

Mesures de la voix en contexte écologique et techniques de biofeedback

Angélique Remacle, Dominique Morsomme

Résumé

Observer, analyser et améliorer la voix des patients dysphoniques dans leur quotidien relève-t-il encore de l'utopie ? La dosimétrie ou accumulation vocale est une technique visant à quantifier la voix en contexte écologique. Elle a d'abord fait l'apanage des laboratoires de recherche. Ensuite, publication après publication, les chercheurs ont mis en avant ses atouts et ses limites. Les dispositifs se sont modernisés, leur commercialisation a vu le jour il y a une dizaine d'années et leur utilisation est de plus en plus conviviale. Le biofeedback a été intégré à certains dosimètres. Cette option permet d'aller au-delà de la simple récolte d'informations sur l'usage vocal des patients. Elle peut, par exemple, avertir le sujet d'un comportement vocal inadéquat en temps réel, le but étant qu'il acquière le bon geste vocal et l'intègre de manière automatique dans son quotidien. Ces outils participent donc aux quatre étapes de la thérapie, à savoir la conscientisation du dysfonctionnement, l'automatisation du geste vocal adéquat, son transfert, et son maintien dans le temps.

Mots-clés : voix, dosimétrie vocale, évaluation vocale, rééducation vocale, biofeedback, rétroaction biologique.

Ecologically-based voice measures and biofeedback techniques

Abstrat

Is it possible to implement voice monitoring, analysis and rehabilitation in patients' everyday life ? Voice dosimeters or accumulators are portable devices which provide objective data on the use of voice over an entire day of normal activities (i.e. in the field). First, the ambulatory monitoring of voice took place in the domain of occupational vocal health. Then, the devices were improved and became available to clinicians. Voice dosimeters can also help patients become aware of inappropriate vocal behavior and enhance carryover of the therapy goals outside the clinical environment by the use of real-time biofeedback. In patients with voice disorders, voice dosimeters and biofeedback can contribute to the four main steps of voice rehabilitation, i.e. raising awareness of the dysfunction, regularization of the vocal behavior, its transfer into real-life situations, and its maintenance over time.

Key words : voice, voice dosimetry, voice evaluation, voice treatment, biofeedback, retroaction.

Angélique REMACLE

Docteur en sciences psychologiques et de l'éducation
Master en logopédie

Dominique MORSOMME

Docteur en sciences psychologiques : section logopédie
Licence en logopédie

Adresse de correspondance :

Faculté de psychologie, de logopédie et des sciences
de l'éducation

Département de logopédie

Unité Logopédie de la Voix

Rue de l'Aunaie, 30

4000 - Sart Tilman (Liège)

Belgique

Courriel : Angelique.Remacle@ulg.ac.be

◆ Introduction

Evaluer une voix consiste, en quelque sorte, à la cartographier du mieux possible. L'oto-rhino-laryngologue (ORL) ou le phoniatre pose le diagnostic en observant minutieusement le plan glottique et alentours via des techniques spécifiques telles que la vidéo-laryngo-stroboscopie, la nasofibroscopie ou encore la caméra à haute vitesse. L'orthophoniste relève des mesures acoustiques et aérodynamiques via des logiciels d'analyses vocales (mesures objectives). Le patient exprime sa plainte lors de l'anamnèse mais également en répondant à une échelle évaluant son handicap vocal au quotidien. Chaque intervenant apprécie la voix sur le plan perceptif (mesures subjectives). Le projet thérapeutique repose sur l'interprétation des praticiens quant aux données récoltées, le tout en accord avec le patient. Ce profil vocal a fait l'objet d'une recommandation émise par la Société européenne de laryngologie en 2001 (Dejonckere et al.).

Force est de constater que ce bilan vocal, certes complet, n'est jamais qu'une capture obtenue à un moment du temps. Giovanni, Révis et Ghio (2008) ont clairement illustré le propos en comparant le relevé de données vocales à une photo prise dans le temps, l'instant d'après étant susceptible de se modifier consi-

dérablement. Nous faisons tous l'expérience clinique d'un patient qui, à l'issue de sa séance d'orthophonie, a une voix claire et qui trois jours plus tard présente un timbre vocal altéré, n'ayant pu maintenir les acquis de la séance précédente, sans pour autant souffrir d'une laryngite. Après l'avoir interrogé sur les causes éventuelles de sa dysphonie, nous formulons des hypothèses. Nous supposons que ses difficultés vocales peuvent être consécutives à une soirée dans un environnement bruyant, à une discussion musclée, à une journée d'enseignement trop chargée, à un match de rugby endiablé ou encore à ce fameux reflux pharyngo-laryngé. Nous avons peu de certitudes quant au lien causal qui relie l'événement incriminé et la situation vocale. Nous supposons et travaillons à tâtons. La tenue d'un journal reprenant l'évolution de l'état vocal au cours de la semaine est une première tentative pour cerner les périodes où la voix s'enraye. Cependant, le patient au cœur de ses activités remplit le journal de manière parfois imprécise, quand il n'oublie tout simplement pas de se plier à la tâche. Celle-ci peut rapidement devenir contraignante dans une journée bien remplie. C'est là que nous rêvons de suivre le patient dans son quotidien pour comprendre à quel moment et comment son geste vocal dysfonctionne, ou pour identifier une situation de surmenage qu'il n'a pu anticiper malgré nos conseils en cabinet, ou encore pour s'apercevoir que sa physiologie ne lui permet pas de faire face à la performance vocale exigée par sa profession.

Observer l'usage vocal quotidien, seconde après seconde, sur une période prolongée, pourrait-il nous aider à comprendre les mécanismes sous-tendant la dysphonie et surtout à agir adéquatement en ciblant les conseils et exercices susceptibles de l'éradiquer ? Nos travaux de recherche et nos premières expériences cliniques en la matière nous encouragent à y croire et offrent des pistes de réflexion relatives à l'usage de nouvelles techniques dans le domaine de l'évaluation et de la rééducation vocale.

