix – quelle fiabilité	7
III – Avant/après prise en charge	14
Conclusion.....	19

I – Introduction

La question de l'efficacité des thérapies se décline dans de très nombreux champs rentrant dans le cadre de la rééducation orthophonique, et en particulier dans la prise en charge des troubles et pathologies de la voix. Signe de la maturité de ce domaine précis, des ouvrages traitant des bonnes pratiques orthophoniques existent depuis de nombreuses années, certains avec plusieurs rééditions parmi lesquels on peut citer *La voix : thérapeutique des troubles vocaux* de Le Huche [1], *Les approches thérapeutiques en orthophonie* de Rousseau [2], *Les Dysarthries* de Auzou [3], *Soigner sa voix* de Sarfati [4], ainsi que des ouvrages collectifs parus récemment tels que *La voix dans tous ses maux* de Gatignol [5], *De la voix parlée au chant* de Klein-Dallant [6], ou encore la compilation de cas de rééducation de voix de *Voice Therapy : Clinical Case Studies* [7] de Stemple.

La question de savoir si les approches décrites dans ces ouvrages sont toutes fondées sur des données scientifiques probantes est plus difficile à cerner qu'il n'y paraît. Pour pouvoir y répondre, il faut pouvoir remonter aux sources de ces méthodes, aux données utilisées, aux publications scientifiques des résultats obtenus, si celles-ci existent. En supposant que les résultats scientifiques soient valides, il faut encore pouvoir adapter ces approches à la pratique orthophonique et aux réalités du terrain, notamment en cabinet libéral avec des ressources et un temps limités.

Dans cet article, nous nous questionnons sur la qualité des sources scientifiques, avec un tour d'horizon de différents outils de référencement et d'accès aux connaissances, en pointant les faiblesses méthodologiques (Chapitre 2), puis en approfondissant le problème de la fiabilité de l'évaluation de la voix. La liste de ces paramètres clé est détaillée au Chapitre 3. Enfin, nous discutons au chapitre 4 de la fiabilité des évaluations avant/après prise en charge orthophonique et des apports du feed-back visuel pour la réhabilitation des troubles de la voix et de la parole.

II - Les sources scientifiques

L'accès à la connaissance

Remonter aux sources des publications a longtemps été difficile, car l'analyse des références bibliographiques posait souvent le problème de l'accès aux sources : publications anciennes, références internes non accessibles, données d'origine non accessibles, ou simplement la barrière de la langue. La création de sites de référencement de documents scientifiques tels que *Google Scholar* [8], *ResearchGate* [9], d'archives ouvertes telles que *HAL* [10] ont révolutionné l'accès à la connaissance scientifique. De plus, l'accès banalisé aux grandes bases de données scientifiques et médicales telles que *ScienceDirect* [11], *Elsevier* [12], l'apparition de journaux scientifiques à accès libre ont grandement facilité l'accès aux publications. Au niveau de l'orthophonie, on peut citer le portail *Mémophonie* de l'Université de Lorraine [13] qui a pour vocation à mettre en ligne les mémoires de l'ensemble des écoles d'orthophonie françaises. Début 2017, le site référençait 40 mémoires d'orthophonie en lien avec la voix et ses pathologies.

L'accès aux données et leur exploitation a lui aussi bénéficié de la révolution numérique : il est possible en quelques clics de copier/coller des données publiées dans un article numérique, et

si l'on ne dispose que d'une image ou un document papier, il suffit de quelques secondes pour scanner un document, le convertir en tableau de valeurs ou en texte afin de l'exploiter.

L'accès aux très nombreuses publications scientifiques pose inévitablement un problème de tri. Le site Australien *SpeechBITE* [14], piloté par l'Université de Sydney, propose d'aider les orthophonistes à identifier les publications décrivant des méthodes et données probantes autour de la rééducation de la voix. Seuls figurent des articles de revues scientifiques réputées sérieuses, dont la qualité méthodologique est jugée suffisante, selon une échelle appelée PEDro-P, qui évalue notamment l'approche, la taille des corpus, les biais, etc. Malheureusement les articles sont en très large majorité en Anglais.

Les sources originales

La vérification des sources originales, tout comme le métier de journaliste, fait aussi partie intégrante de la rigueur scientifique. Bien que chronophage et pouvant générer beaucoup de confusion devant la multiplicité des zones d'ombre, elle a l'avantage de permettre de se faire sa propre opinion des citations, de mieux situer le cadre des études, et de découvrir les limitations potentielles des études d'origine, non mentionnées dans les citations ultérieures. Par exemple, l'ouvrage collectif *La voix – Ses troubles chez les enseignants* [15], basé sur la synthèse de plus de 300 publications scientifiques comprend un paragraphe sur l'évaluation des techniques thérapeutiques. Il mentionne la preuve de l'efficacité thérapeutique de la rééducation orthophonique en citant plusieurs références telles que [16]. Cet auteur indique bien que la rééducation améliore la qualité vocale, mais souligne aussi que « *la détresse psychologique et la dégradation de l'état général de santé, fréquents chez les patients dysphoniques, ne s'améliorent pas significativement avec la thérapie vocale* », observation qui tempère l'optimisme de la citation initiale.

Le crédit que l'on peut accorder à une publication sur la validation scientifique d'une méthode s'élève significativement s'il n'existe pas de lien entre l'auteur de la méthode et celui de la publication, ce qui peut être considéré comme une validation par un tiers ce qui est l'un des socles de l'évaluation de la recherche scientifique. Plus les évaluateurs sont extérieurs à la propre sphère de l'auteur, plus le crédit apporté à leur évaluation est élevé. Ces garde-fous ont toutefois un impact limité pour des domaines de spécialités, dont la voix pathologique fait d'ailleurs partie, où le nombre d'évaluateurs est restreint.

Il peut aussi exister des liens d'intérêt tel que des droits d'exploitation des outils, qui peuvent entraver la véritable rigueur d'analyse scientifique. Depuis quelques années, les organismes de formation tels que DPC ou FIF-PL réclament de la part des formateurs une déclaration d'intérêt, afin de mieux identifier les liens et participations de différentes natures.

Sur la pertinence des publications

Le fait qu'une ou plusieurs publications scientifiques existent suffit-il à garantir l'efficacité de la méthode en pratique orthophonique ? On peut l'espérer, mais la prudence et le discernement sont de mise. Les relecteurs de revues scientifiques ont pour rôle de donner un avis sur la qualité et la recevabilité des articles soumis. Ils relèvent certes des erreurs, des failles, un manque de rigueur ou des biais, mais leur avis se fonde uniquement sur l'analyse du contenu, sans disposer des données d'origine et outils utilisés. La qualité de ce reviewing est en outre fort inégale selon les revues scientifiques, en particulier les revues électroniques gratuites, qui attirent de plus en plus d'auteurs du fait de la rapidité et la simplicité de la publication et de sa diffusion, mais remettent profondément en question le modèle économique de la publication scientifique par les grands éditeurs.

UNADREO

BP 70145 – 72303 Sablé sur Sarthe cedex – Tél : 02 43 92 04 06

unadreo@wanadoo.fr

www.unadreo.org

Speyer a publié en 2008 [17] une analyse des publications scientifiques traitant des effets bénéfiques de la thérapie vocale. Il juge que beaucoup des études publiées souffrent de problèmes méthodologiques, que leur valeur est modeste, et que leurs conclusions ne peuvent pas être généralisées facilement ou comparées les unes aux autres. Plus largement, le site *Cochrane* [18], qui tente de rassembler et traduire les meilleures données probantes issues de la recherche médicale internationale, a publié des synthèses [19] sur la prévention des troubles de la voix chez l'adulte et sur la prise en charge de la voix de patients atteints de la Maladie de Parkinson [20]. Les auteurs sont globalement très critiques sur les faiblesses méthodologiques et la qualité moyenne des publications scientifiques, avec les recommandations suivantes :

- Les analyses devraient porter sur un nombre suffisant de patients pour éviter les conclusions faussement négatives ou faussement positives.
- Les critères d'inclusion et d'exclusion devraient être plus clairs
- Les cohortes devraient être plus uniformes
- Dans le cas des maladies dégénératives, le stade devrait être mieux précisé
- Les études devraient inclure une description claire des axes thérapeutiques des orthophonistes, les effets attendus et observés, au fil de la rééducation.
- Les patients doivent être suivis pendant au moins six mois après le traitement pour évaluer la durabilité des effets de la prise en charge orthophonique.
- Des mesures compréhensibles pour le patient devraient être sélectionnées pour objectiver l'efficacité de la prise en charge.

