



HAL
open science

Implémentation dans VOCALAB d'indicateurs objectifs de la qualité de la voix dans le cadre de l'évaluation de la voix

Etienne Sicard, Anne Menin-Sicard

► To cite this version:

Etienne Sicard, Anne Menin-Sicard. Implémentation dans VOCALAB d'indicateurs objectifs de la qualité de la voix dans le cadre de l'évaluation de la voix. *Rééducation orthophonique*, 2013, 254, pp.23-27. hal-00836912

HAL Id: hal-00836912

<https://hal.science/hal-00836912>

Submitted on 21 Jun 2013

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.

Implémentation dans VOCALAB d'indicateurs objectifs de la qualité de la voix dans le cadre de l'évaluation de la voix

Auteurs : Etienne SICARD, Anne MENIN-SICARD

Résumé : Pour être efficace dans leur prise en charge des pathologies de la voix, les orthophonistes ont besoin de disposer d'un ensemble ciblé d'outils leur permettant de mesurer les indicateurs les plus pertinents de la qualité de la voix. Cet article décrit l'implémentation dans VOCALAB de cinq indicateurs de pathologie de la voix, incluant l'instabilité en hauteur et en amplitude, la dégradation de l'attaque, ainsi que le bruit et la pauvreté harmonique. La calibration de ces indicateurs au moyen de tests étendus sur un grand nombre de voix pathologiques et normales, et l'évaluation comparative avec d'autres logiciels sont aussi présentées. L'évolution des indicateurs avant et après rééducation orthophonique est discutée sur certains cas de voix, illustrant les progrès de la prise en charge et validant les axes thérapeutiques. Les limites des indicateurs sont aussi discutées sur des cas de voix particulièrement dégradées, ou pour des conditions particulières en lien avec les aspects matériel et logiciel.

Mots-clés : rééducation vocale, qualité de la voix, indicateurs de pathologies, pathologies vocales

Title : Implementation of Objective Indicators of the Quality of the Voice in VOCALAB

Abstract: To be effective in the management of voice disorders, speech therapists need a focused set of tools to measure the most relevant indicators of the quality of the voice. This article describes the implementation in VOCALAB of five indicators of voice pathology, addressing pitch and amplitude instability, degradation of the vowel attack, as well as noise to harmonic ratio. The calibration of these indicators through extensive testing on a large number of normal and pathological voices, and benchmarking with other software are also presented. The evolution of indicators before and after speech therapy is discussed in some cases voice, illustrating the voice quality improvement and validating therapeutic approaches. The limitations of the indicators are also discussed on degraded voice samples, or specific operating conditions including hardware and software aspects.

Keywords: voice therapy, quality of voice, pathology indicators, voice pathology

Adresses:

Etienne SICARD
Professeur, Chercheur associé au LURCO
INSA/GEI, 135 Av de Rangueil
31077 Toulouse
Etienne.sicard@insa-toulouse.fr
Tel : 06 23 15 35 74

Anne MENIN-SICARD
ORTHOPHONISTE
Master en Sciences du Langage
Chercheur associée au LURCO
8 Rue de Nîmes
31400 TOULOUSE
Anne.sicard2@orange.fr
Tel : 06 15 30 19 75

Introduction

L'utilisation d'outils d'analyse acoustique de la voix dans le cadre de l'accompagnement des personnes souffrant de difficultés ou troubles de la voix s'est maintenant généralisée. La perception humaine est en effet subjective d'une part et peu analytique d'autre part même pour des oreilles très entraînées. Lorsque nous écoutons une voix, nous sommes capables de juger de sa qualité suivant un certain nombre de critères mais nous percevons d'abord la voix comme un tout. Les qualificatifs donnés à une voix (ébréchée, rauque, blanche) ne sont pas forcément reliés à des caractéristiques acoustiques uniques : A titre d'exemple, une voix qualifiée de rauque peut être aggravée et bruitée ou une voix jugée blanche peut être seulement pauvre mais aussi instable. Notre perception, sauf entraînement spécifique à dissocier ces différents critères n'est pas capable de les percevoir immédiatement.

La représentation spectrale telle qu'elle est fournie dans le logiciel VOCALAB nous permet d'avoir une représentation visuelle très précise en décomposant les éléments qui en font un son unique. Nous pouvons ainsi distinguer plus aisément la hauteur de l'intensité ou le timbre de la hauteur. Cependant, l'analyse du spectre demeure encore liée à notre subjectivité puisque cette interprétation est liée à l'expertise que nous en avons. En résumé, la lecture du spectre est relativement simple pour des tenues vocaliques mais elle se complexifie dès lors que le matériel phonétique s'en mêle. Des connaissances en acoustique, phonétique sont indispensables à la compréhension de la voix parlée conversationnelle ou impliquée.

L'une des difficultés rencontrée par le clinicien est de savoir si les difficultés rencontrées par le patient sont passagères et/ou conjoncturelles ou s'il s'agit d'un trouble d'origine organique ou fonctionnel. Seul le bilan phoniatrique sera en mesure de vérifier l'intégrité anatomique et physiologique des cordes vocales, leur trophicité, leur mobilité ainsi que la coordination avec la respiration. Cependant, il est fréquent que le patient soit adressé par son médecin à une orthophoniste sans avoir consulté de phoniatriques ou d'ORL au préalable. Notre rôle est donc primordial dans la compréhension des mécanismes de forçage qu'il soit primaires ou secondaires. Il est alors nécessaire de comprendre les raisons pour lesquelles le patient se trouve dans cette situation de dysfonctionnement. En corrélant les données de l'auto-évaluation vocale et les données objectives fournies par les marqueurs, nous sommes en mesure de prendre plus aisément la décision d'un démarrage, d'une poursuite et/ou de l'arrêt d'un suivi même si le rendez-vous chez le phoniatre est plus tardif. Nous poursuivons dans la voie de l'autonomie thérapeutique tout en développant les partenariats indispensables à une prise en charge complète du patient (Phoniatre/ORL/psychiatrie/pneumologie/ostéopathie).

Pour être efficace dans leur travail, les orthophonistes ont besoin de disposer **d'outil performants et validés** leur permettant de faire des mesures d'une part et de comparer à la norme d'autre part, les indicateurs de qualité de la voix. Il est tout aussi indispensable de comparer les résultats avant/après sur des échantillons similaires (même consigne, mêmes modalités d'enregistrement avec le même réglage de la carte son) afin de répondre à des critères actuels d'efficacité thérapeutique. Mettre en place une méthodologie rigoureuse au niveau de l'évaluation et de la réévaluation s'inscrit dans la mouvance des pratiques probantes. L'orthophoniste sera aussi confortée dans ses choix thérapeutiques ou au contraire alertée plus vite si ces choix se révélaient erronés.

Dans la nouvelle version de Vocalab (3.7) La lecture du spectre du [a] est soumise à une analyse automatique précise qui affiche des indicateurs susceptibles de renseigner directement le thérapeute sur le caractère normal ou pathologique de la voix.

Dans cet article nous faisons un état de l'art des marqueurs existants, puis sélectionnons et décrivons cinq indicateurs de qualité de la voix développés dans cette version, illustrés sur des cas pratiques. Nous décrivons ensuite le tableau de synthèse des marqueurs et un exemple d'évolution des indicateurs au cours de la thérapie.

