

ANGÉLIQUE REMACLE
DOCTEUR EN SCIENCES PSYCHOLOGIQUES
ET DE L'ÉDUCATION – MASTER EN LOGOPÉDIE

LOUBNA BOUGHABI
MASTER EN LOGOPÉDIE

DOMINIQUE MORSOMME
DOCTEUR EN SCIENCES PSYCHOLOGIQUES :
SECTION LOGOPÉDIE – LICENCE EN LOGOPÉDIE

ADRESSE DE CORRESPONDANCE : ANGÉLIQUE REMACLE
FACULTÉ DE PSYCHOLOGIE – LOGOPÉDIE ET SCIENCES DE L'ÉDUCATION
DÉPARTEMENT DE LOGOPÉDIE – UNITÉ LOGOPÉDIE DE LA VOIX
RUE DE L'AUNAIE, 30 – 4000 - SART TILMAN (LIÈGE) – BELGIQUE
angelique.remacle@ulg.ac.be



L'apport du biofeedback dans le traitement des troubles de la voix

The Contribution of Biofeedback to the Treatment of Voice Disorders

Résumé

Depuis peu, le monitoring de la voix du patient en dehors du cabinet de l'orthophoniste est possible grâce à un outil transportable et simple d'usage : le dosimètre vocal. Cet outil permet de mesurer la fréquence et le niveau de pression acoustique de la voix, ainsi que la durée de phonation au cours d'une journée complète d'activités quotidiennes. Outre l'accumulation de la voix en contexte écologique, le dosimètre utilisé dans cette étude (VoxLog, Sonvox) permet également de donner un feedback au patient sur son utilisation vocale. En pratique, le clinicien configure l'appareil de sorte qu'il fournisse un signal vibratoire en temps réel lorsque le patient parle en deçà ou au-delà d'un seuil de fréquence ou de pression acoustique prédéterminé. Ainsi, le feedback vise à conscientiser un comportement vocal inadéquat et à conduire l'individu à le modifier.

Dans cette étude de cas, nous utilisons le biofeedback dans le but de réduire le niveau de pression acoustique d'une enseignante souffrant de nodules vocaux. Notre

objectif est de déterminer si un biofeedback vibrotactile appliqué en contexte écologique pendant une durée de 3 semaines consécutives permet de réduire les excès de pression acoustique de l'enseignante. Ainsi, en s'activant à chaque fois qu'elle parle trop fort, le feedback a pour but d'éviter le surmenage vocal et de l'aider à (ré)apprendre un comportement vocal sain. Les résultats de cette étude préliminaire sont encourageants quant à l'apport du biofeedback dans le traitement du surmenage vocal. Cependant, une réflexion reste à mener quant à la manière d'implémenter cet outil dans la prise en charge orthophonique. De plus, une validation de la méthode par des études randomisées sur un plus large échantillon est souhaitable.



Rééducation vocale – Dosimétrie vocale – Accumulation vocale –
Rétroaction biologique – Surmenage vocal – Intensité vocale



Abstract

It has recently become possible to monitor patients' voices outside the speech therapist's office with a portable, easy-to-use tool: the voice dosimeter. This tool measures voice frequency and sound pressure level, as well as the duration of phonation, during a full day of regular activities. In addition to voice accumulation in an ecological context, the dosimeter used in this study (VoxLog, Sonvox) gives patients feedback on their voice use. In practice, the clinician configures the device so that it provides a vibratory signal in real time when the patient speaks above or below a predetermined frequency or sound pressure threshold. The feedback is intended to make patients aware of inappropriate vocal behavior and encourage them to change it.

In this case study, we used biofeedback with the aim of reducing sound pressure level for a teacher suffering from vocal fold nodules. Our goal was to determine whether vibrotactile biofeedback applied in an ecological context for three consecutive weeks could reduce excess sound pressure. The feedback was activated every time the teacher spoke too loudly; its purpose was to help her avoid vocal abuse and (re)learn healthy vocal behaviors. This preliminary study generated encouraging results regarding the use of biofeedback in voice treatment. Nevertheless, it is important to investigate how this tool can best be implemented for patient management in speech language pathology. In addition, the method should be validated with randomized studies using a larger sample.