Un sondage réalisé auprès de 58 orthophonistes Australiens rééduquant des adultes atteints de troubles fonctionnels de la voix [21] a toutefois souligné le fait que les orthophonistes s'appuyaient majoritairement sur leur propre expérience pour choisir telle ou telle méthode, sans lien direct avec des données probantes. Les obstacles à l'utilisation de pratiques probantes étaient le manque de temps, la nécessité de formations spécialisées et le manque d'applicabilité à leur propre pratique clinique.

L'orthophoniste publie peu, mais innove

A l'opposé, le fait que l'on ne puisse identifier aucune publication scientifique en lien avec une méthodologie signifie-t-il que la méthode est suspecte ? A l'échelle d'une publication internationale, on pourrait penser que non : les orthophonistes sont en grande majorité en exercice libéral, avec très peu d'exposition à la langue Anglaise et à l'art de la publication scientifique, que ce soit en formation initiale ou dans leur pratique. Publier au niveau le plus élevé (*Journal of Voice, Journal of Speech & Hearing Research, Journal of the Acoustic Society of America, Folia Phonetica*) est une véritable performance, accessible à peu de chercheurs français, et virtuellement inatteignable à un praticien sans un support méthodologique d'un laboratoire de recherches de niveau international.

De plus, un(e) orthophoniste qui développe une idée ou met en pratique une intuition au plus proche contact des patients développe par la logique de l'usage et de façon expérimentale une méthodologie, du matériel voire des outils qui peuvent avoir du sens, et peuvent se révéler très pertinent et utile à la profession. C'est souvent le bouche à oreille, le test positif en grand nombre, qui donne à l'idée originale une véritable renommée, sans qu'une véritable démarche scientifique n'ait été mise en place (Figure 1 à gauche). Le suivi de mémoires d'orthophonie, le rattachement à une structure de recherche viennent optionnellement, et en général assez tardivement en support de cette *innovation frugale* des orthophonistes de terrain. Cette démarche, bien que rare, donne pourtant les moyens nécessaires à une validation de l'efficacité thérapeutique.

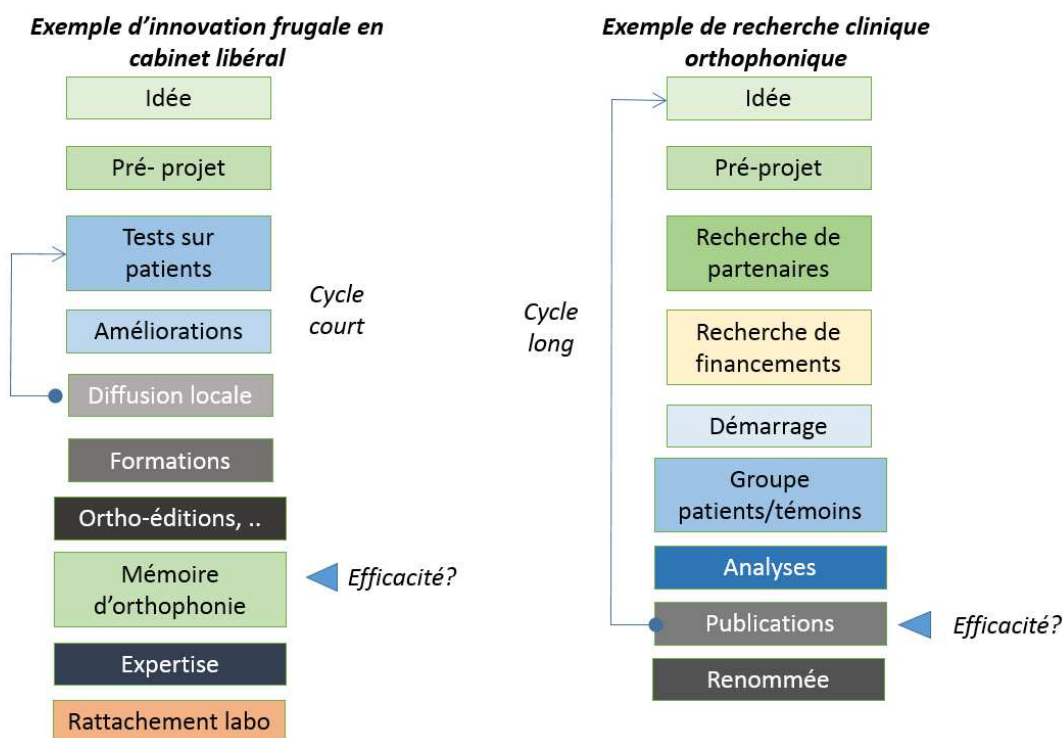


Figure 1 : Démarche de recherche clinique et de recherche libérale

La recherche clinique institutionnelle, se base plutôt sur un pré-projet, qui fédère des partenaires publics ou privés autour d'une recherche de financements (ANR, Communauté Européenne, Fondations, Structures fédératrices..), en vue d'évaluer par exemple l'efficacité d'une approche par comparaison entre groupe patient et témoins, sur la base d'analyses, donnant lieu à des publications (Figure 1 à droite).

Autant l'écriture d'un article est une étape ordinaire de la recherche clinique, elle est rarement partie intégrante de la démarche de l'orthophoniste libérale, sauf si celle-ci a atteint un statut d'experte et se retrouve par exemple mise à contribution pour des conférences thématiques ou des numéros spéciaux de revues.

Ecrire un article présente l'intérêt de mettre en ordre son approche, dérouler le fil du cheminement expérimental, des observations, des doutes, etc. C'est un exercice difficile, mais utile et structurant. Au niveau Français, il existe des revues scientifiques telles que *Rééducation Orthophonique*, créée en 1962, ou *Glossa*, cahiers de l'UNADREO créé en 1986, qui ont l'immense avantage de lever la barrière de l'anglais, et de promouvoir avant tout la recherche orthophonique francophone.

En résumé, les publications scientifiques représentent un certain label de qualité des méthodes proposées, sans apporter le plus souvent de véritables preuves de leur pertinence et applicabilité en pratique orthophonique.

Les données ouvertes

Une mouvance émergente concerne les données scientifiques ouvertes [22] ou *Open Science Data*, un niveau supplémentaire par rapport aux archives scientifiques ouvertes telles que HAL [10]. Il s'agit cette fois de rendre les données publiques, afin de permettre à des personnes extérieures de les réutiliser. Au niveau de la voix pathologiques, trois projets de ce type peuvent être cités : la base de données de voix de *Saarbruecken* [23], et celle de l'ERU 15 du LURCO [24], et *MonPage* [25]. Le nombre de cas disponibles d'une même pathologie n'est pas toujours

suffisamment élevé, selon les critiques citées plus haut, mais ces données ouvertes permettent toutefois de dégager des tendances. On peut supposer que dans le futur, la base de données de voix orientée recherches *AudioSet* de Google [26] inclura des voix altérées ou pathologiques, ce qui n'est pas encore le cas aujourd'hui.

Les données sont une chose, les outils en sont une autre. Les données scientifiques en lien avec la voix pathologique nécessitent l'utilisation de logiciels, ce qui pose alors le problème de la reproductibilité des résultats de recherche. A l'extrême, il faudrait que le code source des logiciels utilisés soit public, ainsi que tous les paramétrages utilisés pour traiter les données le soient ainsi. Malheureusement, ni les outils gratuits tels que *PRAAT* [27] ou payant comme *VOCALAB* [28] ne rentrent dans ce schéma : le code n'est pas diffusé, les subtilités des algorithmes et leur paramétrage sont peu accessibles aux orthophonistes non spécialisés dans le traitement du signal.

Au final, il est possible d'obtenir des résultats très différents selon le logiciel et la configuration utilisée. Ajoutons à cela que les voix altérées et pathologiques représentent un véritable défi pour les outils d'évaluation et l'on se retrouve dans des conditions rarement satisfaisantes en terme de reproductibilité scientifique.

Une tentative intéressante a été la construction d'un logiciel à code ouvert (Open Source) appelé *OpenSmile* [29] qui regroupe une grande quantité d'indicateurs, de formulations, et de traitements statistiques adaptés notamment à la voix. Le problème là encore est de consentir l'effort de bien comprendre les apports et limites de ces boîtes à outils, puis d'adapter les plus pertinents à la pratique orthophonique.