L'objet de cet article est de comprendre ce que peuvent offrir les mesures de la voix en contexte écologique, qu'elles soient réalisées à l'aide d'enregistrements audio ou vidéo, ou encore via des outils spécifiques de quantification de la voix : les dosimètres. Nous présenterons les atouts et les limites de ces instruments et nous étayerons le propos par une littérature scientifique récente. Nous débattons également d'une option offerte par certains dosimètres : le biofeedback. Cette option est loin d'être anecdotique puisqu'elle renvoie une information en temps réel au locuteur, pour lui signaler un comportement vocal inadéquat. Cette forme de reconditionnement du comportement identifié comme nocif pour la voix est-elle concluante ? Dans quel cas ? Sous quelles conditions ? Le biofeedback permet-il au sujet de modifier définitivement son geste vocal ? En d'autres termes, que pouvons-nous espérer concernant le maintien des acquis dans le temps ?

◆ Mesure du comportement phonatoire en contexte écologique

L'enregistrement audio et vidéo

La situation écologique n'existe pas. A partir du moment où nous lançons une opération d'observation *in situ*, le simple fait d'informer le sujet de l'expérience modifie son comportement, de manière consciente ou inconsciente (*effet Hawthorne*). Ce que nous appelons *situation écologique* correspond à une analyse du comportement vocal sur le lieu de vie, lors des activités habituelles du sujet. Il peut s'agir aussi bien de ses activités professionnelles qu'extra-professionnelles (vie privée, loisirs, etc.). Dans le cas d'un enseignant, l'école pourra s'avérer le lieu d'observation privilégié. Si cet enseignant pratique le chant en chœur, la salle dans laquelle il répète constituera un autre lieu d'observation. En sus, nous devons être conscients que toute situation d'observation de la voix aura pour conséquence de renforcer l'attention du patient sur ses productions et d'ainsi contribuer à l'*engrammage* des exercices proposés en séance.

Parmi les outils accessibles à tous pour appréhender la phonation en contexte écologique, nous disposons de l'enregistrement audio, via un enregistreur numérique, ou de l'enregistrement vidéo, via une caméra numérique, ce dernier étant nettement plus riche en informations. Notons que ces fonctionnalités sont maintenant offertes par les smartphones et tablettes. Toutefois, si le choix porte sur l'achat d'une caméra, notamment à des fins de recherche, il faudra privilégier le haut de gamme pour l'acquisition de l'image mais également et surtout pour l'acquisition sonore. L'idéal est de coupler par système infrarouge un micro-cravate à la caméra. L'enregistrement vidéo exigera d'explorer les lieux au préalable, notamment pour déterminer adéquatement l'angle de prise de vue. Une fois l'acquisition des données réalisée, une grille d'analyse aidera l'examineur à cibler les informations pertinentes et à sélectionner les passages utiles à regarder avec le patient. Le but étant d'arriver à modifier rapidement les comportements du patient, la grille d'analyse évitera de visionner des heures d'enregistrement sans savoir exactement où poser son attention. Ainsi, le travail sera prémâché par le clinicien à la lumière de son expertise. S'il décide d'approfondir ses observations en analysant le son via des logiciels spécifiques, il risque d'être confronté à des bruits parasites relatifs à l'acquisition de données en contexte écologique (par exemple le bruit ambiant). Bien qu'ils soient chronophages, l'enregistrement et l'analyse du comportement phonatoire *in situ* valent la peine d'être mis en place : le patient identifiera plus facilement ses gestes et attitudes nocives. Il devrait donc les modifier plus rapidement.

La dosimétrie vocale

Au cours des 20 dernières années, des systèmes ambulatoires de mesure de la phonation ont été mis au point par plusieurs équipes de recherche dans le but d'étudier la voix en situation écologique. Il s'agit des techniques d'accumulation ou de dosimétrie vocale. Le terme *dosimétrie vocale* (mesure de doses vocales)

est utilisé depuis que les problèmes de voix liés à l'usage professionnel sont envisagés comme le résultat de l'exposition à long terme du tissu cordal aux vibrations (Remacle, 2013).

Depuis quelques décennies maintenant, la médecine a recours à des systèmes ambulatoires pour surveiller diverses fonctions vitales comme le rythme cardiaque (le Holter qui enregistre l'électrocardiogramme en continu), la pression artérielle (le MAPA, ou Monitoring Ambulatoire de la Pression Artérielle), ou le reflux gastro-œsophagien (la PH-métrie œsophagienne), pour n'en citer que quelques-uns. La technologie faisant, nous disposons maintenant d'applications téléchargeables sur nos supports électroniques. Les montres et les vêtements intelligents ont également fait leur apparition, ils permettent de quantifier divers paramètres vitaux à l'aide de capteurs sensoriels. Les sportifs sont friands de ce genre de technologies et la recherche propose des dispositifs toujours plus performants et toujours plus miniaturisés. Certains de ces dispositifs sont même programmés pour prévenir une difficulté et envoient à l'individu un message faisant un point sur son état vital, ceci sous forme de vibration, de signal sonore ou encore de sms.