Motivation

Marqueurs existants

L'analyse objective de la voix avec VOCALAB (Sicard E., Menin-Sicard, A 2009) repose sur la mesure des paramètres suivants :

- Le Fondamental usuel moyen (FUM) : celui-ci est calculé de manière statistique en moyennant les valeurs successives du fondamental sur un grand intervalle de temps (typiquement un texte de 20 secondes). En parole spontanée, le calcul se stabilise sur une valeur qui correspond à la fréquence usuelle moyenne du patient.
- Etendue vocale (EV) : Le patient est invité à prononcer une voyelle /ou/ de la hauteur la plus grave à la plus aiguë, puis de nouveau vers les graves, afin de déterminer l'étendue vocale, ainsi que la ou les zones de confort maximale.
- Temps Phonatoire Maximum (TPM) : Le patient prononce la voyelle /a/, les consonnes /s/, /z/ afin de déterminer les rapports s/z et a/z. Les valeurs brutes sont moyennées sur 3 essais.
- L'aire dynamique vocale (ADV) : Le patient est invité à prononcer une sirène sur la voyelle /ou/, d'une part avec l'intensité la plus faible, d'autre part avec l'intensité la plus forte. Le phonéto gramme se dessine au fur et à mesure de la production de sirènes.

Autres outils d'évaluation objective

D'autres outils d'analyse de la voix tels que MDVP (Deliyski, 2012), PRAAT (Boersma, 2009) ou EVA (Ghio, 2008) disposent d'indicateurs supplémentaires, qui sont résumés sur le tableau ci-dessous par famille, en s'inspirant des classifications proposées par Putzer (2001). On retrouve dans ces logiciels, 3 grandes familles d'analyse : l'instabilité en hauteur (Jitter et dérivés), l'instabilité en amplitude (Shimmer et dérivés), ainsi que l'analyse du bruit (HNR et dérivés). Selon les logiciels, d'autres types d'analyses peuvent être conduites (en italique sur la figure) : analyse du débit d'air dans le système EVA, analyse des ruptures et irrégularités dans PRAAT et MDVP.

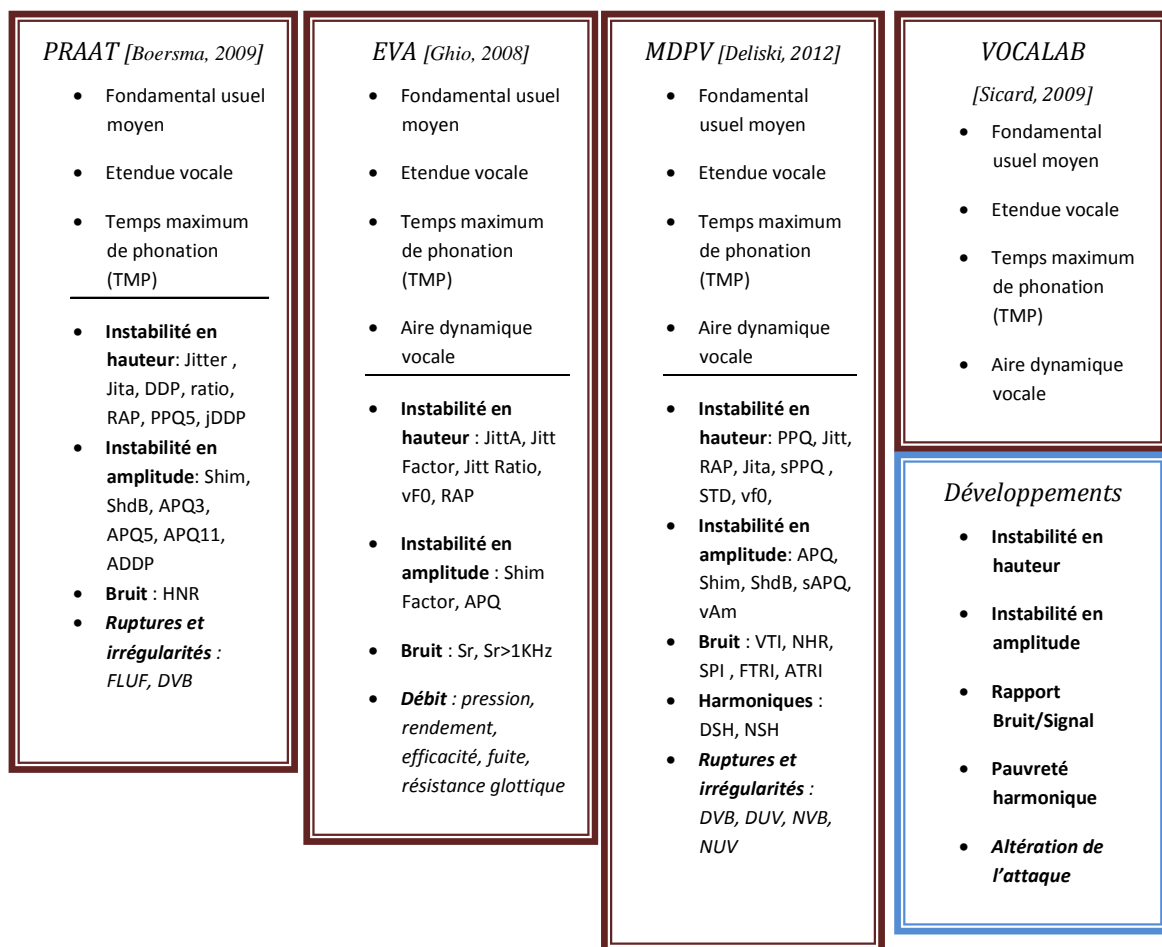


Figure 2: Analyse des indicateurs de pathologie dans les systèmes EVA, MDVP, PRAAT et VOCALAB.

Faisant la synthèse de publications sur les indicateurs de pathologie de la voix, l'ouvrage de Baken et Orlikoff (1999) décrit plus d'une centaine de calculs différents. Malgré leur très grande diversité, nous pouvons distinguer quatre grandes familles d'indicateurs, qui décrivent les marqueurs suivants :

- L'instabilité de la hauteur de la voix.** Le plus connu est le jitter, qui caractérise l'instabilité de la fréquence fondamentale à court terme ou moyen terme, selon ses variantes. Le coefficient de Lyapounov utilisé dans EVA correspond à une instabilité à plus long terme. La valeur du Jitter est fortement dépendante de l'algorithme utilisé pour la détection du fondamental de la voix. Dans le cas de voix éraillées, soufflées, ou simplement dans des conditions d'enregistrement de basse qualité, les indicateurs varient du simple au triple selon les logiciels utilisés, comme démontré par Maryn (2009). Les seuils du Jitter relatif (% Jitt - variabilité de la période par rapport à la moyenne des périodes) communs aux différents logiciels définissent une frontière entre voix normales et pathologiques. Ces seuils sont en général autour de 1-2%, mais varient selon les études, les protocoles et les logiciels utilisés (Kent, 2003)(Demenko, 2004). Sur un corpus d'une centaine de voix normales, le Jitter moyen déterminé par Xue (2001) passe de 0.5% pour les voix jeunes à 2% pour des voix âgées. La plupart des études se focalisent sur l'analyse d'une portion de voyelle stable d'un /a/ (en général une seconde), d'autres considèrent l'ensemble de l'échantillon (Revis,

1999) pour inclure l'attaque. A noter que les différents indicateurs de Jitter sont fortement corrélés entre eux, comme le prouve Werth (2010) sur 2500 cas. Enfin, selon certains auteurs tels que (Parsa, 2001)(Wolfe, 1995), le Jitter est peu corrélé avec le degré de sévérité des dysphonies.