On peut espérer que les chercheurs en voix pathologique auront la volonté et le temps de comparer les outils, d'analyser l'impact du paramétrage afin de mettre en avant les avantages et limites de chaque approche. Ces études devraient permettre d'étayer les choix d'outils et de métriques les plus pertinents au niveau clinique, normaliser les résultats pour faciliter leur exploitation, et diffuser des guides méthodologiques clairs et efficaces dans le cadre de la rééducation orthophonique.

III – Evaluation de la voix – quelle fiabilité ?

L'analyse acoustique est devenue au fil du temps un outil objectif incontournable, fiable et non invasif pour la mesure de l'altération de la voix. L'instrumentation nécessaire à cette analyse est aussi devenue plus accessible et plus conviviale, se limitant en libéral dans la plupart des cas à un ordinateur, un logiciel et un microphone. L'utilisation en pratique professionnelle à large échelle d'un outil pour l'évaluation et la rééducation de nombreux patients pose la question de sa validation préalable, de la pertinence des choix et de la contribution effective de la méthodologie proposée à la qualité des soins.

A – Motivation

L'idée d'effectuer des mesures objectives de la voix avant et après prise en charge orthophonique à l'aide de logiciels dédiés s'est imposée au fil des ans, en particulier grâce aux travaux de Delisky autour de MDVP [31], de l'équipe du Dr. Giovanni et A. Ghio [32] autour d'EVA2 [33] et de A. et E. Sicard avec VOCALAB [28]. Au niveau international, l'outil gratuit PRAAT [27] s'est fait lui aussi une place importante dans le monde de l'évaluation de la voix pathologique.

Les outils sont une chose, les méthodes d'évaluation et métriques de mesure sont une autre. Il existe un nombre extraordinaire d'indicateurs de qualité de la voix, inventoriés en partie dans un monumental tableau de synthèse de 100 pages et 500 références de l'ouvrage de Kent et Ball *Voice Quality Measurement* [34]. On peut tenter d'expliquer une telle profusion de propositions

par le fait qu'il n'a pas été possible de faire consensus, et que le niveau de corrélation avec l'évaluation perceptive ou l'auto-évaluation du patient est longtemps resté insuffisant. On note que le nombre de patients analysés dans la plupart des études était restreint, que la pathologie et donc l'approche étaient spécifiques, ou que que les résultats se transposaient mal de pays en pays, etc. Maryn [35] a étudié les données de corrélation publiées dans plus de 80 articles scientifiques entre les indicateurs et le degré de pathologie de la voix, ce qui lui a permis de classer les indicateurs dont on pouvait avoir le plus confiance, en différenciant l'analyse de voyelles telles que /a/, et le texte lu. Parmi les indicateurs plutôt pertinents, on retrouve certaines formes de mesure de bruit, d'instabilité, ainsi que des indicateurs plus complexes tels que le *Acoustic Voice Quality Index (AVQI)* [43]. Nos propres recherches et synthèses bibliographiques [36] nous ont amené à un choix de 5 indicateurs [28], et l'élaboration d'une base de données de plus de 1000 échantillons de voix [37] dans le cadre de l'ERU 15 du LURCO, en corrélant l'avis perceptif de l'orthophoniste et les scores obtenus.

B – La chaîne d'acquisition du son : le maillon faible

Rien ne semble plus simple que d'enregistrer et d'analyser sa voix. Les outils cités plus haut sont censés donner un chiffrage précis des paramètres les plus importants de la voix, permettant ainsi une évaluation objective du niveau d'altération et ainsi d'orienter le projet thérapeutique. En pratique, la situation est malheureusement beaucoup plus complexe: il existe une grande variabilité dans la qualité du matériel utilisé, notamment au niveau

- des microphones,
- des cartes son
- de leurs réglages associés

Au niveau protocole, là encore, on observe une grande variabilité méthodologique : le thérapeute ne donne pas toujours la même consigne, ne met pas toujours le patient en situation identique (comme par exemple la distance bouche-micro, le niveau de bruit dans le cabinet, la station assise ou debout), ce qui peut altérer la pertinence des comparaisons (avant/après rééducation par exemple).

Au niveau logiciel aussi, de nombreux réglages existent aussi, de choix d'algorithmes, qui, s'ils ne restent pas strictement identiques d'une séance à l'autre, peuvent altérer la fiabilité des mesures comparatives, et par voie de conséquence l'objectivation des progrès en thérapie. C'est la raison pour laquelle les orthophonistes sont encouragés à se former afin d'acquérir les bases techniques et pratiques à l'utilisation efficace des outils de mesure, quels qu'ils soient.

C – Le spectrogramme : le point fort

Une fois passé l'écueil de la chaîne d'acquisition, le spectrogramme, qui donne une visualisation des composantes spectrales dans le temps, peut être considéré comme l'un des points forts de l'analyse vocale. Très informatif, impartial, d'une précision bien supérieure à l'oreille humaine, le spectrogramme est cependant un peu déroutant à décrypter, de par sa représentation temps/fréquence. L'apprentissage de la lecture des différentes composantes fréquentielles des sons se fait en général étape par étape, du son pur au bruit en passant par les voyelles, consonnes, syllabes et mots. Le spectrogramme est un outil très utile en bilan, robuste et peu sensible aux options de calcul. Il se révèle aussi très utile, voire indispensable en rééducation, en mode temps réel, servant de véritable miroir du contrôle de l'intensité, du souffle, de la résonance, qui sont au cœur de multiples approches thérapeutiques. Sur la figure 2, on note une dégradation progressive puis reprise de l'intensité, assez caractéristique de la Maladie de Parkinson.

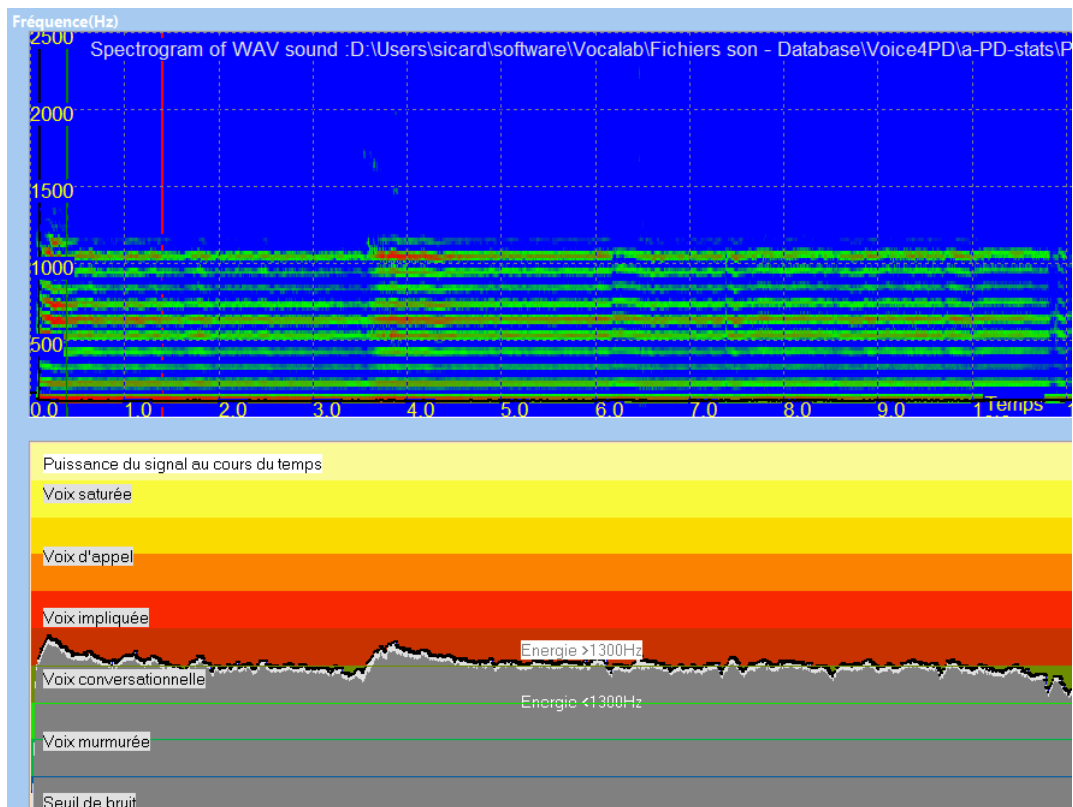


Figure 2 : Le spectrogramme de la voix, outil d'évaluation et de rééducation très précieux pour l'orthophoniste et le patient (/a/ tenu, patient atteint de Maladie de Parkinson).