Voice therapy – Voice dosimetry – Voice accumulator –
Biofeedback – Vocal abuse – Voice intensity

A – La thérapie vocale: état de l’art

La prise en charge des troubles de la voix fait l’objet de nombreux ouvrages décrivant diverses techniques de rééducation. La plupart s’organisent en fonction du rétablissement des fonctions respiratoire, vibratoire et résonnante. Les exercices proposés s’inspirent du monde de la pédagogie chantée ou encore d’expériences propres aux spécialistes. Les exercices d’entraînement se pratiquent en séance, sous le contrôle du thérapeute. Pour faciliter l’adoption du geste dans le quotidien du patient, le thérapeute suggère une série d’exercices à pratiquer à domicile. Il prodigue également des conseils à mettre en place lors des situations exigeantes sur le plan vocal. Ces techniques restent peu éprouvées scientifiquement. Intuitivement, nous savons que cela fonctionne dans tels ou tels types de pathologies car le patient évolue positivement. Nous savons également que les traitements portent d’autant plus leurs fruits lorsque les patients sont motivés et qu’ils s’entraînent régulièrement en dehors des séances de rééducation. Généralement, ces mêmes patients poseront toutes les questions utiles et nécessaires pour s’assurer que leur pratique est adéquate.

La littérature anglo-saxonne rapporte différents traitements dont l’efficacité thérapeutique est étudiée. C’est le cas des méthodes comme le *Lee Silverman Voice Treatment*, le *Vocal Function Exercises*, la *Manual Circumalaryngeal Therapy*, la *Laryngeal Manual Therapy*, la *Resonant Voice Therapy*, l’*Accent Method*, la *Confidential Voice Therapy*, ou encore la *Semi-occluded vocal tract phonation*, correspondant à la technique de la paille mise au point par Benoit Amy de la Bretèche (2014). Cependant, dans le domaine de la thérapie vocale, les chercheurs éprouvent des difficultés à élaborer des designs qui répondent aux principes de la médecine fondée sur les preuves (*Evidence-Based Medicine*), soit l’étude d’une thérapie spécifique appliquée à une pathologie précise dans une situation expérimentale très contrôlée. La méthode *Lee Silverman Voice Treatment* respecte la pratique fondée sur les preuves (*Evidence-Based Practice*), elle fait d’ailleurs partie de la base Cochrane.

Force est de constater que si les articles scientifiques abordent une technique en particulier, les auteurs en développent généralement peu le contenu et le déroulement d’une séance à l’autre. Et

pourtant, cette question du contenu s'avère centrale. Jusqu'à ce jour, dans le domaine de la voix, nous ne disposons pas réellement de modèles ou encore d'une terminologie unique qui nous permettent de partager clairement le canevas d'une prise en charge type. De plus, les terminologies utilisées ne recouvrent bien souvent pas une même réalité perceptive pour tous.

Récemment, Van Stan, Roy *et al.* (2015) ont présenté une taxonomie basée sur une revue des différentes thérapies vocales proposées en clinique aux patients dysphoniques. Leurs objectifs sont multiples et répondent en partie au problème de l'étude de l'efficacité des thérapies vocales. Cette taxonomie vise à clarifier le contenu des méthodes de rééducation, et à les classer par fonction et intérêts. Ainsi, les outils et méthodes de prise en charge sont répartis en trois principales catégories : les méthodes directes, les méthodes indirectes et une combinaison des deux.

Les méthodes directes font référence aux outils de rééducation qui modifient le comportement vocal via l'exécution motrice, le feedback somatosensoriel et le feedback auditif (Van Stan, Roy *et al.*, 2015). Selon le sous-système adressé pendant la pratique de l'exercice, ces méthodes sont réparties en 5 catégories : les méthodes respiratoires, les méthodes adressant la fonction vocale, les méthodes somatosensorielles, les méthodes auditives et les méthodes musculosquelettiques. En pratique, les exercices proposés pour travailler la soufflerie reposent sur le soutien costo-diaphragmatique et l'ajustement de la pression sous-glottique, il s'agit de travailler la fonction respiratoire. Pour ne citer qu'une méthode, celle de la paille (Amy de La Bretèque, 2014) rencontre un vif succès. Les exercices qui se concentrent sur l'initiation d'une vibration souple et l'éradication des coups de glotte concernent la fonction vocale. Le placement de la voix dans les résonateurs (accord phono-résonantiel) via la perception des sensations vibratoires dans le haut du visage exerce le système somatosensoriel. Le travail de la perception fait référence aux méthodes auditives, il s'agit pour le patient de contrôler à l'oreille sa propre production et de réaliser les ajustements nécessaires pour une production saine. Et enfin, le travail de l'équilibre postural qui dépend de la juste tension concerne le système musculosquelettique.