- **L'instabilité de l'amplitude de la voix.** Le plus connu est le shimmer qui évalue la variation d'amplitude du signal au cours du temps, et se décline en différentes versions telles que le shimmer absolu, shimmer relatif, ou moyen sur 3, 5, 11 cycles, etc. Du fait que la détection du shimmer n'est pas basée sur l'évaluation de la fréquence fondamentale mais sur la variation d'amplitude de cycle en cycle, on trouve selon les études moins de variabilité sur cet indicateur que pour le Jitter. Cependant, les algorithmes mis en jeu influent considérablement sur les valeurs obtenues dans le cas de voix dysphoniques (Maryn, 2009). Dans la littérature, les seuils communément admis pour le Shimmer relatif entre voix normale et pathologique se situent autour de 2 à 5% selon l'âge du patient (Xue, 2001)(Demenko, 2004). Les familles de Shimmer sont elles aussi fortement corrélées entre elles (Werth, 2010).
- **L'évaluation du bruit.** Yumoto (1982) a été l'un des premiers à proposer une technique simple de calcul du rapport Harmonique/Bruit (H/N en Anglais). Pour le groupe normal, ce rapport est centré sur 12 dB (harmoniques significativement plus énergétiques que le bruit) et peut devenir négatif pour des pathologies sévères (harmoniques noyées dans le bruit). Yu (2001) utilise dans EVA deux marqueurs d'évaluation du rapport Signal-Bruit (Sr, en %, et Sr>1KHz en %), relativement peu corrélées entre elles. Le marqueur Sr décroît de 60% à 20% avec la sévérité, Sr>1KHz de 10 à 5%, avec peu de différence Homme/Femme. L'outil MDVP propose un marqueur Noise-to-harmonic ratio (NHR) qui évalue le rapport entre l'énergie non-harmonique de l'intervalle 1500-4500 Hz avec l'énergie harmonique de 70 à 4500 Hz. La valeur commune de NHR est autour de 0.1, et augmente avec la sévérité des dysphonies (Xue 2001). Werth (2010) analyse un très grand nombre de cas de pathologies de voix à l'aide du logiciel Dr. Speech. Les valeurs typiques de HNR sont autour de 20 dB pour les cas normaux, et ne baissent en moyenne que de 2 dB pour les voix pathologiques. Le facteur NNE (Normalized Noise Energy), corrélé à HNR (-0.67) passe de -8 dB à -6dB pour ces mêmes cas. En résumé, on constate une certaine variété de conditions de calculs, de normes et de résultats selon les outils utilisés.
- **L'évaluation des phénomènes transitoires parasites.** Les paramètres DUV (Degree of Voiceless /%/) et DVB (Degree of Voice Breaks /%/) de MDVP mesure l'incapacité de la voix à soutenir le voisement de manière ininterrompue. Le seuil normatif est 0, car une voyelle en voix normale ne devrait pas avoir de segment sans voix. DUV et DVB évaluent les pauses entre les zones voisées. Dans PRAAT les indicateurs « Fraction of locally unvoiced frames » (FLUV) et DVB sont aussi proposés, fortement corrélés à MDVP.

Indicateurs proposés dans VOCALAB

Dans une optique de simplification et de mise à disposition d'un nombre restreint d'indicateurs non corrélés entre eux, nous avons choisi 5 indicateurs de pathologie, qui évaluent des caractéristiques spécifiques de la voix et permettent une évaluation objective des progrès thérapeutiques. Il s'agit de quatre indicateurs assez communs:

- d'instabilité en amplitude
- d'instabilité en hauteur
- de bruit
- de pauvreté harmonique

L'utilisation clinique a révélé que la qualité de l'attaque était un indicateur pertinent, révélateur des modalités d'accolement glottique. Nous détaillons ci-après ces indicateurs.

Instabilité en hauteur

L'instabilité en hauteur traduit la variation de la fréquence fondamentale au cours du temps. Ce marqueur caractérise l'instabilité vibratoire des organes phonateurs. Il est basé sur l'évaluation de F_0 , qui apparaît sur la figure 3 sous forme d'un trait noir horizontal en superposition à l'harmonique de fréquence la plus basse (autour de 110 Hz). L'instabilité en hauteur dans ce cas de dysphonie dysfonctionnelle d'une femme de 64 ans est particulièrement importante. Le marqueur est normalisé de manière à ce que la limite entre voix normale et pathologique soit autour de 1.0. Ici, l'instabilité autour de 5.5 pour l'ensemble du signal sonore indique une instabilité en hauteur fortement pathologique. A noter que cet indicateur est fortement corrélé avec le Jitter moyen terme, tel que sPPQ 11 des logiciels PRAAT et MDVP. Il est aussi corrélé au Coefficient de Lyapounov implémenté dans le logiciel EVA et relativement peu corrélé avec le Jitter instantané. L'instabilité en hauteur est aussi visualisée de manière graphique grâce au portrait de phase (en bas à droite de l'écran). Le dessin chaotique des points et leur grande distance par rapport au centre sont caractéristiques d'une très forte instabilité en hauteur.

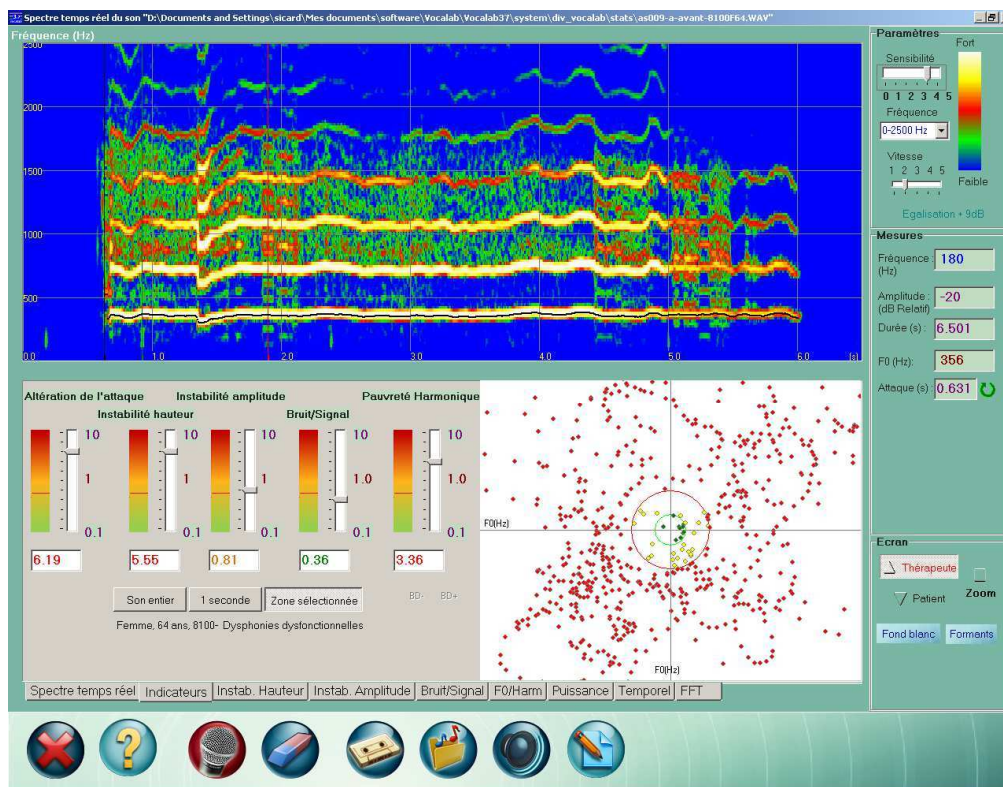


Figure 3 : Spectrogramme d'une voyelle /a/ prononcée pendant 8 secondes et marqueurs associés (Cas AS009-a.WAV de dysphonie dysfonctionnelle de la base de données en ligne [BD]).

En sélectionnant une portion du signal dans le spectrogramme, le logiciel recalcule les indicateurs, qui peuvent varier significativement selon la portion choisie. Ainsi, la portion de son de stable en hauteur (du temps 2 s à 4 s dans la figure 3) correspond à une valeur faible de l'indicateur d'instabilité en hauteur, tandis que la portion de son instable (1-2 s ou 4-5 s) se traduit par une valeur plus élevée. La variation instantanée de l'indicateur d'instabilité peut aussi être calculée en temps réel, en parallèle avec le spectrogramme. L'indicateur passe sous la barre de 1.0 sur les portions stables et au-dessus sur les portions instables.