D – Sur la fiabilité des mesures

Le tableau ci-dessous donne une liste de paramètres de la voix communément évalués dans les bilans de la phonation [2,5,7,25,26], avec à chaque fois un avis sur leur fiabilité.

Paramètre	Mesures	Fiabilité
/a/ tenu	Instabilité en hauteur, instabilité en amplitude, bruit/signal, attaque, contenu harmonique, éraillures, interruptions	Bonne pour les voix normales et altérées, Faible pour certaines voix pathologiques et très altérées : erreurs de détection de F0. Critiques sur la pertinence de certains indicateurs [35][38]. Variabilité des mesures en fonction des réglages et des outils. Analyse du spectrogramme nécessitant une certaine expérience pour dissocier les différents phénomènes.
Temps Phonatoire	Durée du /a/, du /s/, du /z/, rapports /s/z/, /a/z/	Bonne, mais protocoles variés (reprises inspiratoires, nombre d'essais, chronométrage) altérant la comparaison des résultats [32]
Aire dynamique fonctionnelle	Phonétoqramme (puissance-fréquence)	Moyenne pour les voix pathologiques : erreurs possibles de détection de F0.

		Très sensible au paramétrage de la chaîne d'acquisition de l'échantillon de voix
Fondamental Usuel Moyen	FUM (Hz), plage de variation, homogénéité de la distribution.	Bonne pour les voix normales et altérées Faible pour certaines voix pathologiques : erreurs de détection de F0. Analyse de l'histogramme de F0 nécessitant une certaine expérience.
Etendue Vocale	Sirènes pour extraire l'étendue maximale en fréquence	Bonne, mais dépendante du protocole proposé (l'orthophoniste donne un modèle ou non, répétitions, inspirations entre les sirènes, sirènes ascendante ou descendante séparées ou enchaînées). Analyse de l'histogramme nécessitant une certaine expérience pour identifier les passages de mécanisme et les valeurs extrêmes

Tableau 1 : Paramètres communs de mesure de la voix pathologique et évaluation de leur fiabilité

E - Variabilité du /a/

L'analyse acoustique du /a/ est très courante dans les bilans orthophoniques de la voix. On peut se poser la question de la variabilité des informations acoustiques si l'on prend non pas un seul mais plusieurs échantillons de la voix avec la même consigne. On constate souvent que

- le 1^{er} échantillon prononcé par le patient n'est souvent pas satisfaisant. Le patient n'a pas totalement intégré la consigne : le son est trop faible, trop fort, trop chanté, trop court, bruté, en force, a démarré avant celui de l'enregistrement ou encore, la position bouche-micro n'était pas correcte. Le patient peut aussi être stressé par la passation, ou par le fait d'être enregistré, etc.
- Le 2^{ème} essai est souvent le bon.
- Les essais suivants n'apportent en général que peu d'information supplémentaire

Afin de mesurer précisément quel indicateur est le plus variable, et quel paramètre est le plus stable, M. Daumet a procédé à l'enregistrement d'une voix féminine, notée MD001 et d'une voix masculine, notée MD036, une fois par semaine pendant un an. L'enregistrement du même /a/ dans les mêmes conditions matérielles et logicielles, conduit par le même personne permettait de minimiser les biais de mode opératoire. Cette étude [39] a permis de mettre en évidence une relative stabilité des 5 indicateurs fournis par VOCALAB (Fig. 3), qui se traduit visuellement par une couleur homogène, des écarts types réduits (10 à 20% selon les indicateurs), illustrés ici sur 25 échantillons.

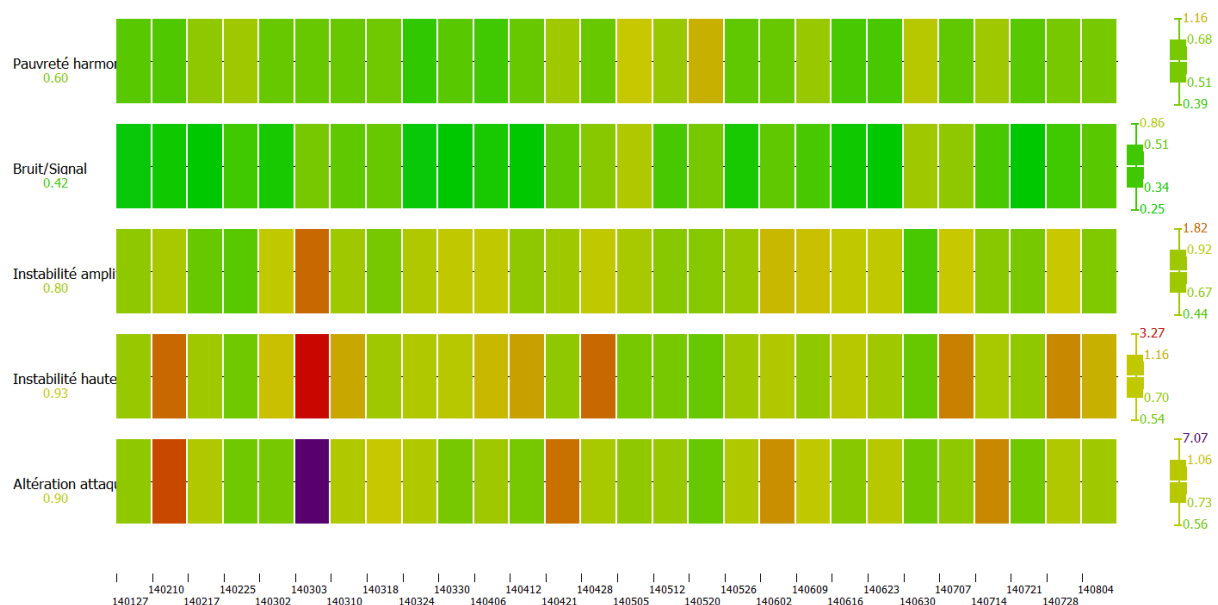


Figure 3 : Variabilité des indicateurs pour une même personne sur plusieurs mois [39]

Dans le cadre de ses travaux, M. Daumet [39] a aussi noté :

- Pour la voix féminine, les indicateurs de pauvreté en harmonique et de bruit/signal se sont avérés les plus stables. L'attaque et l'instabilité en hauteur étaient les plus variables pour la voix féminine.
- Pour la voix masculine, l'indicateur d'instabilité en hauteur était le plus stable. L'indicateur le plus variable était la pauvreté en harmoniques.

Cette variabilité des indicateurs, qui tend à renforcer la prise de recul vis à vis des chiffres, peut s'expliquer par la variation naturelle de la voix chez un même patient, mais aussi des erreurs de détection de F0 pour certains échantillons, en particulier lors d'affections ORL (notamment l'enregistrement 5 noté 140303). L'état affectif du patient, la fatigue, le moment de la journée où a lieu l'enregistrement sont autant de facteurs ayant une influence sur la voix, et donc sur les mesures. Chez la femme, on peut rajouter le bouleversement hormonal à l'origine d'un « syndrome prémenstruel » : fatigue vocale, aigus diminués, voix métallique.

F – Effet de l'âge sur la voix

Dans le cadre de leur mémoire d'orthophonie, O. Barbera et C. Frenay [40] ont enregistré une centaine d'hommes et de femmes de 45 à 98 ans, ne présentant aucun trouble cognitif ou pathologie ORL avérés. Le protocole comprenait un questionnaire sur l'anamnèse, deux grilles d'autoévaluation de la voix (VOCALAB et VHI-10), les enregistrements de /a/ tenus, lecture et parole spontanée. Le F0 extrait du /a/ ainsi que le FUM n'évoluent pas significativement avec l'âge. La tendance qui se dégage de l'analyse des paramètres de la voix en fonction de l'âge est l'augmentation progressive des valeurs des indicateurs, comme illustré Figure 4 pour le rapport bruit/signal. Une tendance similaire est observée sur l'ensemble des 5 indicateurs de VOCALAB, que l'on peut évaluer à environ 0,2 tous les 10 ans. Ainsi, la limite normal/altéré fixée à 1.0 pour les adultes dont l'âge est inférieur à 65 ans, s'approche de 1,5 à 90 ans.