En phoniatry, les systèmes de monitoring ambulatoire sont des avancées de grand intérêt. Ils permettent d'objectiver le comportement phonatoire dans diverses situations écologiques, de quantifier la charge vocale sur une période prolongée, d'établir des normes sur l'utilisation vocale quotidienne propre à diverses professions ou individus, ou encore d'établir des limites de sécurité dans le but d'éviter une surdose vibratoire pouvant engendrer des pathologies vocales (Hillman & Mehta, 2011 ; Remacle, 2013). Bientôt dix ans se sont écoulés depuis la création du premier dosimètre vocal commercialisé par la firme Kay Elemetrics (Montvale, USA). Il s'agit de l'*Ambulatory Phonation Monitor* (APM) qui n'est plus distribué actuellement. Trois ans plus tard, la firme Sonvox (Umeå, Suède) a également commercialisé son système de dosimétrie sous le nom de *VoxLog*. Ensuite, le *VocaLog™* de la firme Griffin Laboratories (Temecula, USA) a fait son apparition. D'autres dosimètres sont propres à des laboratoires de recherche et ne font pas l'objet d'une commercialisation : c'est le cas du *NCVS Voice Dosimeter*, mis au point par le *National Center for Voice and Speech* aux Etats-Unis (Morsomme & Remacle, 2013).

Nous décrivons brièvement ici les deux systèmes que nous utilisons dans le cadre de nos recherches et qui fournissent des informations relatives à la durée de phonation, à l'intensité vocale et à la fréquence fondamentale moyenne. L'APM (voir Figure 1) permet d'extraire ces données via un accéléromètre fixé sur la peau, sous le cartilage thyroïde. Ce capteur est relié à un microprocesseur qui sauvegarde les données tout au long de la journée. Ces données sont ensuite téléchargées sur un ordinateur et analysées à l'aide d'un logiciel prévu à cet effet. Le Voxlog (voir Figure 2), quant à lui, se compose d'un collier comportant d'une part un accéléromètre captant les paramètres de la phonation, et d'autre part un microphone

relevant des mesures de bruit ambiant, le tout connecté à un microprocesseur. La capacité de ce dernier permet de garder en mémoire plus de 10 journées d'enregistrement, contrairement à l'APM qui a une capacité de mémoire d'une journée maximum. A l'inverse des enregistrements audio et vidéo, la dosimétrie vocale assure le respect de la confidentialité puisque la parole n'est pas enregistrée (les paramètres vocaux sont analysés directement et ces analyses sont stockées dans le microprocesseur). En recherche, on peut regretter que ces systèmes fonctionnent à l'instar de *boîtes noires* pour lesquelles les concepteurs fournissent peu d'informations concernant les algorithmes de calcul des paramètres analysés.



Figure 1. Dosimètre vocal [*Ambulatory Phonation Monitor*]



Figure 2. Dosimètre vocal [*Voxlog*]

Suite à l'arrivée de ces dispositifs sur le marché, nous voyons fleurir pléthore d'articles visant à quantifier la charge vocale de professionnels de la voix comme les enseignants, les chanteurs, ou encore les opérateurs en call-center, porteurs ou non de pathologies vocales. Jusqu'à présent, aucun d'entre eux ne fait mention d'une dose vocale à ne pas dépasser ou à considérer comme à risque pour l'individu, au point, par exemple, d'endommager le tissu cordal. En effet, la résistance des plis vocaux soumis à des microtraumatismes répétés reste dépendante de l'individu lui-même et est fonction de facteurs tels que le moment, l'état de santé général, ou encore la génétique.

Tout comme notre montre intelligente peut être programmée pour nous signaler le dépassement du seuil de pulsations cardiaques à la course à pied, les systèmes de dosimétrie vocale peuvent être programmés pour donner des informations sur la voix en temps réel, via ce que l'on nomme le biofeedback.

◆ Le biofeedback en temps réel

Définition et fonctionnement

Le biofeedback se traduit en français par rétrocontrôle ou encore rétroaction biologique. Selon l'Association de Psychologie Appliquée et du Biofeedback (2008), il s'agit d'un retour d'information (feedback) au sujet concernant le fonctionnement de son organisme. La plupart du temps, le fonctionnement de notre corps est un processus inconscient. Le feedback vise à faire prendre conscience à l'individu et à le conduire à modifier une ou plusieurs caractéristiques de son activité physiologique, autrement dit à en prendre le contrôle sur une fonction. Le but étant qu'il améliore son état de santé ou de performance.

En pratique, le biofeedback repose sur l'utilisation d'instruments qui mesurent une activité physiologique et qui renvoient des informations en temps réel à l'utilisateur. Le retour de l'information peut être visuel (par ex. un flash lumineux, un code couleur, une image, un schéma), auditif (par ex. un signal sonore), tactile (sous la forme d'une alerte par vibrations), ou encore une combinaison de ces modalités sensorielles. A terme, l'objectif est d'automatiser le changement apporté tout en se libérant progressivement du biofeedback.

Récemment, un article de Van Stan, Mehta et Hillman (2015) s'est intéressé à la nature de la modification du comportement et à son maintien dans le temps. Il semblerait que les changements s'échelonnent sur un continuum allant du simple changement temporaire (performance) au véritable apprentissage d'un comportement ou d'une fonction. Les auteurs comprennent par *performance* une tâche effectuée correctement avec le feedback ou dans le cadre d'une pratique prolongée de cette tâche, et par *apprentissage* une préservation du comportement en mémoire. L'utilisation du biofeedback dans le domaine de la santé vise à instaurer un

apprentissage dont l'effet se maintient dans le temps, c'est-à-dire la rétention d'une fonction physiologique ou d'un comportement moteur.

Les divers usages du biofeedback dans le domaine de la santé

Dans le domaine médical, l'usage du biofeedback prend de l'ampleur. Il porte sur les fonctions cardiaque et respiratoire, sur la pression artérielle, sur l'activité musculaire, ou encore sur la température de la peau. Des études ont également montré son utilité dans des domaines variés tels que le traitement des céphalées de tension (Nestoriuc, Rief, & Martin, 2008), l'amélioration de l'équilibre chez des patients parkinsoniens (Nanhoe-Mahabier, Allum, Pasma, Overeem, & Bloem, 2012), la réhabilitation de l'équilibre dans le cadre de troubles vestibulaires (Basta et al., 2011 ; Janssen et al., 2012), ou l'évitement des postures favorisant les escarres chez les patients alités (Verbunt & Bartneck, 2010).