Instabilité en amplitude

Cet indicateur évalue la variation d'amplitude du signal au cours du temps. Sur la figure 4, le spectrogramme (partie du haut) est superposé à la courbe de puissance du signal au cours du temps (partie du bas). On constate sur les harmoniques élevées des changements de couleurs importants au cours du temps, qui se traduisent par de fortes variations de l'amplitude du signal, et par voie de conséquence un marqueur d'instabilité en amplitude au dessus de 2.0, significativement au dessus du seuil de pathologie (1.0). On peut distinguer des fluctuations de puissance à court terme (variations rapides à l'échelle 10 ms) et à moyen terme (variations plus lentes à échelle 100 ms). Enfin, on note une décroissance rapide de la puissance après l'attaque.

Ce marqueur est fortement corrélé avec le Shimmer moyen terme, tel que APQ11 des logiciels PRAAT et MDVP. Par défaut, le calcul porte sur l'ensemble du son.

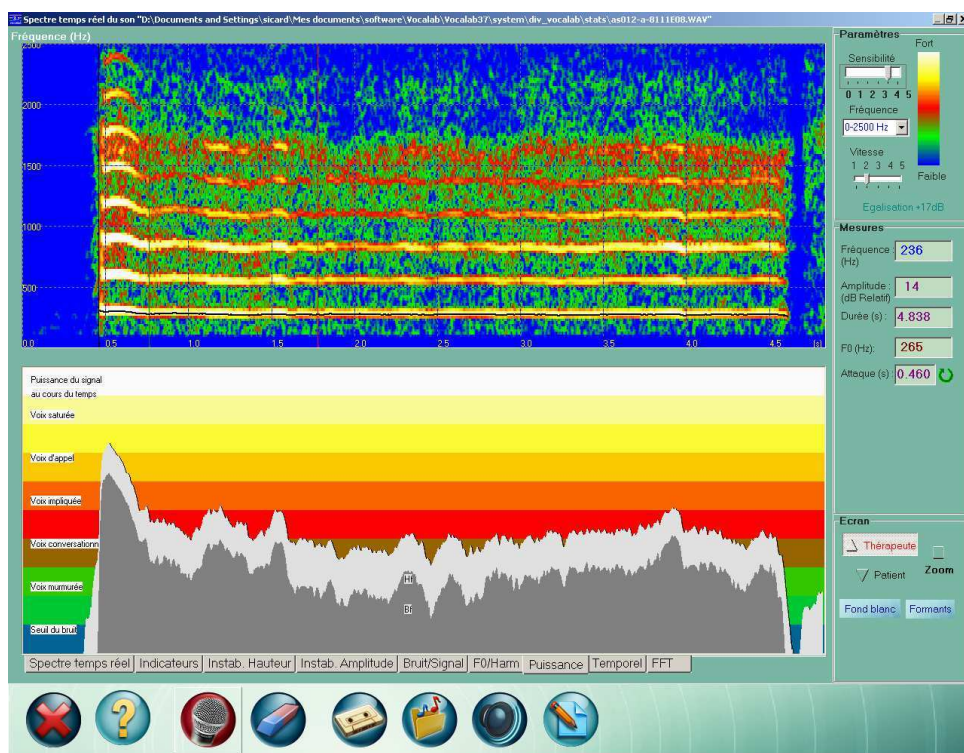


Figure 4 : L'instabilité en amplitude sur une portion de /a/ (Voix AS014 de la base de données de VOCALAB)

Bruit/Signal

L'indicateur de bruit effectue une analyse du rapport entre l'amplitude des harmoniques et l'amplitude du bruit, dans la zone de 300 à 4500 Hz (Fig. 5). Le coefficient calculé dans VOCALAB, qui s'apparente au marqueur NHR de MDVP et à l'inverse de Sr d'EVA ou HNR de PRAAT, est normalisé de façon à obtenir 1.0 quand le niveau du bruit atteint, par rapport au niveau des harmoniques, un seuil pathologique. Comme l'indique la figure 5, la présence de bruit entre les harmoniques est particulièrement visible dans la bande 300-1700 Hz. Alors que l'indicateur HNR de MDVP n'étudie le bruit que dans la bande 1500-4500 Hz, l'indicateur de VOCALAB étend le calcul vers les basses fréquences, jusqu'à F0. Dans le cas de la figure 5, l'indicateur de bruit/signal indique une valeur de 1.6 pour la voyelle /a/, une valeur significativement au dessus du seuil de pathologie (1.0). L'onglet « bruit/signal » permet de tracer en temps différé ou en temps réel l'évolution du marqueur au cours du temps. En cliquant le microphone, on peut visualiser l'indicateur en temps réel. Cette nouvelle fonctionnalité en temps réel est très utile pour visualiser en temps réel la stabilité du son en intensité comme en hauteur.

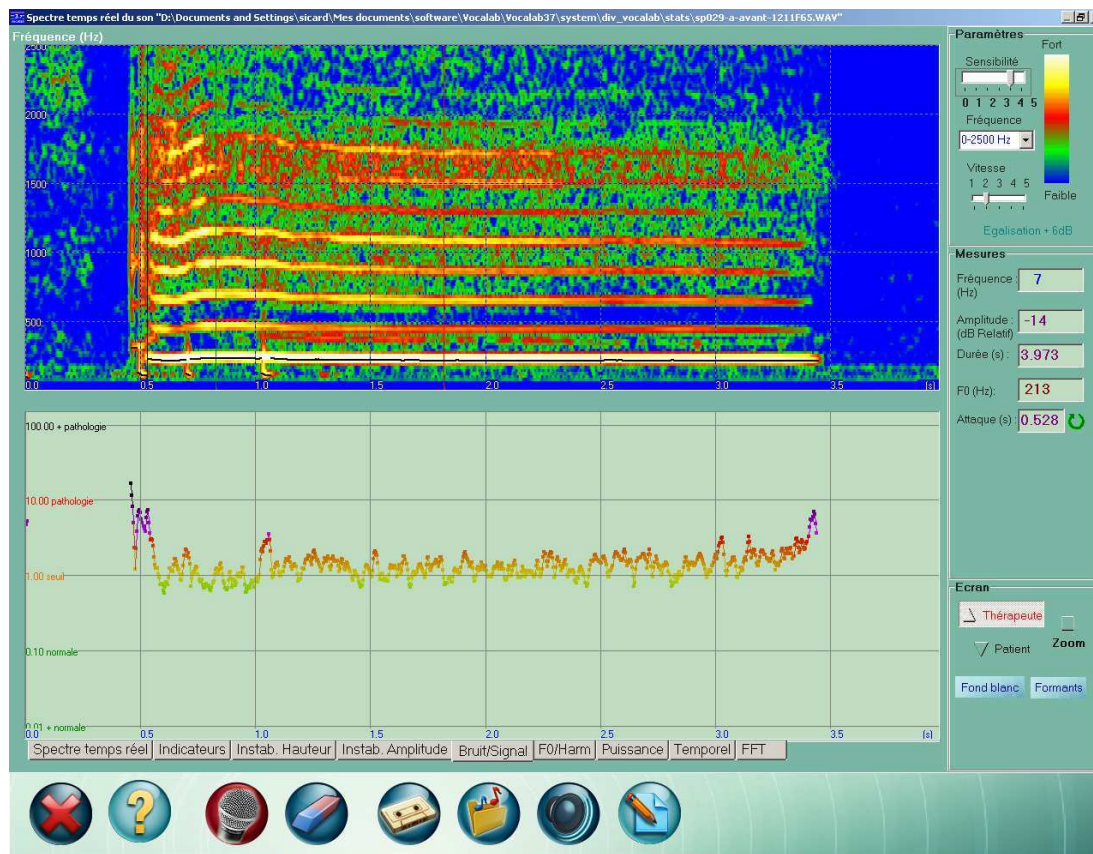


Figure 5: Le spectre du signal comporte des traces de bruit importantes entre les harmoniques, qui augmentent significativement le rapport bruit/signal (fichier SP029-a-avant.WAV de la base de données en ligne [BD])

Indicateur de pauvreté harmonique

L'indice de pauvreté harmonique est dérivé d'un simple calcul du nombre d'harmoniques correspondant aux fréquences de 75 à 4500 Hz, dont l'amplitude dépasse un certain seuil défini en fonction de l'harmonique la plus énergétique. Le curseur de pauvreté harmonique est une version normalisée de ce comptage de façon à ce qu'une voix riche en harmoniques se traduise par un chiffre

significativement en dessous de 1.0, et qu'une voix pauvre donne un indicateur au-dessus de 1.0. Le spectrogramme d'une voyelle /a/ prononcée par une femme de 44 ans souffrant d'une paralysie récurrentielle unilatérale ne comporte que 4 harmoniques d'énergie significative (500-1500 Hz), les harmoniques plus élevées étant à peine visibles (Figure 6).