Les méthodes indirectes font référence aux outils qui agissent sur les facteurs cognitifs, comportementaux, psychologiques ainsi que

sur l'environnement dans lequel la voix est produite (Van Stan, Roy, *et al.*, 2015). Ces outils peuvent être pédagogiques (p. ex. règles d'hygiène vocale) ou d'ordre psychologique (p. ex. stratégies de coping, gestion du stress).

B – Le biofeedback : un nouvel outil thérapeutique

Avec l'avènement de la technologie, nous sommes invités à introduire dans nos plans thérapeutiques d'autres moyens comme le micro amplificateur qui permet de réduire la charge vocale (Morsomme & Remacle, 2013). Les cliniciens les plus chanceux pourront équiper le patient d'un dosimètre pour, dans un premier temps, quantifier sa voix et dans un second temps contrôler un paramètre précis en temps réel (Remacle & Morsomme, 2015).

Depuis environ 10 ans, le biofeedback est un outil particulièrement étudié dans la prise en charge des patients. Cette technique est déjà très utilisée dans les domaines médicaux et paramédicaux. Basé sur le principe du conditionnement opérant (Thorndike & Skinner), le biofeedback est un retour d'information concernant le fonctionnement de l'organisme (Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback, 2008). Son but est d'amener le sujet à conscientiser un comportement corporel précis et à le modifier afin d'améliorer son état de santé ou de performance.

Dans le cas de la voix, le principe consiste à enregistrer les paramètres acoustiques résultant de la production vocale captée via un dispositif porté par le patient pendant un temps déterminé. Ce même outil analyse et vérifie que le sujet respecte les limites de la programmation définie au préalable. Si la limite est dépassée, un message, sous forme de vibration, est envoyé au patient. Ce signal l'informe de son utilisation vocale, par exemple, en termes de fréquences trop élevées ou trop basses ou encore de niveaux de pression acoustique trop importants ou pas assez en fonction de l'objectif de la thérapie. Le biofeedback incite donc à un changement de comportement. Durant le feedback, le changement est temporaire, on parle alors de performance. Ensuite une fois la pratique du feedback prolongée et le passage dans la vie quotidienne effectif, on parle de transfert. Et enfin, lorsque le changement est prolongé et mémorisé, on parle d'apprentissage. Ce dernier étant l'objectif de toute prise en charge.

Le laps de temps entre la performance et un réel apprentissage est difficile à déterminer. Certains auteurs parlent d'une semaine après le dernier jour d'entraînement (Ma, Yiu, & Yiu, 2013), tandis que d'autres s'expriment en semaines (Rodriguez-Parra, Adrian, & Casado, 2011), voire en années (Hancock & Craig, 2002, cités par Puckhaber, 2007). Quant aux modalités requises, des auteurs ont établi des critères favorisant l'apprentissage dudit comportement (Iwarsson, 2015; Ma *et al.*, 2013; Wong, Ma, & Yiu, 2011). Pour plus de spécificité, illustrons ces critères en fonction d'un sujet dysphonique. Pour résumer, il s'agit de modifier l'élément qui provoque le comportement vocal inadéquat, ensuite d'introduire dans le programme thérapeutique des exercices qui invitent le sujet à être attentif à ce comportement. Cela exige de la part du sujet de se concentrer, d'analyser et de décrire sa voix, notamment via des enregistrements. Le patient est alors encouragé à s'interroger sur ses comportements et à trouver des solutions pour éradiquer les gestes vocaux erronés, c'est ce qu'Iwarsson (2015) nomme l'activation cognitive. Il teste ensuite les solutions discutées avec le thérapeute et le choix se porte sur la plus optimale. Iwarsson souligne qu'être capable de produire le comportement erroné sur commande s'avère utile pour ancrer le nouveau. Lors du travail en séance, il convient de décomposer les comportements complexes. Ensuite, une fois que le sujet rencontre la situation dans laquelle il est amené à adopter le bon geste vocal, il applique le nouveau comportement. Durant les séances, l'attention portée sur les nouvelles modalités du geste vocal aide à automatiser le comportement requis. Ensuite, le sujet doit travailler simultanément et aléatoirement des séries de gestes requis. Enfin, il prend le contrôle de sa thérapie, en choisissant par exemple les moments où il enclenche le biofeedback.