En orthophonie, le biofeedback est utilisé pour traiter différents troubles tels que la présence de bruit liée au trachéostome lors de la parole chez des laryngectomisés totaux (Till, England, & Law-Till, 1987), la dysphonie, la surdité, les troubles de la résonance de type hypernasalité (Van Lierde, Claeys, De Bodt, & Van Cauwenberge, 2004), les troubles neurologiques de la parole, les paralysies faciales, les troubles de la fluence, ou encore la dysphagie (Maryn, De Bodt, & Van Cauwenberge, 2006).

Le cas des troubles articulaires a fait l'objet de recherches récentes. En effet, diverses techniques sont développées afin d'informer le patient sur sa position linguale lors de l'articulation, pendant la séance de rééducation. Par exemple, l'électro-palatographe est un palais artificiel moulé selon la morphologie du sujet, dans lequel sont insérées des électrodes (voir Figure 3). Une fois placées en bouche, les électrodes vont fournir des informations sur les points de contacts entre la langue et le palais pendant la production de la parole ou la déglutition. Une autre technique, l'échographie de la langue, rend compte des mouvements linguaux via l'utilisation d'une sonde ultrasonore placée sous la mandibule (voir figure 4). Diverses études ont mis en évidence le bénéfice de ces techniques de biofeedback dans le traitement des troubles articulaires (Cleland, Timmins, Wood, Hardcastle, & Wishart, 2009 ; Preston & Leaman, 2014). Cependant, l'image échographique peut être difficile à interpréter par le sujet en raison de l'absence d'informations sur la cavité buccale (palais, dents,...). Ainsi, des chercheurs ont ajouté des informations sur ces images en animant la langue d'une tête parlante virtuelle à partir des mouvements captés par échographie, à l'aide de la sonde placée sous la mandibule (Fabre, Hueber, & Badin, 2014).

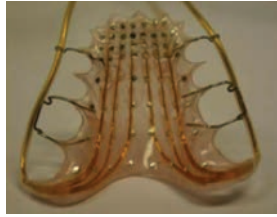


Figure 3. Palais de l'électro-palatographe.
[Source : www.down-syndrome.org/reports/2093]



Figure 4. Visualisation du contour supérieur de la langue à l'aide d'une sonde ultrasonore placée sous la mandibule]

Le biofeedback dans le domaine de la voix

Les progrès technologiques ainsi que la démocratisation du matériel et des logiciels informatiques expliquent l'intérêt grandissant des spécialistes de la voix pour les techniques de biofeedback. La rétroaction sous différentes formes se répand, afin de non seulement prévenir et traiter les troubles de la voix, mais également d'améliorer les performances des sujets non pathologiques, comme les professionnels de la voix. Le biofeedback en temps réel est utilisé soit exclusivement dans le cadre des séances de rééducation, soit lors des activités quotidiennes du sujet. Peu de travaux scientifiques débattent de l'efficacité de ces techniques, et ce particulièrement dans le cadre du traitement orthophonique. Comme le soulignent Maryn et collaborateurs (2006), les futures études doivent être randomisées (avec répartition aléatoire des participants dans les groupes contrôle et expérimental). Elles doivent reposer sur une méthodologie robuste, incluant des mesures vocales objectives et subjectives.

Lorsque la consultation phoniatrique et le bilan orthophonique détectent un comportement erroné (malmenage et/ou surmenage vocal), la prise en charge rééducative consiste à aider le patient à apprendre, ou réapprendre, les gestes vocaux adéquats. Diverses méthodes de rééducation sont décrites dans la littérature, incluant les techniques directes et indirectes (Van Stan, Roy, Awan, Stemple, & Hillman, 2015). Un traitement est considéré comme opérant lorsque les symptômes vocaux ont disparu et que le patient produit une voix confortable et efficace en séances comme lors de ses activités quotidiennes. Le thérapeute et le patient doivent relever quatre défis. Le premier se concentre sur la *conscientisation* du comportement vocal à modifier, le second porte sur l'*automatisation* d'un geste vocal plus efficace, le troisième agit sur le *transfert* du comportement vocal requis dans le quotidien, et le dernier défi est le *maintien* du changement à long terme.

Le biofeedback, bien qu'encore peu exploré en matière d'efficacité thérapeutique, est prometteur. Son utilisation en contexte écologique devrait répondre aux grands défis de la thérapie à savoir : la conscientisation des comportements vocaux à risque, mais aussi l'automatisation des comportements vocaux adéquats, leur transfert et leur maintien. Afin de rendre compte des utilisations possibles du rétrocontrôle dans la pratique clinique, nous proposons une synthèse des résultats de recherches évaluant l'impact du biofeedback sur le comportement moteur vocal.

Le biofeedback dans le contexte des séances de rééducation ou en milieu hospitalier

Lors de l'examen ORL ou phoniatrique, le patient reçoit un feedback visuel des mouvements glottiques après son examen laryngé (Voir Figure 5). C'est bien souvent une première prise de conscience qui, pour certaines pathologies, apporte une aide précieuse au traitement. Prenons l'exemple de la dysphonie fonctionnelle, trouble pour lequel il est intéressant de montrer les déséquilibres de tension musculaire intralaryngée, afin d'aider le patient à comprendre sa dysphonie et de lui donner des indications quant aux modifications que l'on cherche à apporter en thérapie vocale. Visualiser le plan glottique dans le cadre d'une aphonie psychogène peut aider le patient à accepter le diagnostic, tout en prenant conscience de l'absence de lésion organique à l'origine de son problème. En thérapie vocale, des études ont également objectivé l'apport du biofeedback visuel laryngoscopique, permettant une prise de conscience de l'anatomo-physiologie, une aide au contrôle de la fonction laryngée et une amélioration de la qualité vocale (Bastian & Nagorsky, 1987 ; Van Lierde et al., 2004).