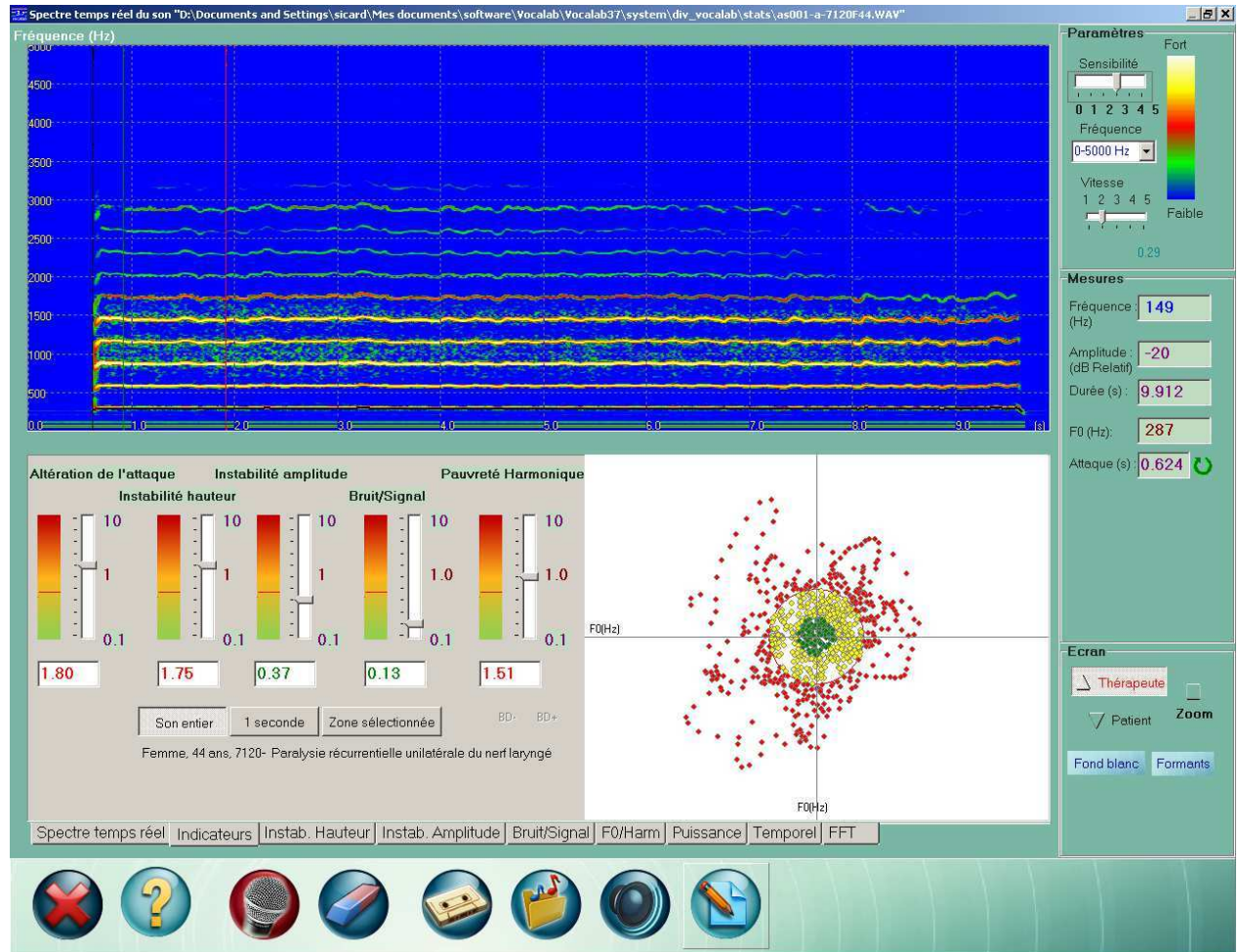


Figure 6: Exemple de voix dont le seuil F0/Harmonique est pathologique : la voix est pauvre, comportant peu d'harmoniques significatives (AS005-a de la base de données en ligne)

Altération de l'attaque

L'indicateur d'altération de l'attaque est un marqueur spécifique de VOCALAB, dont le rôle est d'aider à évaluer les caractéristiques de la mise en vibration des cordes vocales. Un détecteur d'attaque du son est positionné automatiquement sous forme d'un trait noir vertical. L'analyse porte sur les 300 ms qui suivent l'attaque (trait noir au trait rouge sur la figure 7). Le marqueur d'attaque évalue :

- L'instabilité en hauteur
- L'instabilité en amplitude par rapport à une rampe idéale
- Le bruit par rapport aux harmoniques de la voix

Le marqueur d'attaque est normalisé de manière à ce que le seuil d'une attaque pathologique soit autour de 1.0. La figure 8 donne l'exemple d'une attaque avec une forte instabilité en hauteur, une

montée en puissance relativement convenable, mais un bruit important surtout en début d'attaque. Le marqueur évaluant la portion de 300 ms (en jaune sur le spectrogramme) est autour de 3.0, soit significativement au dessus de la limite (1.0). Le calcul de l'attaque ne peut se faire qu'en mode différé, c'est à dire après avoir effectué un enregistrement.