D'après McKee (2008), l'apprentissage effectif à l'aide du biofeedback repose sur quatre conditions: 1) le patient a intégré le type de réponse requise qui fait suite au signal, 2) il est enthousiaste à l'idée de modifier son comportement, 3) il est sensible au renforcement positif et 4) il faut lui fournir un retour précis sur son effort d'apprentissage, comme par exemple le nombre de fois où il a produit le comportement adéquat en fonction du nombre d'essais.

Jusqu'à présent, les études explorant les effets du biofeedback en orthophonie sont rares. Elles se sont particulièrement intéressées aux troubles de la fluence, de l'articulation et de la voix.

En rééducation vocale, McGillivray *et al.* (1994) ont étudié l'effet du biofeedback auditif à l'aide d'un dispositif fixe chez un enfant de 4 ans porteur de nodules vocaux. La rétroaction était fournie uniquement en séance de rééducation lors de jeux libres à raison d'une fois par semaine durant 30 minutes. L'expérience s'est déroulée sur 6 semaines. Le biofeedback était alternativement activé puis désactivé toutes les cinq minutes pour déterminer si la diminution de l'intensité vocale était maintenue hors feedback. Chaque fois que l'enfant dépassait le seuil de 65 dB, un message suivi d'un commentaire du thérapeute ou de la mère l'invitait à réduire son niveau de pression acoustique. Entre la première et la sixième séance, l'enfant a réduit drastiquement le nombre de fois où le biofeedback a été activé (105 vs 5). Ensuite, le feedback a été introduit au domicile du patient. Même lorsqu'il était désactivé, un niveau de pression acoustique inférieur à 65 dB était maintenu.

En 1997, Lancioni *et al.* s'intéressent au biofeedback auditif chez des personnes atteintes d'un retard mental, via un dispositif portable. Le feedback était activé lorsque le seuil de 75 dB à 1 m du sujet était dépassé. Durant 7 mois, deux sujets ont bénéficié de deux séances de biofeedback par jour alternant activation et désactivation. Les sujets étaient récompensés lorsqu'ils parlaient sous le seuil de 75 dB. Les auteurs ont conclu à l'efficacité du biofeedback pendant qu'il était activé. Durant les phases sans feedback, le maintien s'est avéré difficile.

En 1999, Lancioni et Markus étudient l'effet du biofeedback vibrotactile chez une personne souffrant de surdité profonde et maîtrisant difficilement son niveau de pression acoustique. Un message vibrant était envoyé lorsqu'elle dépassait 85 dB. Le dispositif a été utilisé à son domicile et sur son lieu de travail pour une période de 6 mois. Les résultats à court terme s'avèrent concluants et montrent une diminution significative du niveau de pression acoustique.

En 2012, Schneider-Stickler *et al.* réalisent une étude de prévention chez 76 agents travaillant dans un call-center. Pour ce faire, ils utilisent un biofeedback visuel via le logiciel VidiVoice. Le dispositif est installé sur le lieu de travail des agents qui reçoivent durant leurs appels téléphoniques des informations sur le niveau de pression acoustique et la fréquence fondamentale (F0) de leur voix, ainsi que sur leur nombre de syllabes par minute. Notons qu'ils ont également bénéficié d'informations visant à leur expliquer comment modifier leur voix en cas d'utilisation pathologique de celle-ci. Les auteurs relèvent des mesures acoustiques en termes d'étendue fré-

quentielle et d'étendue d'intensité, des mesures de variabilités telles que le jitter, le shimmer et le rapport harmonique/bruit, ainsi que des mesures subjectives via des échelles d'auto-évaluation comme le Voice Handicap Index et une évaluation perceptive de la raucité, du souffle et de l'enrouement. Ces mesures ont été réalisées deux fois avant et deux fois après quatre semaines de biofeedback. Après les quatre semaines, les locuteurs qui présentaient une fatigue vocale ont montré une amélioration significative de leurs performances vocales. Les auteurs concluent que le biofeedback est un moyen efficace et relativement peu coûteux pour prévenir et améliorer les troubles vocaux des agents call-center. Ils recommandent de coupler le biofeedback à une éducation vocale.