Figure 5. Le patient reçoit un feedback visuel des mouvements glottiques après l'examen vidéo-laryngoscopique sous épipharyngoscopie

Dans une revue de la littérature, Maryn, De Bodt & Van Cauwenberge (2006) ont répertorié les travaux évaluant l'impact du biofeedback provenant d'un signal électromyographique. L'électromyographie (EMG) est une technique médicale qui enregistre le courant électrique accompagnant l'activité musculaire à l'aide d'électrodes. Dans le cas de l'EMG laryngée, l'activité des muscles laryngés est mesurée à l'aide d'une électrode transcutanée traversant la membrane crico-thyroïdienne, après une anesthésie cutanée. Ainsi, des études ont démontré qu'un feedback visuel (tracé EMG ou signal lumineux activé lorsque la tension musculaire recherchée est atteinte) et un feedback auditif (signal sonore) aident à diminuer la tension des muscles laryngés et, dans certains cas, améliorent la qualité vocale (Allen, 2007 ; Allen, Bernstein, & Chait, 1991 ; Andrews, Warner, & Stewart, 1986 ; Prosek, Montgomery, Walden, & Schwartz, 1978). D'autres travaux ont démontré l'efficacité d'un biofeedback EMG pour réduire le serrage du système manducateur (Watanabe, Kanemura, Tanabe, & Fujisawa, 2011).

Parmi les techniques de biofeedback exploitables, citons l'électroglottographie (EGG). Basée sur la mesure de l'impédance électrique entre deux électrodes placées de part et d'autre du larynx, l'EGG rend compte des mouvements d'ouverture et de fermeture glottique. Elle permet d'appréhender le contact des plis vocaux, variant selon le registre, la fréquence et l'intensité de la voix. Ainsi, l'*EGG waveform* (Herbst, Fitch, & Švec, 2010) est une méthode potentielle de biofeedback. Suite à la production vocale, un retour visuel sous forme d'image montre l'évolution du signal EGG au cours du temps et permet d'analyser les mouvements des plis vocaux de manière non invasive.

Les firmes qui produisent et commercialisent des logiciels d'analyse vocale ont rapidement compris l'intérêt d'inclure des modules permettant d'informer le sujet sur son utilisation vocale en temps réel, dans le but de l'amener à modifier son comportement. Les premiers biofeedback utilisés dans le domaine de la rééducation vocale sont d'abord visuels et non transportables. Nous listons ici quelques programmes informatiques qui disposent d'un système de biofeedback.

Dr. Speech 5 est commercialisé par la firme Tiger-electronics. Il est composé de plusieurs programmes dont Real analysis, Speech therapy, Nasal view, Voice office, Speech training, Vocal assessment, Scope view, Phonetogram, Electroglottograph, Pitch Master. Tous ces modules sont concernés par le biofeedback puisqu'ils renvoient une représentation visuelle de la voix sous différentes formes, qu'elles soient spectrographique, phonétographique, électroglottographique ou encore vidéo-laryngo-stroboscopique. Deux programmes d'entraînement sont destinés l'un aux enfants et l'autre aux professionnels de la voix.

Le *Computerized Speech Lab* de Kay Elemetrics comporte également plusieurs programmes d'analyse vocale comme le Multi Dimensional Voice Program, le Voice Range Profile, le Motor Speech Profile, le Real-Time EGG Analysis, le Real-Time Pitch, le Real-Time Spectrogram, et le Sona-Match. Ces programmes offrent la possibilité de visualiser des paramètres tels que la fréquence fondamentale, le niveau de pression sonore, ou encore l'irrégularité des productions vocales. Plus spécifiquement, la firme Kay Elemetrics a élaboré un logiciel destiné aux thérapeutes et à leurs patients. Différents modules sont proposés sous le générique *Educational Software for Teaching Applications* et s'adressent, par exemple, aux patients souffrant de troubles de la voix, de la résonance, de la prosodie, de la respiration ou encore de l'articulation.

La station *EVA (Evaluation Vocale Assistée)* de SQLab est née de la collaboration entre le Laboratoire Parole et Langage d'Aix-en-Provence et le Service ORL de l'hôpital universitaire La Timone de Marseille. Ce dispositif concerne principalement l'analyse vocale et fournit des mesures acoustiques et aérodynamiques, dont les représentations peuvent servir de feedback aux patients. Les concepteurs ont construit une version acoustique d'*EVA2*, nommée *Diana (Dispositif Informatisé d'ANalyse Acoustique)*. Cette dernière s'adresse aux orthophonistes travaillant en libéral et leur permet de réaliser des bilans vocaux.

Cependant, il faut savoir que les dispositifs précités sont produits par des laboratoires de recherche. Ils se veulent avant tout des outils destinés au monde scientifique. Ils ont l'avantage d'offrir un haut degré de fiabilité, mais ils sont parfois moins conviviaux et moins intuitifs. En matière de biofeedback, il sera toujours nécessaire pour le patient d'être accompagné dans l'interprétation des données. C'est moins le cas pour les deux logiciels suivants. En effet, le *Speech Viewer 3* d'IBM a été conçu pour les orthophonistes dans le but de leur fournir des

exercices informatisés pour la prise en charge des troubles de la voix, de la parole et de l'articulation. Le biofeedback est ici à la fois visuel et auditif. Le logiciel *Vocalab* de GERIP se veut d'emblée didactique. Outre son volet d'analyse acoustique de la voix comprenant le spectre en temps réel, le phonétogramme, le temps maximum phonatoire, la fréquence fondamentale et l'étendue vocale qui participent à l'édition du bilan de la voix, un deuxième volet est consacré à la prise en charge des troubles de la voix, de l'articulation, des retards de parole et de la perception. Un troisième volet compile des échantillons illustrant des voix pathologiques et non pathologiques. Enfin, le *Visi Pitch IV* de Kay Pentax offre également la possibilité de visualiser différents paramètres vocaux en temps réel. C'est le principal instrument des orthophonistes américains dans la rééducation de jeunes patients dysphoniques.