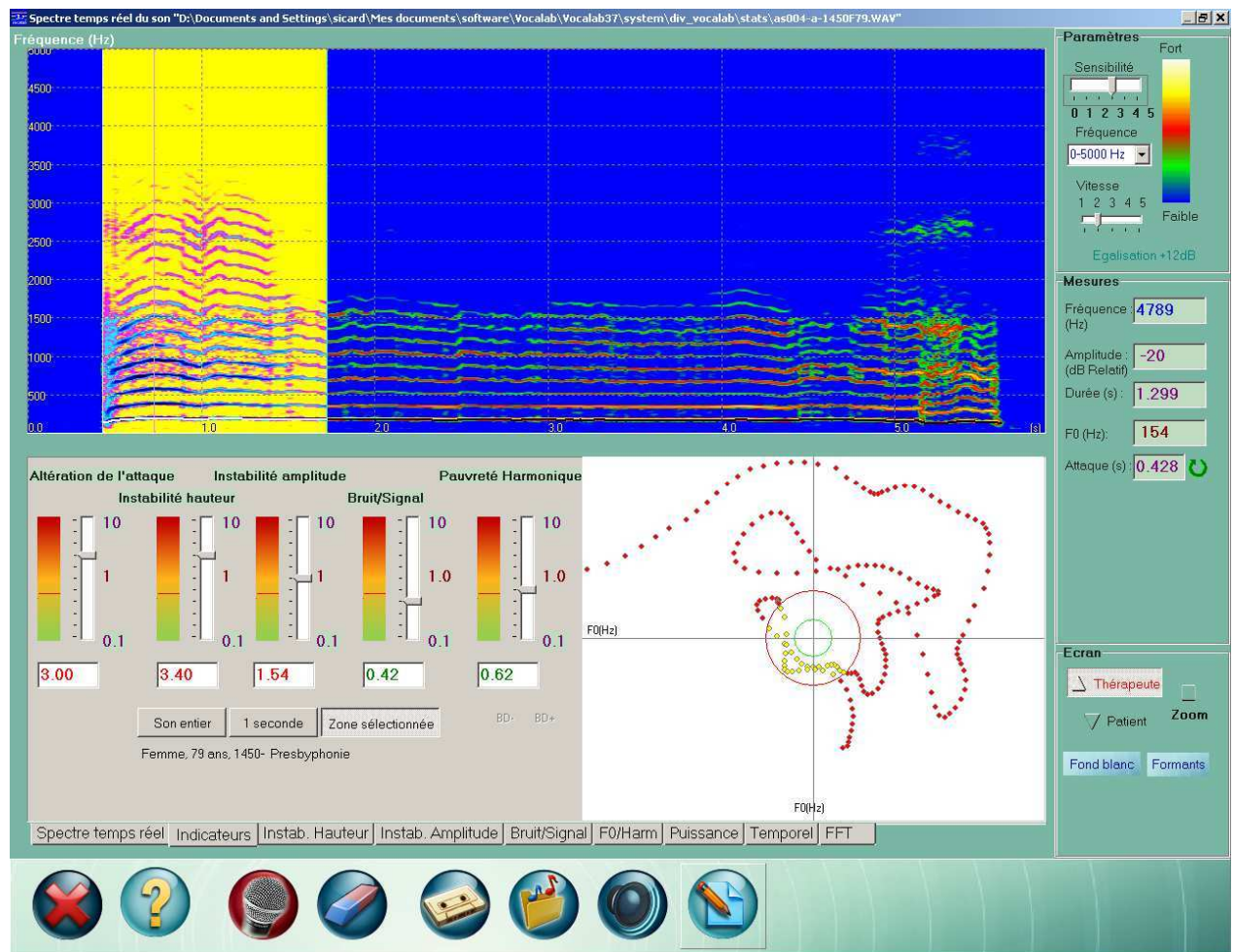


Figure 7: Le marqueur d'attaque évalue la stabilité en hauteur, la montée en puissance et le bruit entre les harmoniques (Fichier AS004-a.WAV de la base de données en ligne [BD]).

Discussion sur la validité des indicateurs

Le développement d'indicateurs objectifs de qualité de la voix dans VOCALAB a été conduit avec le souci de simplicité, de fiabilité, et de transfert à la rééducation orthophonique. De ce fait, seulement cinq marqueurs ont été sélectionnés, et présentés de telle sorte que le seuil de pathologie soit toujours au-dessus de 1.0 afin d'en homogénéiser et simplifier l'interprétation.

La validation de ces marqueurs a été initiée sur une base de données de plus de 100 cas de voix normales et pathologiques qui sera enrichie au cours du temps, ainsi que par évaluation comparative avec le logiciel PRAAT. Les seuils de pathologies seront finement ajustés au fur et à mesure des calculs et analyses mises en œuvre sur un très grand nombre d'enregistrements faits dans des conditions similaires à celles des cabinet d'orthophonie. Les comparaisons ont principalement porté sur une portion d'une seconde de voyelle /a/ stable suivant l'attaque. Les indicateurs HNR de PRAAT et Bruit/Signal de VOCALAB, Shimmer de PRAAT et Instabilité Amplitude de VOCALAB, Jitter PRAAT et Instabilité en hauteur de VOCALAB ont ainsi pu être corrélés de manière globalement

satisfaisante. Toutefois, PRAAT décroche au-delà d'un certain seuil de pathologie, et la prise en compte du son dans sa globalité, en incluant l'attaque, donne des résultats souvent peu exploitables. L'indicateur d'attaque, qui n'est pas disponible sur d'autres outils, a été validé par comparaison avec l'évaluation subjective sur une centaine de cas de voix normales et pathologiques.

Ce travail est mené dans le cadre de l'équipe de recherche ERU 15 du laboratoire LURCO. L'ensemble des indicateurs a été évalué sur la centaine de cas de voix pathologiques et normales, mis à la disposition des orthophonistes et téléchargeable en ligne depuis le site du logiciel VOCALAB : vocalab.org (Sicard, 2013). Des commentaires sur la pertinence des marqueurs ont été mis en ligne pour les cas de voix avant/après. Environ 5% des cas de voix, pour la plupart fortement pathologiques, mettent en défaut les outils de calcul et faussent les indicateurs, en particulier l'instabilité en hauteur, l'attaque et la pauvreté harmonique.

Evaluation des progrès thérapeutiques

Synthèse des Marqueurs

Un bilan des marqueurs synthétise l'ensemble de données calculées avec les différents outils de VOCALAB, afin de simplifier la rédaction des bilans. Les différentes dates de passage d'examen figurent dans un menu déroulant en bas à gauche de l'écran de synthèse, permettant de voir les progrès sur les différents indicateurs de pathologie de la voix. Dans le tableau de synthèse illustré figure 8, certains paramètres n'ont pas été évalués, tels que le rendement (Evaluation > Temps Phonatoire Maximum) ou l'aire dynamique vocale (Evaluation > Phonétogramme). Le bouton « Evaluer » donne accès aux menus VOCALAB correspondants. Le tableau 1 donne la correspondance entre les marqueurs et les outils de calcul. La corrélation des données de l'auto-évaluation et des données objectives lors du bilan est pertinente.

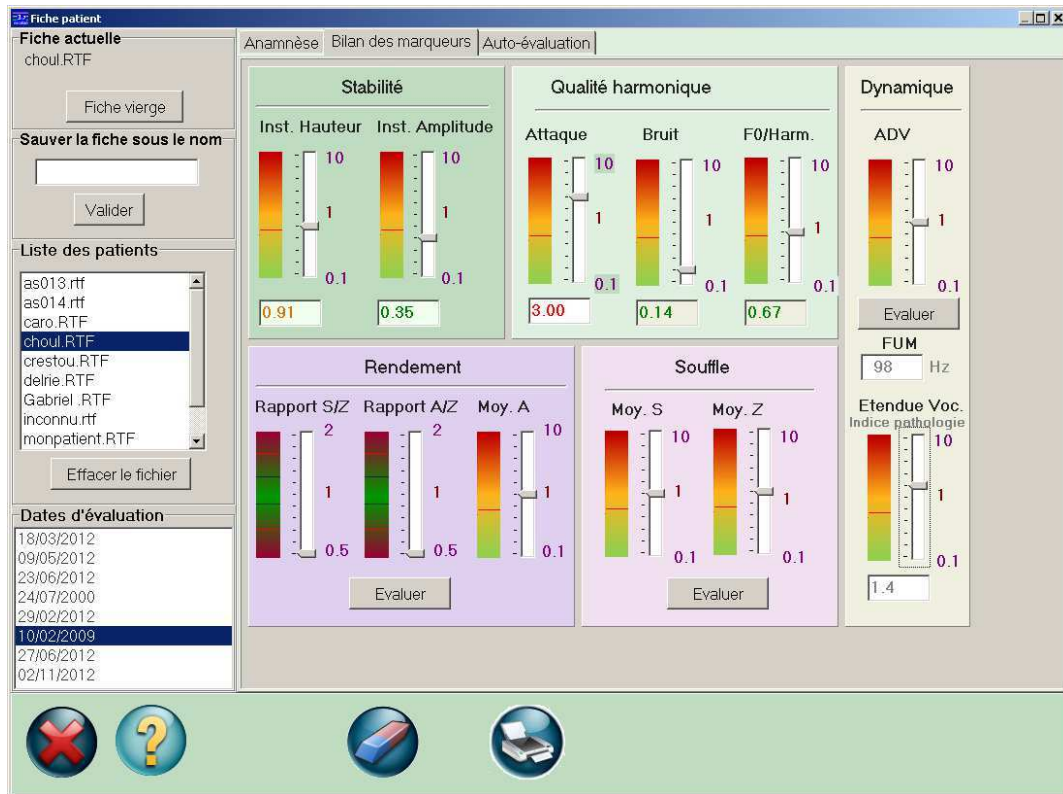


Figure 8: Onglet « bilan des marqueurs » de la fiche patient synthétisant l'ensemble des marqueurs