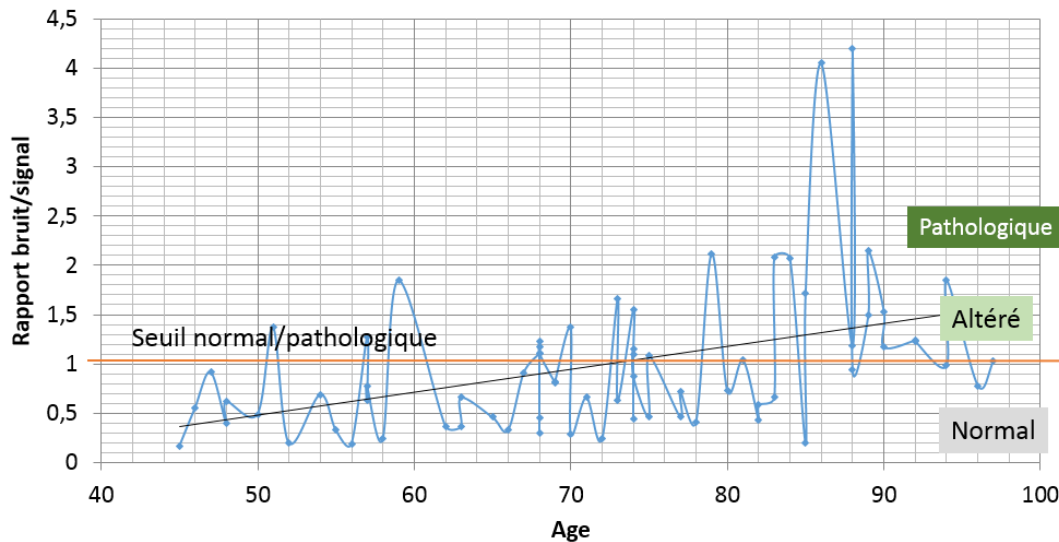


Figure 4 : Evolution du F0 en fonction de l'âge évalué sur un /a/ impliqué, pour une centaine de témoins [40]

Selon Barbera et Frenay [40], le TMP diminue de plus de 30% chez les participants les plus âgés, hommes et femmes confondus, passant de 15 à 10 secondes en moyenne. Ce résultat se rapproche de la compilation d'une vingtaine d'articles scientifiques, la plupart extraites de Baken [41] (figure 5), où chaque point représente une publication. On note une forte dépendance du Temps Phonatoire avec l'âge jusqu'à 20 ans, puis une certaine stabilisation suivie d'une décroissance. Pour un même âge, la différence importante entre les chiffres publiés est l'illustration de la différence de mode opératoire (temps phonatoire avec ou sans recherche du maximum, nombre d'essais, règles de comptage), et des critères d'inclusion des cohortes de patients. On peut néanmoins considérer 20 secondes comme une valeur de référence pour les femmes (20-65 ans), 25 secondes pour les hommes (20-65 ans), et 15 secondes pour les enfants autour de 10 ans.

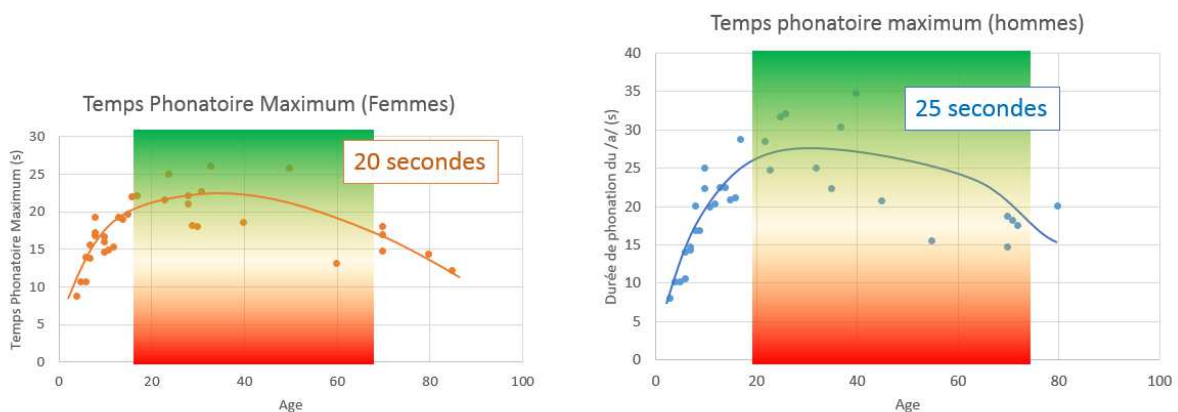


Figure 5: Compilation des méta-données de 20 articles scientifiques publiant des mesures de Temps Phonatoire sur un /a/ [41]

G – Variabilité du FUM

Le fondamental usuel moyen de la voix est une métrique intéressante, permettant de situer la voix par rapport aux repères standards, associé à sa distribution statistique dont on peut extraire la variation par rapport aux déviations typiques (Tableau 2). Plusieurs facteurs peuvent influencer

sur le calcul du FUM et sa distribution : la consigne (texte lu, déclamé, présentation..), mais aussi les conditions d'enregistrement.

Paramètre	Valeurs de référence	Fiabilité
FUM	Homme : 125 Hz Femme : 200 Hz Zone de transition : 170 Hz	Le FUM augmente avec l'intensité et l'implication de la voix (normale, impliquée, déclamée). Dépend de la présence de bruit basse fréquence, d'une distance bouche/micro trop faible, d'un niveau d'enregistrement trop fort ou faible
Variabilité	Monotone : <4 notes Normale : 4 à 8 notes Hyper-prosodique : > 8 notes	La variabilité augmente avec l'intensité de la voix : normale, impliquée, déclamée.

Tableau 2 : Valeurs de référence du FUM et de sa variabilité

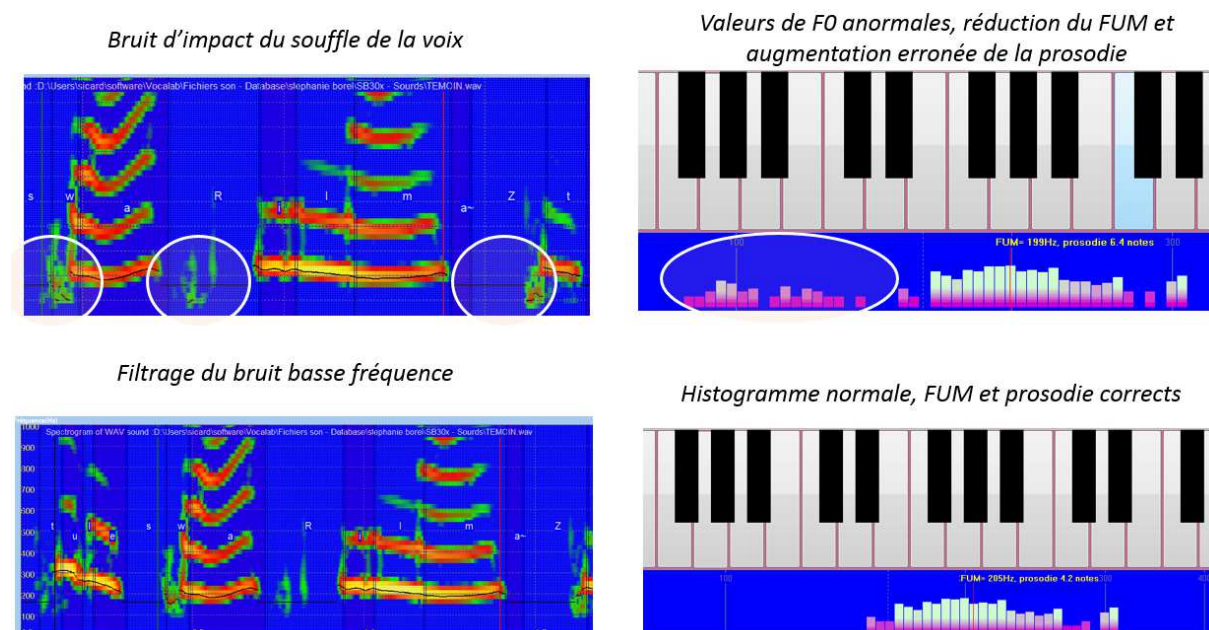


Figure 6 : Une distance bouche/micro trop faible induit des perturbations dans l'histogramme du fondamental, abaisse le FUM et étend la prosodie

Dans l'exemple de la figure 6, la distance bouche microphone est trop faible, de ce fait le bruit d'impact de consonnes explosives se traduit par une énergie basse fréquence, qui est détectée de manière erronée comme du son. La distribution de F0 comprend alors une composante basse fréquence qui réduit la valeur du FUM (200 Hz) et augmente sa plage de variation (6,5 notes). Des systèmes de seuil en fréquence ou en probabilité d'apparition, ou encore le filtrage du bruit basse fréquence permettent de limiter la prise en compte dans le calcul de valeurs suspectes, et retrouver les valeurs de FUM (205 Hz) et variabilité conformes (5 notes).