Le biofeedback en contexte écologique

Les dosimètres comme l'APM, le Voxlog et le VocaLog disposent tous trois d'une option de biofeedback, portant sur la fréquence et le niveau de pression sonore de la voix pour les 2 premiers, et uniquement sur le niveau de pression sonore pour le troisième.

Les premiers travaux sur l'impact du biofeedback en contexte écologique datent de plus de 40 ans. Initialement, le paramètre vocal ciblé était le niveau de pression sonore. Ainsi, Holbrook, Rolnick et Bailey (1974) ont tenté de réduire l'intensité vocale de patients souffrant de dysphonie hyperfonctionnelle et de lésions des plis vocaux à l'aide d'une rétroaction auditive. Un an plus tard, Brody, Nelson et Brody (1975) ont essayé d'augmenter l'intensité vocale de patients déficients mentaux souffrant de dysphonie hypofonctionnelle à l'aide d'un feedback visuel. Et en 1994, une étude de cas expérimentait l'apport du biofeedback auditif chez un enfant porteur de nodules vocaux en diminuant l'intensité vocale (McGillivray, Proctor-Williams, & McLister).

En 2012, Schneider-Stickler, Knell, Aichstill, & Jocher ont utilisé le logiciel *VidiVoice* afin de prévenir les troubles de la voix chez des agents travaillant dans un call-center. Ce logiciel informait le locuteur en temps réel sur sa fréquence fondamentale, son niveau de pression sonore et son débit de parole (nombre de syllabes par minute). Durant leurs conversations téléphoniques, les agents call-center visualisaient en temps réel sur leur écran les 3 paramètres en question. Un sommaire s'affichait également à différents moments de la journée. Après quatre semaines de feedback, les locuteurs qui présentaient une fatigue vocale ont montré une amélioration significative de leurs performances vocales. Au vu des résultats, les auteurs ont conclu que le biofeedback était un moyen efficace et relativement peu coûteux pour prévenir et améliorer les troubles vocaux des agents call-center. Ils stipulent qu'en complément du biofeedback, des conseils sur l'utilisation vocale sont souhaitables.

Plus récemment, Schalling, Gustafsson, Bulukin, Södersten, & Ternström (2013) ont étudié l'impact d'un biofeedback vibrotactile chez 6 patients parkinsoniens souffrant d'une diminution du niveau de pression sonore de la voix. Pour rappel, les patients atteints de la maladie de Parkinson présentent comme caractéristique vocale une faiblesse de leur niveau de pression sonore. Une méthode de rééducation américaine basée principalement sur l'entraînement de la production sonore à minimum 75 dB leur a d'ailleurs été dédiée : il s'agit de la méthode *L.S.V.T* ou *Lee Silverman Voice Treatment*. Dans le cas de cette étude, le biofeedback était activé durant les activités quotidiennes lorsque le niveau de pression sonore des patients était insuffisant. Les résultats ont montré que les patients augmentaient significativement leur niveau de pression sonore de 1,5 dB lorsque le feedback était activé (performance). Malheureusement, une fois le biofeedback supprimé, l'effet ne perdurait pas. En d'autres termes, il n'y a pas de maintien du comportement moteur vocal lorsque le biofeedback n'est plus utilisé. Suite à ce constat, Van Stan, Mehta & Hillman (2015) ont proposé une étude de validation afin de déterminer l'effet du biofeedback vibratoire pour diminuer le niveau de pression sonore chez 6 sujets normophoniques. Un autre objectif était d'évaluer le maintien du changement vocal lorsque le biofeedback était enlevé. Les résultats ont montré que les locuteurs réduisaient significativement leur niveau de pression sonore de 4,4 dB lorsque le feedback était activé (performance). Ainsi, le feedback vibrotactile serait un moyen efficace pour modifier le comportement vocal en situation écologique. Cependant, comme dans l'étude de Schalling et collaborateurs (2013), le feedback ne permettrait pas la rétention du comportement moteur vocal recherché. Une fois le biofeedback désactivé, les participants ont utilisé le même niveau de pression sonore qu'avant l'expérience, montrant ainsi que l'effet ne perdure pas. Suite à ces travaux préliminaires, d'autres recherches s'avèrent nécessaires afin de déterminer comment prolonger l'effet du biofeedback et obtenir une rétention du comportement moteur appris. Les données actuelles n'informent donc pas clairement les cliniciens quant à la manière d'utiliser le biofeedback en rééducation vocale. En se basant sur les théories relatives aux apprentissages moteurs, les futures études auront pour objectif d'établir quatre lignes directrices pour un usage adéquat du biofeedback.

La première ligne directrice concerne le seuil d'activation du feedback. Il s'agira de déterminer le moment à partir duquel le patient recevra une rétroaction sur son comportement vocal. Le feedback sera donné soit de manière systématique lorsque le comportement est inadéquat (ex. à chaque fois que le patient parle trop fort), soit lorsque le comportement inadéquat est répété (ex. si le patient parle trop fort à plusieurs reprises sur un laps de temps déterminé), ou encore lorsqu'il est prolongé dans le temps (ex. si le patient parle trop fort pendant plus de 3 secondes).