Classe d'indicateur	Indicateur	Outil dans VOCALAB
Stabilité	Instabilité en hauteur	Evaluation > Spectre temps réel > Indicateurs
	Instabilité en amplitude	Evaluation > Spectre temps réel > Indicateurs
Qualité harmonique	Attaque	Evaluation > Spectre temps réel > Indicateurs
	Bruit	Evaluation > Spectre temps réel > Indicateurs
	F0/Harmoniques	Evaluation > Spectre temps réel > Indicateurs
Rendement	Rapport S/Z	Evaluation > Temps Phonatoire Maximum
	Rapport A/Z	Evaluation > Temps Phonatoire Maximum
	Moyenne A	Evaluation > Temps Phonatoire Maximum
Souffle	Moyenne S	Evaluation > Temps Phonatoire Maximum
	Moyenne Z	Evaluation > Temps Phonatoire Maximum
Dynamique	Aire dynamique Vocale (ADV)	Evaluation > Phonétogramme
	Fondamental Usuel Moyen (FUM)	Evaluation > Fondamental + Etendue Vocale
	Etendue Vocale	Evaluation > Fondamental + Etendue Vocale

Tableau 1: Correspondance entre les indicateurs et les outils dans VOCALAB

Evolution des indicateurs en thérapie

L'intérêt des marqueurs de pathologie est de donner des indications objectives sur les progrès en thérapie. Nous reportons ci-après le cas AS013 (Femme, 44 ans) de la base de données en ligne (Sicard, 2013) correspondant à un Oedème de Reinke.

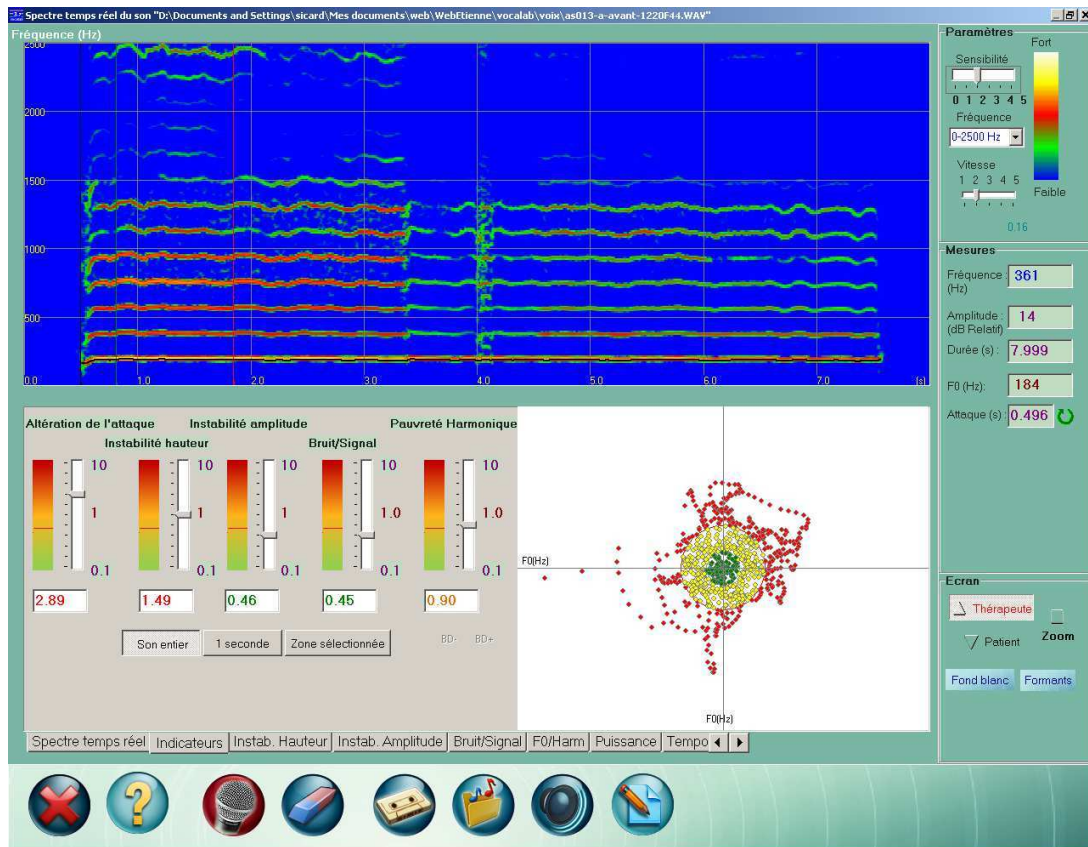


Figure 10 : Evaluation des indicateurs sur une voyelle /a/ du cas AS013 correspondant à un Oedème de Reinke, avant rééducation.

On constate une attaque instable et bruitée, une certaine instabilité en hauteur (1.49), une absence d'harmoniques élevées, et une forte rupture de puissance et de résonance dans la période 3-4 secondes. Les axes thérapeutiques au cours des 40 séances ont été les suivants:

- Hygiène de vie et hygiène vocale (tabagisme important)
- Auto-évaluation personnalisée
- Améliorer la proprioception posturale, respiratoire, laryngée, articulaire
- Recherche des meilleures adaptations posturales possibles dans le cadre de son travail puis de sa vie personnelle
- Améliorer la pression expiratoire (méthode des palliers)
- Travail de dissociation des paramètres
- Améliorer le rendement laryngé
- Travailler la qualité de fermeture glottique
- Travailler les modalités d'émission et d'arrêt du son
- Améliorer la richesse harmonique (formant extra-vocalique, IRL)
- Viser l'augmentation du confort et de l'endurance