H – Etudes statistiques

Dans la majorité des cas, les altérations acoustiques mises en avant par les indicateurs et profils vocaux, tels que décrits dans le mémoire de M. Daumet [39] pour quelques pathologies communes telles que les nodules ou paralysies du nerf laryngé, sont cohérentes d'une part avec les troubles attendus tels que décrits dans la littérature, comme dans l'ouvrage de synthèse de Verdolini [42], et d'autre part avec les phénomènes anatomo-physiologiques sous-jacents à chaque pathologie.

Néanmoins, dans certains cas, les résultats ne sont pas en adéquation avec les tendances attendues. Ces incohérences peuvent avoir plusieurs facteurs d'explication :

- un nombre d'échantillons trop restreint,
- les possibilités vocales particulières de certains patients,
- le niveau d'éducation vocale des individus,
- le choix du matériel phonétique (le /a/ tenu est moins représentatif que la voix conversationnelle),
- la défaillance de mesure des indicateurs

Nous pouvons également ajouter à ces facteurs explicatifs la mise en place par le patient de stratégies de compensation spontanées du trouble vocal, qui ne sont pas détectées par l'outil informatique.

Lors de l'exploitation de corpus, divers problèmes peuvent aussi être rencontrés, comme décrits dans l'expérience de construction d'une base de données de voix pathologiques [37]:

- échantillons tronqués, trop faibles (proche du bruit), trop forts (signal saturé)
- parasites nécessitant du filtrage spécifique, ou une procédure d'égalisation
- consigne ou encouragements du thérapeute présents dans l'échantillon
- détection erronée du fondamental, du démarrage de l'attaque (voix trop altérée)
- erreurs dans l'évaluation des indicateurs (voix trop altérée)

Il convient donc d'être vigilant quant à la qualité des corpus analysés et la fiabilité des mesures, dont dépend la représentativité des statistiques. C'est pourquoi, bien que les mesures objectives nous semblent essentielles dans l'évaluation vocale dans le contexte de la prise en charge orthophonique, elles ne doivent être considérées que comme un complément de l'auto-évaluation du patient.

IV – Avant/après prise en charge

A – Objectiver les progrès

La comparaison avant/après permet de légitimer l'intervention orthophonique et de justifier la démarche thérapeutique. De nombreux exemples d'analyse avant/après suivi orthophonique sont décrits en langue Anglaise dans l'ouvrage *Voice Therapy* [7], incluant notamment des mesures comparatives de qualité et de performances, mais aussi des métriques d'évaluation perceptive du thérapeute et d'auto-évaluation du patient. De manière assez similaire [37], quelques orthophonistes francophones ont accepté, avec l'accord du patient, de mettre en ligne l'échantillon du /a/ et de sirène au moment du bilan initial, puis à l'issue de la rééducation, accompagnées de fiches d'étude de cas. Celle-ci inclue des détails d'anamnèse, l'auto-évaluation du patient, une évaluation objective des composantes de la voix lors du bilan, les axes thérapeutiques, puis la même évaluation après rééducation orthophonique, complétée par une discussion sur l'évolution observée. Un exemple de fiche est reporté figure 7.

AS036 – Femme 28 ans

Immobilité laryngée

- Profession : téléconseillère
- Motif de la consultation : immobilité laryngée
- Nomenclature : 7130 Paralysie récurrentielle bilatérale du nerf laryngé

Anamnèse :

- A subi une thyroïdectomie liée à un goitre volumineux multi-hétéro-nodulaire, actuellement sous Levothyrox.
- Paralysie bilatérale, légers mouvements aryténoïdiens, fermeture maximale en position paramédiane
- Métier avec charge vocale importante
- Inquiétude de la patiente quant au devenir de sa voix

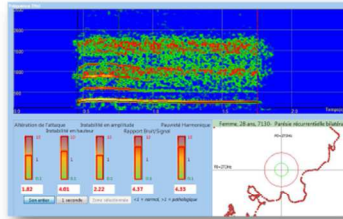
Auto-évaluation de la voix avant rééducation

Le score est très faible cela signifie que la **gène vocale est sévère**.

Confort VLS	Endurance VLS	Performance VLS
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Avez-vous une sensation de confort vocal lorsque vous discutez avec quelqu'un ? 1) Je me sens en permanence 2) Je me sens en permanence	Avez-vous la possibilité de parler longtemps sans éprouver de fatigue ? 1) Je me sens en permanence 2) Je me sens en permanence	Avez-vous la possibilité d'aller votre voix à forte intensité et/ou dans les aigus ? 1) Faisceau de grande 2) Faisceau de grande
Stabilité VLS	Intensité VLS	Autre VLS
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Trouvez-vous votre voix agitée et instable ? 1) Ma voix est déstabilisée en permanence (soufflée, voilée, 2) Ma voix est déstabilisée en permanence (soufflée, voilée,	Trouvez-vous que votre voix est adaptée aux besoins de votre vie professionnelle et personnelle ? 1) Ma voix est adaptée aux besoins de votre vie professionnelle et personnelle ? 2) Ma voix est adaptée aux besoins de votre vie professionnelle et personnelle ?	Autre VLS <input type="text"/>

Voyelle /a/ avant rééducation

L'analyse spectrale montre qu'une sonorisation est possible mais de très courte durée (quelques secondes). La déperdition d'air est importante. Le rendement très faible. Tous les indicateurs de qualité de voix sont dans le rouge. On note un bruit très important de 800 à 1800 Hz, et une grande pauvreté harmonique. La hauteur est aussi instable et le portait de phase très perturbé et éloigné de la cible.



Sirène avant rééducation

Les possibilités vocales en termes de hauteur sont très faibles, cela couvre à peine une octave. L'évaluation est rendue difficile à cause d'un bruit très important dans la zone du fondamental F0 (modification du seuil de détection de F0 remonté à 190 Hz). Le décalage net de la hauteur en fréquence met en évidence des signes évidents de forçage compensatoire (voix des bandes ?). La dynamique vocale est aussi limitée.

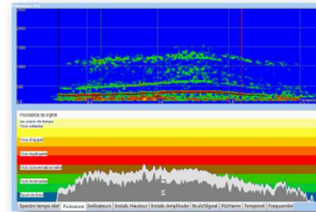
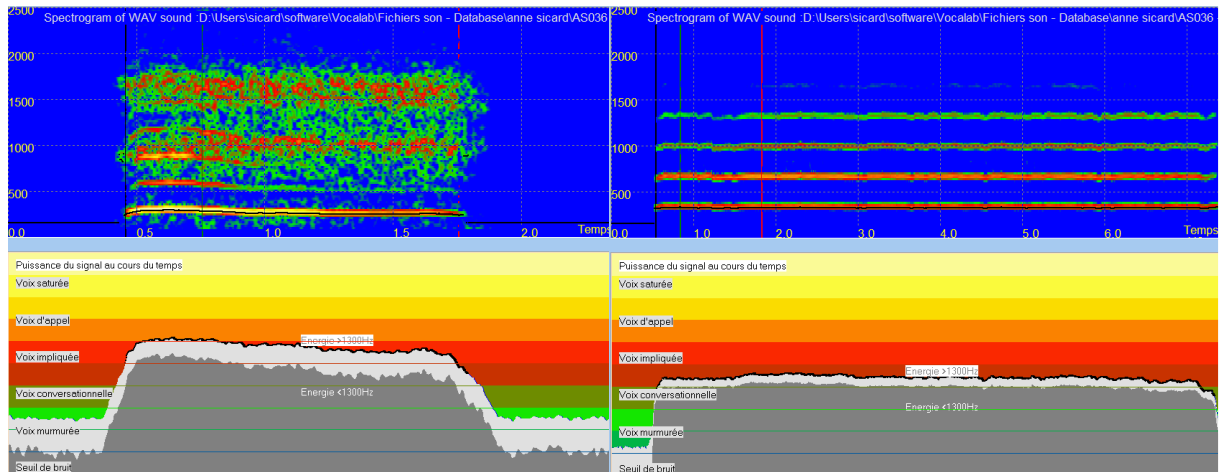