En 2013, Schalling *et al.* utilisent le VoxLog (Sonvox, Uméa, Suède). Il s'agit d'un dosimètre vocal qui dispose d'une fonction de biofeedback. Les auteurs équipent 6 patients souffrant de la maladie de Parkinson d'un VoxLog. Notons que ces patients éprouvent des difficultés à augmenter leur niveau de pression acoustique. Aussi, la fonction de biofeedback consiste à leur envoyer un message vibrotactile à chaque fois qu'ils sont sous le seuil prédéfini selon leur profil. Les résultats montrent que les patients augmentent significativement leur niveau de pression acoustique et ce, encore la semaine qui suit l'arrêt du biofeedback.

En 2015, Van Stan *et al.* observent les effets du biofeedback vibrotactile chez 6 sujets euphoniques. Durant 7 jours, les sujets sont équipés d'un dosimètre de type Ambulatory Phonation Monitor (KayPENTAX, Montvale, NJ), délivrant un feedback durant deux jours. Le seuil d'activation a été calculé individuellement durant les trois premiers jours en relevant le niveau de pression acoustique moyen par sujet. Pour fixer le seuil, les auteurs ont ajouté 5 dB à la moyenne obtenue durant les trois jours. Les résultats montrent que les sujets parlent moins fort quand le biofeedback est activé que lors du pré-test. Par contre, aucune différence n'est observée entre le pré-test et le post-test. Les auteurs démontrent ainsi une modification du comportement durant le biofeedback (performance), sans maintien des résultats (apprentissage).

En conclusion, ces recherches sont prometteuses quant à l'utilité du biofeedback et son impact sur l'adoption d'un comportement vocal adéquat. Il s'avère utilisable en séance comme en milieu écologique, même si des questions persistent quant à la manière optimale d'implémenter cet outil dans la prise en charge orthophonique.

C – Les objectifs de cette étude

Cette étude vise à déterminer si un biofeedback vibrotactile appliqué en contexte écologique pendant une durée de 3 semaines chez une enseignante permet de modifier son comportement vocal. En s'activant à chaque fois que la participante parle trop fort, le feedback a pour but d'éviter les excès vocaux.

II – Méthodologie

A – Participante

Cette étude de cas porte sur une institutrice primaire âgée de 27 ans. Elle a 5 années d'expérience dans l'enseignement. Elle travaille à temps plein, ce qui équivaut à 24 périodes d'enseignement réparties sur quatre journées par semaine (lundi, mardi, jeudi, vendredi). Cette personne vit chez ses parents et n'a pas d'enfant. Pendant ses temps libres, elle pratique le chant, la danse, le piano, le violon, la randonnée et le bricolage. Elle se plaint d'une fatigue vocale en fin de semaine et l'examen vidéo-laryngo-stroboscopique montre des nodules vocaux bilatéraux avec une ébauche kystique sur la corde vocale droite. Favorisés par un usage vocal excessif, les nodules des plis vocaux sont des pathologies fréquentes chez les enseignants. Leur traitement consiste en une rééducation orthophonique, parfois couplée à un acte chirurgical. La participante n'a jamais bénéficié de rééducation ni de chirurgie des plis vocaux auparavant.

B – Matériel

Nous utilisons le dosimètre VoxLog (Sonvox, Umea, Suède) représenté dans la figure 1. Il s'agit d'un dispositif portable destiné à objectiver le comportement vocal sur des périodes prolongées en contexte écologique. Deux accéléromètres placés sur un collier porté autour du cou détectent les moments de phonation, la durée de phonation, la fréquence fondamentale (F0) et le niveau de pression acoustique de la voix (SPL voix). Un microphone positionné sur ce même collier mesure le niveau de pression acoustique du bruit environnant (SPL bruit). Ces données sont stockées dans un microprocesseur porté au niveau de la taille. Précisons que le dosimètre n'enregistre pas la pa-

role et que les paramètres acoustiques sont analysés directement par le microprocesseur. L'avantage de ne pas enregistrer les productions du locuteur est de limiter le caractère intrusif de ces mesures, bien que le fait de ne pas avoir accès au signal acoustique rende toute analyse complémentaire impossible.