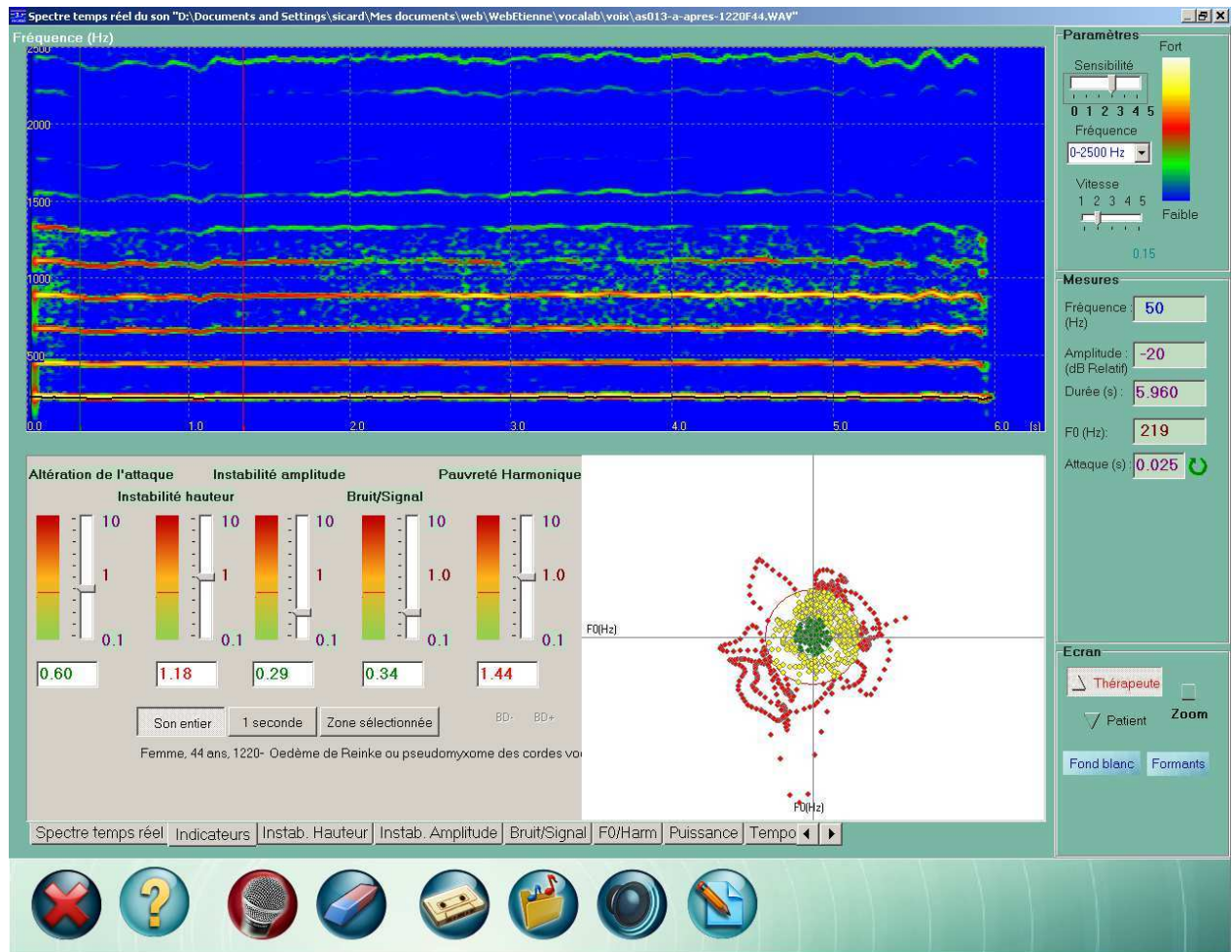


Figure 11 : Evaluation des indicateurs sur une voyelle /a/ du cas AS013 de la base de données en ligne, correspondant à un Oedème de Reinke, après rééducation.

Les progrès les plus remarquables se situent sur les aspects stabilité en amplitude, ainsi que qualité de l'attaque. On note toujours une instabilité en hauteur, caractérisée par un diagramme de phase qui déborde du cercle central, ainsi qu'une certaine pauvreté harmonique, dans la mesure où seules les harmoniques F_0 , $2F_0$... $5F_0$ sont significatives. La persistance de l'œdème à cause du tabac en est la cause.

Conclusion

Nous avons présenté dans cet article les axes de développement d'indicateurs objectifs de qualité de la voix, guidés par un souci constant de simplicité et de fiabilité, afin de venir en support à la rééducation orthophonique. Nous avons décrit cinq marqueurs incluant l'instabilité en hauteur, en amplitude, l'analyse du rapport bruit/signal, la pauvreté harmonique, ainsi qu'un indicateur original d'altération de l'attaque. Les indicateurs ont été implémentés dans une version prototype de VOCALAB, évalués, affinés puis validés sur une centaine de cas de voix normales et pathologiques ainsi que par comparaison avec d'autres outils de traitement de la voix. Les indicateurs ont été utilisés en support à la rédaction de bilans, notamment sous forme de tableau de synthèse, en complément de l'auto-évaluation.

Les indicateurs de pathologie représentent une plus-value intéressante pour rendre compte des progrès en rééducation, mais nécessitent une bonne maîtrise des protocoles d'enregistrement, ainsi qu'une connaissance des atouts et limites des algorithmes de calcul. Une base de données synthétisant l'expertise d'un groupe d'orthophonistes sur la rééducation de pathologies très diverses, avec axes thérapeutiques et avis sur la pertinence des marqueurs, a été construite et mise à disposition avec accès libre aux orthophonistes, afin de servir de base de compétences et de guide de bonne pratique à l'utilisation des indicateurs. Les orthophonistes sont invités à participer au développement de cette base de données, en particulier sur les aspects axes thérapeutiques et extension aux pathologies rares. Dans le cadre de la formation continue, un module de formation spécifique aux nouveaux outils a été développé à l'intention des orthophonistes est proposée depuis 2013.

Ce concept nouveau de plate-forme commune évolutive (PFCE) permettra aux praticiens non seulement d'homogénéiser leur pratique sans l'uniformiser, d'accéder rapidement à des données théoriques et normatives consensuelles, de constituer de grandes bases de données permettant de mettre en œuvre des études sur un échantillonnage exploitable en recherche. Le concept permet aux orthophonistes de faire évoluer en commun leurs propres outils et de proposer des idées d'évolution. Cette architecture commune ira dans le sens de la reconnaissance Licence-Master-Doctorat (LMD), de la mise en place de laboratoires de recherche en orthophonie et bien-sûr des pratiques probantes actuellement promues au niveau international.

Dans le futur, un ensemble d'outils d'études statistiques sera aussi mis à disposition des orthophonistes, permettant l'analyse et le traitement de grands nombres de cas de voix, facilitant ainsi la rédaction de mémoires de Master et de thèse.

Références

- BOERSMA, P., WEENINK, D., (2009) Praat: doing phonetics by computer, version 5.1.05
<http://www.fon.hum.uva.nl/praat/>
- DELIYSKI, D.D. (2012). Multi-Dimensional Voice Program MDVP Model 5105. *Kay Pentax Corporation*.
www.kaypentax.com
- GHIO, A. (2008) Bilan et perspectives de quinze ans d'évaluation vocale par méthodes instrumentales et perceptives. 27^{èmes} Journées d'Etude sur la Parole. Avignon: AFCP.
- BAKEN, R., J., ORLIKOFF, R. (1999). *Clinical measurement of speech and voice*. San Diego : Singular.
- KENT, R.D. (2003). Voice dysfunction in dysarthria: Application of the Multi-Dimensional Voice Program. *Journal of Communication Disorders*, 36 : 281–306.
- MARYN, Y. (2009). Perturbation Measures of Voice: A Comparative Study between Multi-Dimensional Voice Program and Praat. *Folia Phoniatr Logop*, 61:217–226.
- MENIN-SICARD, A., SICARD, E. (2009). Utiliser le logiciel VOCALAB dans le cadre de la prise en charge des pathologies de la voix. *La voix dans tous ses maux*. Ortho-Editions.
- PARSA, V., JAMIESON, D. G. (2001). Acoustic discrimination of pathological voice: Sustained vowels versus continuous speech. *J. Speech, Language Hear. Res.*, 44 : 327–339
- PUTZER, M. (2001). Multiparametric description of voice quality for normal male and female voices (German). *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 53, 73–84.
- REVIS, J. (1999). Comparison of different voice samples for perceptual analysis. *Folia Phoniatr Logop* 51 (3) : 108-116.
- SICARD, E. (2013). Base de données de voix normales et pathologies. www.vocalab.org.
- WERTH, K., VOIGT, D., DÖLLINGER, M., EYSHOLDT, U., LOHSCHELLER, J. (2010). Clinical value of acoustic voice measures: a retrospective study. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 267 (8): 1261-1271.
- WOLFE, V., FITCH, J. J., CORNELL, R. (1995). Acoustic Prediction of Severity in Commonly Occurring Voice Problems. *Journal of Speech and Hearing Research*, 38 : 273-279.

- XUE, S. A., DELIYSKI, D. (2001). Effects of aging on selected acoustic voice parameters: preliminary normative data and Educational implications. *Educational Gerontology*, 27:159–168.
- YU, P. OUAKINE, M., RÉVIS, J., GIOVANNI, A. (2001) Objective voice analysis for dysphonic patients: a multiparametric protocol including acoustic and aerodynamic measurements. *Journal of Voice*, 15:529-542
- YUMOTO, E., GOULD, W., AND BAER, T. (1982). Harmonics-to-noise ratio as an index of the degree of hoarseness. *J. Acoust. Soc. Am.* 71, 1544–1550.