Figure 7 : Exemple de fiche accessible en ligne, cas AS036 de la base de données [37]



(a) Bilan initial

- Instabilité en hauteur, rapport bruit/signal très élevé, grande pauvreté harmonique. Temps de phonation très court.
- La vibration est possible mais sur une très petite surface d'accolement des cordes vocales. La dégradation spectrale est immédiate.
- Les composantes erratiques très présentes donnent un caractère soufflé accentuant une sensation de voix aiguë.
- Rendement /a/s/z/ faible
- Temps phonatoire très réduit
- Autoévaluation : 5/25 : gêne sévère

(b) Après rééducation et prise en charge ostéopathique

- Gain en durée de phonation important, rendement bien meilleur, beaucoup moins de déperdition d'air.
- Le travail du souffle, de la posture et les manipulations ostéopathiques ont permis de gagner en stabilité autant en hauteur qu'en intensité.
- Le spectrogramme du /a/ ne comporte plus de trace de souffle.
- Rendement /a/s/z/ proche de la normale
- Autoévaluation : 16/25 : gêne modérée

Figure 8 : Comparaison avant/après rééducation, cas AS036 de la base de données en ligne [4]

Les éléments factuels repris dans la figure 8 représentent autant d'indices concordants d'une amélioration rapide de la qualité de la voix du patient. Il semble peu probable qu'une telle amélioration ait été possible sans l'aide orthophonique (20 séances) et ostéopathique (3 séances).

B – Les biais

Les principales objections quant à la validité de la comparaison avant/après rééducation concernent le matériel, le mode opératoire et l'état du patient.

Concernant le matériel, le microphone doit être le même, la distance bouche micro identique (calibrée à l'aide d'une règle par exemple), le réglage de la carte son et les paramètres du logiciel inchangés. Ces recommandations sont assez faciles à observer sur un intervalle de temps de quelques semaines. A l'échelle d'une année, les mises à jour logicielles et modifications de matériel peuvent subvenir, ce qui peut fausser la comparaison immédiate des enregistrements. On peut citer l'apparition d'options des environnements Windows de plus en plus sophistiquées en lien avec la capture du son, telles que l'annulation d'écho et de bruit qui s'ajoutent progressivement dans la chaîne d'acquisition du son, sans que l'utilisateur en soit informé. Les enregistrements sont considérablement modifiés par ces traitements de signal numériques, et les comparaisons avec des enregistrements avec ou sans ces options s'en trouvent faussées.

On peut noter aussi dans certains cas des dégradations ponctuelles entraînant des bruits transitoires (faux contacts, pile usée..) ou graduelles du matériel utilisé (défaut de câble, de connecteur, vieillissement des cellules). Celles-ci entraînent l'apparition progressive de bruit dans la chaîne d'enregistrement, ce qui rend là aussi les comparaisons hasardeuses.

Le mode opératoire doit aussi être identique, en particulier la consigne, le protocole, le nombre d'essais, la position du patient, etc. Enfin, l'état physique et émotionnel du patient, ses résistances peuvent influencer les caractéristiques de la voix et donc biaiser les mesures.

A la lecture de cette longue liste de situations particulières, on peut légitimement être amené à douter de la validité de comparaisons avant/après prise en charge orthophonique. Seule une variation significative et concordante des différents paramètres de la voix, mesurée dans une situation raisonnablement stable et comparable des conditions d'enregistrement et de mesure, peut être considérée comme exploitable. Cependant, les comparaisons d'enregistrements avant/après corrélées à l'auto-évaluation du patient permettent d'aider la prise de décision d'arrêt ou de prolongation du suivi, ce qui est très important lorsqu'on touche à l'aspect émotionnel et affectif de la voix.

Type de situation	Occurrence	Exemple de cas	Commentaires
1. Avant/après fiable avec progrès	Situation la plus favorable et la plus fréquente.	AS009	Réduction significative de l'ensemble des indicateurs de pathologie. Stabilité et richesse harmonique retrouvés. Réduction significative du bruit, absence d'éraillures après rééducation.
2. Avant/après fiable sans progrès	Maladies dégénératives, non implication du patient.	SP009	Les indicateurs évoluent globalement peu. Cependant, la perception auditive indique clairement une amélioration de la qualité de la voix, grâce à un contrôle de la puissance sonore sur le long terme, grandeur qui n'est pas traitée par les indicateurs
3. Avant/après non fiable (biais, résultat)	Matériel déréglé, environnement	SP118	Avant rééducation : bruit très important dans la zone 100-150 Hz, la détection du fondamental est parfois erronée

aberrant) avec progrès	bruité, voix très altérée		ce qui se traduit par un indicateur d'instabilité en hauteur exagéré.
4. Avant/après non fiable sans progrès	Matériel déréglé, environnement très bruité, maladie dégénérative	IC001	Les encouragements de l'orthophoniste (méthode LSVT pour les patients atteints de la maladie de Parkinson) superposés au /a/ du patient faussent les indicateurs. Erreurs de détection du fondamental. Double échelle harmonique (2 locuteurs) remontant les indicateurs de bruit

Tableau 3 : exemples de cas extraits des fiches bilan en ligne [37]

Le tableau 3 donne 4 exemples de situations. La plus favorable (1) correspond à des mesures avant/après fiables et des progrès tangibles. La grande majorité des cas mis en ligne dans la base de données correspond à cette situation. Si l'on n'observe pas de progrès (2), plusieurs raisons peuvent être évoquées : la non motivation du patient, comme décrit dans l'étude comparative [28], ou encore la progression rapide d'une maladie dégénérative telle que MSA (*Multiple System Atrophy*) ou PSP (*Progressive Supranuclear Palsy*). Le cas (3) avant/après non fiable avec progrès correspond souvent à un matériel mal réglé ou de mauvaise qualité, ainsi qu'aux erreurs de mesure du fait de voix très altérées avant rééducation. Le cas (4) peut correspondre à une chaîne d'acquisition déréglée ou de mauvaise qualité, ou encore une voix pathologique d'un patient atteint de maladie dégénérative.

C – Questions/réponses

Que déduire de l'analyse avant-après prise en charge orthophonique ?

- Une évaluation chiffrée des progrès en termes de stabilité, de réduction du bruit, de résonance (réduction attendue des indicateurs de pathologie sur un /a/)
- Une mesure objective des progrès en endurance (temps phonatoire augmenté, puissance bien contrôlée sur la durée)
- Une visualisation des performances vocales en termes de plage de fréquence et de dynamique vocale (phonogramme élargi)

Comment m'assurer de la fiabilité des résultats?

- En vérifiant le bon réglage du niveau d'enregistrement (conforme aux niveaux de référence, ni trop faible, ni saturé)
- En limitant le bruit ambiant (microphone directif, microphone de qualité, carte son de qualité, éloignement des sources sonores parasites)
- En éliminant des enregistrements les bruits et consignes
- En vérifiant la bonne détection du fondamental de la voix

Quand se méfier?

- Quand des traces permanentes apparaissent dans le spectrogramme en l'absence de production vocale (bruit dans la chaîne d'acquisition)
- Quand l'indicateur de saturation de la voix s'allume (niveau trop fort)

- Quand l'indicateur d'enregistrement ne varie pas (pile usée, niveau trop faible, défaut de câblage, connecteurs débranchés)
- Quand le F0 est non détecté (niveau d'enregistrement trop faible)
- Quand le F0 est mal détecté (bruit dans la zone de détection, structure harmonique très altérée)
- Quand la voix n'a pas de structure harmonique (cancer ORL niveau 3 ou 4, maladies dégénératives)
- Quand la voix est fortement éraillée (Erreurs de détection de F0)
- Quand différents bruits sont présents en plus de la voix du patient (consigne, choc)

Est-ce que l'absolue exactitude des résultats est importante?

- OUI. Avoir des résultats précis permet de situer la voix du patient par rapport à des normes, ou comparer des résultats avant/après prise en charge.
- NON. L'auto-évaluation du patient et l'avis du thérapeute priment sur les chiffres. Il n'est pas obligatoire d'avoir des réglages et étalonnages très précis pour comparer l'évolution des caractéristiques de la voix.