La deuxième ligne directrice vise à fixer le moment adéquat et la durée d'utilisation optimale du biofeedback. En effet, plusieurs options sont possibles : soit la rétroaction en contexte écologique sera utilisée parallèlement à la rééducation

orthophonique, soit elle sera mise en place après le traitement orthophonique. Sa durée d'utilisation sera établie en fonction du meilleur degré de rétention du comportement moteur appris. Le patient pourra utiliser le feedback en continu ou à certains moments de la journée, ou encore dans certains contextes particuliers. L'essentiel sera de déterminer l'utilisation la plus pertinente.

La troisième ligne directrice porte sur la manière de mettre fin au biofeedback et d'autonomiser le patient. L'usage dégressif semble pertinent, sachant que pour obtenir un effet à long terme, Weeks et Kordus (1998) recommandent une fréquence de feedback plus faible ou encore dégressive. Ils suggèrent également que la rétroaction ne soit pas immédiate, mais plutôt retardée. En d'autres termes, si le patient dépasse le niveau de pression sonore préalablement fixé (par exemple 80 dB), le biofeedback ne s'activera pas immédiatement. En effet, il sera retardé de quelques secondes de manière à ce que le patient, déjà sensibilisé par sa tendance à parler plus fort, ait le temps de s'en souvenir et puisse spontanément corriger sa production trop forte. S'il n'est pas attentif, le signal retardé lui rappellera la consigne. D'après Schmidt et White (1972) (cités par Weeks & Kordus), le sujet qui reçoit 100 % de feedback n'apprend pas à identifier lui-même les comportements à corriger. Pour incrémenter une modification permanente du comportement, le sujet bénéficiera d'un feedback qui s'estompera progressivement. Cette manière de procéder favorisera l'autonomie du sujet.

La quatrième et dernière ligne directrice orientera le biofeedback, qui sera soit positif afin de renforcer les comportements adéquats, soit négatif afin d'alerter en cas de comportement inadéquat.

◆ Conclusions

Qu'il s'agisse de la dosimétrie, du biofeedback ou des logiciels destinés à l'évaluation et à la rééducation, l'orthophoniste voit sa palette d'outils s'élargir considérablement. Ces nouvelles technologies sont prometteuses dans le cadre du diagnostic comme dans celui du traitement des troubles vocaux, et représentent un complément aux techniques classiques. Leur coût reste dans certains cas relativement élevé, permettant parfois leur acquisition uniquement dans le cadre de la recherche par des laboratoires ou des centres hospitaliers. La tendance est néanmoins à la démocratisation et aux stratégies d'achats groupés.

La littérature existante démontre l'utilité du biofeedback dans le traitement des troubles de la voix. Cependant, des études complémentaires s'appuyant sur la pratique basée sur la preuve (*evidence-based practice*) sont nécessaires afin d'évaluer son efficacité thérapeutique à long terme et de donner des lignes de conduite quant à la manière de l'utiliser dans la pratique clinique en orthophonie.

Avec la dosimétrie et le biofeedback, le diagnostic et la rééducation de la voix prennent place en dehors du cabinet de l'orthophoniste. Le patient, concerné par sa dysphonie, participe activement à sa réhabilitation vocale et ce pour un bénéfice souhaité toujours pérenne.

RÉFÉRENCES

- ALLEN, K. D. (2007). EMG biofeedback treatment of dysphonias and related voice disorders. *The Journal of Speech and Language Pathology – Applied Behavior Analysis*, 2(2), 149-157.
- ALLEN, K. D., BERNSTEIN, B., & CHAIT, D. H. (1991). EMG biofeedback treatment of pediatric hyperfunctional dysphonia. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 22(2), 97-101. doi : 10.1016/0005-7916(91)90004-O
- ANDREWS, S., WARNER, J., & STEWART, R. (1986). EMG biofeedback and relaxation in the treatment of hyperfunctional dysphonia. *British Journal of Disorders of Communication*, 21(3), 353-369.
- Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback. (2008). Retrieved from <http://www.aapb.org>
- BASTA, D., ROSSI-IZQUIERDO, M., SOTO-VARELA, A., GRETERS, M. E., BITTAR, R. S., STEINHAGEN-THIESSEN, E., ERNST, A. (2011). Efficacy of a vibrotactile neurofeedback training in stance and gait conditions for the treatment of balance deficits : A double-blind, placebo-controlled multicenter study. *Otology and Neurotology*, 32(9), 1492-1499. doi : 10.1097/MAO.0b013e31823827ec
- BASTIAN, R. W., & NAGORSKY, M. J. (1987). Laryngeal image biofeedback. *Laryngoscope*, 97(11), 1346-1349.
- BRODY, D. M., NELSON, B. A., & BRODY, J. F. (1975). The use of visual feedback in establishing normal vocal intensity in two mildly retarded adults. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 40(4), 502-507.
- CLELAND, J., TIMMINS, C., WOOD, S. E., HARDCASTLE, W. J., & WISHART, J. G. (2009). Electropalatographic therapy for children and young people with Down's syndrome EPG therapy in Down's syndrome. *Clinical Linguistics and Phonetics*, 23(12), 926-939. doi : 10.3109/02699200903061776
- DEJONCKERE, P. H., BRADLEY, P., CLEMENTE, P., CORNUT, G., CREVIER-BUCHMAN, L., FRIEDRICH, G., WOISARD, V. (2001). A basic protocol for functional assessment of voice pathology, especially for investigating the efficacy of (phonosurgical) treatments and evaluating new assessment techniques. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 258(2), 77-82.
- FABRE, D., HUEBER, T., & BADIN, P. (2014). *Automatic animation of an articulatory tongue model from ultrasound images using Gaussian Mixture Regression*. Paper presented at the Annual Conference of the International Speech Communication Association, INTERSPEECH.
- GIOVANNI, A., RÉVIS, J., & GHIO, A. (2008). *La phoniatry face aux méthodes d'évaluation de la qualité vocale*. Communication orale présentée au 64^e Congrès de la Société Française de Phoniatry et des Pathologies de la Communication, Paris, France.
- HERBST, C. T., FITCH, W. T. S., & ŠVEC, J. G. (2010). Electroglottographic wavegrams : A technique for visualizing vocal fold dynamics noninvasively. *Journal of the Acoustical Society of America*, 128(5), 3070-3078. doi : 10.1121/1.3493423
- HILLMAN, R. E., & MEHTA, D. D. (2011). Ambulatory monitoring of daily voice use. *Perspectives on Voice and Voice Disorders*, 21(2), 56-61.
- HOLBROOK, A., ROLNICK, M. I., & BAILEY, C. W. (1974). Treatment of vocal abuse disorders using a vocal intensity controller. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 39(3), 298-303.
- JANSSEN, M., PAS, R., AARTS, J., JANSSEN-POTTEN, Y., VLES, H., NABUURS, C., KINGMA, H. (2012). Clinical observational gait analysis to evaluate improvement of balance during gait with vibrotactile biofeedback. *Physiotherapy Research International*, 17(1), 4-11. doi : 10.1002/pri.504