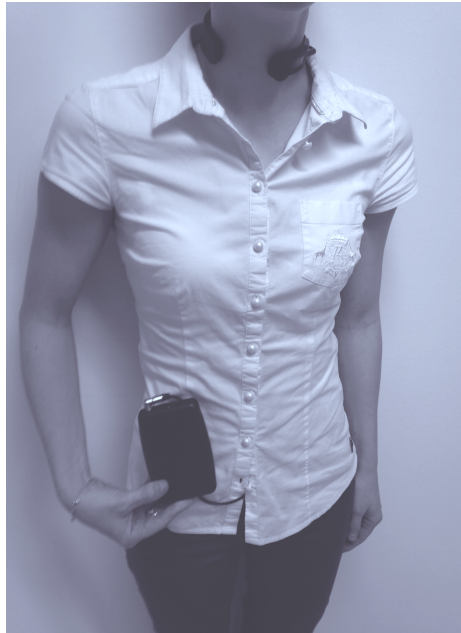


Figure 1. Dispositif de dosimétrie vocale et de biofeedback (VoxLog, Sonvox).

En complément du VoxLog représenté dans la figure 1, le logiciel VoxLog Discovery permet de paramétrer l'accumulation vocale et le biofeedback, d'importer les données enregistrées, de les classer, de les analyser, et de les visualiser sous forme de graphiques ou de figures. Le phonétogramme est une forme de visualisation fournie par le logiciel (voir figure 2).

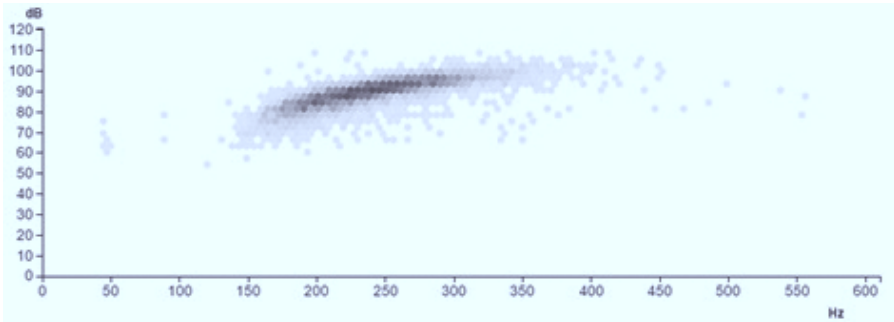


Figure 2. Phonétogramme de la première journée de pré-test du sujet de l'étude. L'abscisse représente la fréquence fondamentale (en Hz) et l'ordonnée représente le niveau de pression acoustique de la voix (en dB). La densité des points rend compte de la durée de phonation. La durée totale de cet enregistrement avec le VoxLog est de 11 h 54. Au cours de cette période, la fréquence moyenne est de 247 Hz et la pression acoustique moyenne mesurée par le microphone au niveau du larynx est de 94 dB.

Outre sa fonction d'accumulateur vocal, le VoxLog est muni d'un système de biofeedback qui peut être paramétré pour générer un signal lorsque le locuteur parle en dessous ou au-dessus d'un seuil de pression acoustique ou de fréquence prédéterminé par l'expérimentateur. En sus de ce seuil, la durée de l'alerte vibratoire et du temps mort entre deux alertes doit être déterminée. Suite au paramétrage effectué par le thérapeute, le dispositif est porté lors des activités quotidiennes du sujet. Lorsqu'il produit un comportement vocal inadéquat, une alerte instantanée sous forme de vibrations du boîtier lui est adressée.

Pour des enregistrements d'une journée complète comme dans cette étude, la fenêtre d'analyse recommandée est de 5 secondes, c'est-à-dire que le VoxLog fournit un point de données toutes les 5 secondes pour chacun des paramètres. Ensuite, nous avons réglé le biofeedback tel que l'alerte vibratoire est déclenchée après 500 millisecondes (ms) de phonation continue au-dessus du seuil de 97 dB, la durée de la vibration est de 400 ms, et un temps mort minimal de 1 seconde est respecté entre deux alertes vibratoires. De façon similaire à Van Stan *et al.* (2015), le seuil d'activation du feedback a été établi selon le calcul suivant : SPL voix moyen de la semaine de pré-test + 5 dB (soit 92 dB + 5 dB = 97 dB). La figure 3 représente la distribution du niveau de pression acoustique de la participante durant la semaine de pré-test.

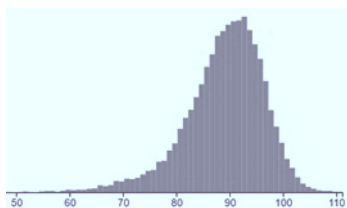


Figure 3. Distribution du niveau de pression acoustique de la voix (en dB) mesurée à l'aide du VoxLog au cours de la semaine de pré-test.
Moyenne = 92 dB, écart-type = 13 dB.