Conclusion

L'utilisation généralisée de l'évaluation des performances vocales à l'aide d'outils informatiques soulève de nombreuses questions vis-à-vis de la pertinence des mesures, et de l'évaluation objective de l'efficacité des thérapies. De très nombreux travaux scientifiques ont été menés ces dernières années pour analyser et comparer les différentes métriques et outils supports à l'évaluation de la voix. Pour pallier à la confusion devant ces approches multiples et parfois contradictoires, des analyses de métadonnées ont permis d'identifier les publications décrivant des méthodes et données probantes, avec une approche méthodologique de qualité. En parallèle, les bases de données ouvertes, logiciels ouverts et réseaux sociaux scientifiques ont permis un accès à la connaissance et le développement d'un véritable esprit critique, avec des initiatives porteuses d'avenir dans le domaine de la réhabilitation de la voix.

Nous avons tenté d'identifier les différents biais qui peuvent compromettre les évaluations objectives des performances de la voix pathologique, en pointant notamment la chaîne d'acquisition du son, la répétabilité des mesures, l'effet de l'âge, du mode opératoire, en illustrant nos propos de plusieurs exemples. Nous avons aussi tenté de cerner les limites de l'évaluation avant/après prise en charge orthophonique, et donné quelques recommandations et guides de bonne pratique pour permettre une évaluation raisonnablement fiable de l'efficacité de la rééducation de la voix.

Les yeux et les oreilles des orthophonistes sont les premiers capteurs et donc évaluateurs de la voix du patient, ils n'en restent pas moins subjectifs, assujettis à l'éducation auditive voire « musicale » de l'orthophoniste et donc potentiellement tout aussi sujet à méfiance que peuvent l'être les mesures instrumentales décrites dans cet article. Nous pouvons espérer que le passage au grade master permettra de sensibiliser les futurs orthophonistes à l'importance d'utiliser une méthodologie d'évaluation rigoureuse et reproductible, et d'être bien formée au maniement des outils d'évaluation de la voix, afin de mesurer de façon plus fiable les performances des patients. Cette démarche nous permettra de progresser dans nos propositions thérapeutiques dans le sens d'une meilleure adéquation aux besoins du patient et donc d'efficacité de la prise en charge.

Références

- [1] Le Huche, F. (2002). *La voix : thérapeutique des troubles vocaux*. Paris : Elsevier-Masson.
- [2] Rousseau, T. (2013). *Les approches thérapeutiques en orthophonie*. Isbergues : Ortho-Editions.
- [3] Auzou. P., Rolland-Monnoury, V., Pinto, S., Ozsncak, C. (2007). *Les Dysarthries*. Marseille : Solal.
- [4] Sarfati, J. (1998). *Soigner sa voix*. Marseille : Solal.
- [5] Gatignol, P. (2009). *La voix dans tous ses maux*. Isbergues : Ortho-Editions.
- [6] Klein-Dallant, C. (2016). *De la voix parlée au chant*. Paris : Klein-Dallant.
- [7] Stemple J. C., Hapner E. R. (2014). *Voice Therapy, Clinical Case studies, Fourth Edition*. San Diego : Plural Publishing
- [8] Google Scholar. (s. d.). Repéré le 10 Avril 2017, à <https://scholar.google.com>
- [9] Research Gate. (s. d.). Repéré le 10 Avril 2017, <https://www.researchgate.net/>
- [10] Archives Ouvertes du CNRS HAL. (s. d.). Repéré le 10 Avril 2017, <https://hal.archives-ouvertes.fr>
- [11] Science Direct (s. d.). Repéré le 10 Avril 2017, <http://www.sciencedirect.com/>
- [12] Elsevier (s. d.). Repéré le 10 Avril 2017, <https://www.elsevier.com/>
- [13] Petale (s. d.). Repéré le 10 Avril 2017, <http://petale.univ-lorraine.fr/ortho/index.html>
- [14] <http://speechbite.com/>
- [15] Expertise Collective (2006). *La voix – Ses troubles chez les enseignants*. Paris : Les éditions Inserm
- [16] Mackenzie K, Millar A, Wilson Ja, Sellars C, Deary Ij. (2001). Is voice therapy an effective treatment for dysphonia? A randomized controlled trial. *British Medical Journal*, 323, 658-661.
- [17] Speyer, R. (2008). Effects of Voice Therapy: A Systematic Review. *Journal of Voice*, 22, 5.
- [18] Cochrane (s. d.). Repéré le 10 Avril 2017, <http://www.cochrane.org>
- [19] Ruotsalainen, J.H., Sellman, J., Lehto, L., Isotalo, L.K., Verbeek, J.H. (2007). Interventions for preventing voice disorders in adults. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 4.
- [20] Herd, C.P., et al. (2012). Comparison of speech and language therapy techniques for speech problems in Parkinson’s disease. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 8.
- [21] Chan, A.K., McCabe, P., Madill, C.J. (2013). The implementation of evidence-based practice in the management of adults with functional voice disorders: A national survey of speech-language pathologists, *International Journal of Speech-Language Pathology*, 15:3, 334-344, DOI: 10.3109/17549507.2013.783110
- [22] Wikipedia - Science Ouverte (s. d.). Repéré le 10 Avril 2017, https://fr.wikipedia.org/wiki/Science_ouverte
- [23] Saarbruecken Voice Database (s. d.). Repéré le 10 Avril 2017, www.stimmdatenbank.coli.uni-saarland.de

- [24] Base de Données de Voix - Vocalab (s. d.). Repéré le 10 Avril 2017, <http://intranet-gei.insa-toulouse.fr/~sicard/vocalab/voix.html>
- [25] Pernon M. (2016). « MonPaGe » : Protocole informatisé d'évaluation acoustique de la parole pathologique en langue française – illustrations des apports cliniques chez des patients présentant des troubles acquis de la parole. Présenté aux XVIèmes Rencontres internationales d'orthophonie, Paris.
- [26] Audi Set Google (s. d.). Repéré le 10 Avril 2017, <https://research.google.com/audioset>
- [27] Boersma, P., Weenink, D. (2017). Praat: doing phonetics by computer. Version 6.0.28, Repéré le 10 Avril 2017, <http://www.praat.org/>
- [28] Sicard E., Menin-Sicard, A., (2016). *Evaluation et réhabilitation de la voix : approche clinique et objective*. Paris : De Boeck Supérieur. ISBN : 978-2-35327-318-8
- [29] Eyben, F., Weninger, F., Gross, F., Schuller, B. (2013). Recent Developments in openSMILE, the Munich Open-Source Multimedia Feature Extractor. Presented at ACM Multimedia, Barcelona, Spain.
- [30] Deliyiski, D. (1993). Acoustic model and evaluation of pathological voice production. Proceedings of Eurospeech'93, pp. 1969–1972.
- [31] Giovanni A. (2004). Le bilan d'une dysphonie, État actuel et perspectives. Marseille : Solal.
- [32] Ghio, A. (2013). Bilan instrumental de la dysphonie. *Rééducation Orthophonique*, 254, 9-27.
- [33] Ghio, A., Teston B., (2004). Evaluation of the acoustic and aerodynamic constraints of a pneumotachograph for speech and voice studies. International Conference on Voice Physiology and Biomechanics, Marseille, France, p.55-58
- [34] Kent, R.D., Ball, M.J. (2000). *Voice Quality Measurement*. San Diego: Singular Publishing Group
- [35] Maryn, T. (2009). Acoustic measurement of overall voice quality: A meta-analysis, *J. Acoust. Soc. Am.* 126, 5.
- [36] Sicard, E., Menin-Sicard, A., (2013). Etude Bibliographique sur les Indicateurs de Pathologie de la Voix. Repéré le 3 Avril 2017 à <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00836900>.
- [37] 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*, 257, pp. 177-202.
- [38] Edwin, M-L. (1999). Limitations of perturbation measures in clinical acoustic voice analysis. *Asia Pacific Journal of Speech, Language and Hearing*, 4, 3.
- [39] Daumet, M. (2015). *Elaboration de profils types en fonction de pathologies vocales à partir de critères d'analyse objectifs, par le logiciel VOCALAB* (Mémoire pour l'obtention du certificat de capacité d'orthophoniste). Nice : Université de Nice.
- [40] Barbéra 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 pour l'obtention du certificat de capacité d'orthophoniste)/ Lyon : Université Claude Bernard.

- [41] Baken, R., J., Orlikoff, R. (1999). *Clinical measurement of speech and voice*. San Diego : Singular.
- [42] Verdolini, K. (2006). *Classification Manual For Voice Disorders – Volume 1*. New-York : Psychology Press.
- [43] Maryn, Y., De Bodt, M., Roy, N. (2010). The Acoustic Voice Quality Index: Toward improved treatment outcomes assessment in voice disorders. *Journal of Communication Disorders*, 43, 3, pp. 161-174