- MARYN, Y., De BODT, M., & Van CAUWENBERGE, P. (2006). Effects of biofeedback in phonatory disorders and phonatory performance : A systematic literature review. *Applied Psychophysiology Biofeedback*, 31 (1), 65-83. doi : 10.1007/s10484-006-9005-7
- McGILLIVRAY, R., PROCTOR-WILLIAMS, K., & McLISTER, B. (1994). Simple biofeedback device to reduce excessive vocal intensity. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 32(3), 348-350. doi : 10.1007/BF02512536
- MORSOMME, D., & REMACLE, A. (2013). La charge vocale. *Rééducation Orthophonique*, 254, 85-102.
- NANHOE-MAHABIER, W., ALLUM, J. H., PASMEN, E. P., OVEREEM, S., & BLOEM, B. R. (2012). The effects of vibrotactile biofeedback training on trunk sway in Parkinson's disease patients. *Parkinsonism and Related Disorders*, 18(9), 1017-1021. doi : 10.1016/j.parkreldis.2012.05.018
- NESTORIUC, Y., RIEF, W., & MARTIN, A. (2008). Meta-analysis of biofeedback for tension-type headache : Efficacy, specificity, and treatment moderators. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 76(3), 379-396. doi : 10.1037/0022-006X.76.3.379
- PRESTON, J. L., & LEAMAN, M. (2014). Ultrasound visual feedback for acquired apraxia of speech : A case report. *Aphasiology*, 28(3), 278-295. doi : 10.1080/02687038.2013.852901
- PROSEK, R. A., MONTGOMERY, A. A., WALDEN, B. E., & SCHWARTZ, D. M. (1978). EMG biofeedback in the treatment of hyperfunctional voice disorders. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 43(3), 282-294.
- REMACLE, A. (2013). *La charge vocale : De sa quantification à l'étude de son impact sur la fonction phonatoire et sur la qualité vocale*. (Thèse de Doctorat en sciences psychologiques non publiée), Université de Liège, Liège, Belgique.
- SCHALLING, E., GUSTAFSSON, J., TERNSTRÖM, S., BULUKIN WILÉN, F., & SÖDERSTEN, M. (2013). Effects of tactile biofeedback by a portable voice accumulator on voice sound level in speakers with Parkinson's disease. *Journal of Voice*, 27(6), 729-737. doi : 10.1016/j.jvoice.2013.04.014
- SCHNEIDER-STICKLER, B., KNELL, C., AICHSTILL, B., & JOCHER, W. (2012). Biofeedback on voice use in call center agents in order to prevent occupational voice disorders. *J Voice*, 26(1), 51-62. doi : 10.1016/j.jvoice.2010.10.001
- TILL, J. A., ENGLAND, K. E., & LAW-TILL, C. B. (1987). Effects of auditory feedback and phonetic context on stomal noise in laryngectomized speakers. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 52(3), 243-250.
- Van LIERDE, K. M., CLAEYS, S., De BODT, M., & Van CAUWENBERGE, P. (2004). Outcome of laryngeal and velopharyngeal biofeedback treatment in children and young adults : A pilot study. *Journal of Voice*, 18(1), 97-106. doi : 10.1016/j.jvoice.2002.09.001
- Van STAN, J. H., MEHTA, D. D., & HILLMAN, R. E. (2015). The effect of voice ambulatory biofeedback on the daily performance and retention of a modified vocal motor behavior in participants with normal voices. *Journal of Speech Language and Hearing Research*, 58(3), 713-721. doi : 10.1044/2015_JSLHR-S-14-0159
- Van STAN, J. H., ROY, N., AWAN, S., STEMPEL, J., & HILLMAN, R. E. (2015). A taxonomy of voice therapy. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 24(2), 101-125. doi : 10.1044/2015_AJSLP-14-0030
- VERBUNT, M., & BARTNECK, C. (2010). Sensing senses : Tactile feedback for the prevention of decubitus ulcers. *Applied Psychophysiology Biofeedback*, 35(3), 243-250. doi : 10.1007/s10484-009-9124-z
- WATANABE, A., KANEMURA, K., TANABE, N., & FUJISAWA, M. (2011). Effect of electromyogram biofeedback on daytime clenching behavior in subjects with masticatory muscle pain. *Journal of Prosthodontic Research*, 55(2), 75-81. doi : 10.1016/j.jpjor.2010.09.003
- WEEKS, D. L., & KORDUS, R. N. (1998). Relative frequency of knowledge of performance and motor skill learning. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 69(3), 224-230