C – Protocole

1 – Déroulement général

Cette recherche a reçu l'approbation du comité d'éthique de la Faculté de psychologie, logopédie et sciences de l'éducation de l'Université de Liège. Après avoir été informée des objectifs et du déroulement de l'étude, la participante a signé un formulaire de consentement éclairé. La durée totale de l'étude était de dix semaines consécutives, réparties en cinq phases synthétisées dans le tableau 2 :

- 1) le pré-test est une ligne de base qui mesure l'usage vocal lors des activités quotidiennes, sans biofeedback. Sa durée est d'une semaine. Elle figure sur la ligne temporelle comme étant la première semaine de l'étude.
- 2) le test est la phase de l'étude pendant laquelle la participante reçoit un biofeedback à chaque fois qu'elle dépasse le seuil de 97 dB. Sa durée est de 3 semaines. Le test 1 désigne la première semaine de test, le test 2 désigne la seconde semaine, et le test 3 désigne la troisième semaine.
- 3) le post-test 1 mesure l'usage vocal lors des activités quotidiennes, sans biofeedback. Sa durée est d'une semaine.
- 4) ensuite, une période d'un mois sans dosimétrie ni biofeedback est respectée.
- 5) enfin, le post-test 2 mesure l'usage vocal lors des activités quotidiennes, sans biofeedback. Sa durée est d'une semaine. L'objectif est d'évaluer si le changement du comportement vocal est durable.

Tableau 1. Matériel utilisé et durée du test pour les différentes phases de l'étude

	Pré-test	Test			Post-test 1	Néant				Post-test 2
Matériel	D	D BF	D BF	D BF	D	/	/	/	/	D
Nombre d'heures de test	60h16	68h52	65h03	70h32	53h41	/	/	/	/	51h19
Semaine	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Légende : D = dosimètre ; BF = biofeedback

Pour rappel, selon Van Stan *et al.* (2015), la modification d'un comportement à l'aide du biofeedback s'échelonne sur un continuum allant de la performance, c'est-à-dire un simple changement temporaire, à un réel apprentissage. 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. Dans notre étude, la performance est mesurée pendant la phase de test. L'apprentissage est quant à lui évalué lors des post-tests, le post-test 2 s'intéressant spécifiquement au maintien à long terme du résultat.

2 – Dosimétrie

Lors du pré-test, du test et des post-tests, la consigne donnée à la participante est de porter le dosimètre tous les jours, du lever au coucher. Les paramètres suivants sont mesurés en continu, sur un total de 37 journées d'enregistrement :

- le niveau de pression acoustique de la voix (SPL voix) au niveau du larynx (en dB)
- le niveau de pression acoustique du bruit (SPL bruit) au niveau du larynx (en dB)

Lors de périodes de port du dosimètre, la participante a complété un journal de bord dans lequel elle décrit ses activités quotidiennes. L'intérêt du journal de bord est de mettre les mesures récoltées par le VoxLog en lien avec les activités journalières, aidant ainsi à l'interprétation des résultats.

3 – Biofeedback

Lors du test, le VoxLog contrôle le comportement vocal de la participante en continu, dans ses activités quotidiennes. A chaque fois que le seuil de 97 dB est dépassé, une alerte vibratoire est adressée en temps réel, signalant l'excès vocal. La figure 4 illustre les activations du biofeedback au cours d'une journée de test.

Enfin, pour rendre compte du nombre de dépassements du seuil, nous calculons la fréquence d'activation du feedback correspondant au rapport entre le nombre de fois où le feedback a été activé (n) et le nombre de points de données créés par le Voxlog (N). Le pourcentage d'activation du feedback est donc calculé comme suit: $(n/N) \times 100$.

III – Résultats

A – Activation du biofeedback au cours du test

Dans un premier temps, nous attendons une diminution de l'activation du biofeedback au cours du test. Cette diminution signe une modification du comportement vocal et fait référence à la performance définie plus haut.

Sur la figure 4, les points rouges représentent l'activation du biofeedback pour la première et la dernière journée du test. On note que cette activation est deux fois plus importante pour la première journée (2,47 %) que pour la dernière journée (1,17 %). Cette diminution indique que la participante dépasse moins le seuil de 97 dB à la fin de la période de test, suggérant une réduction des excès vocaux. Pour les deux journées, on remarque une activation moins importante du feedback après 16 h, c'est-à-dire après l'école.

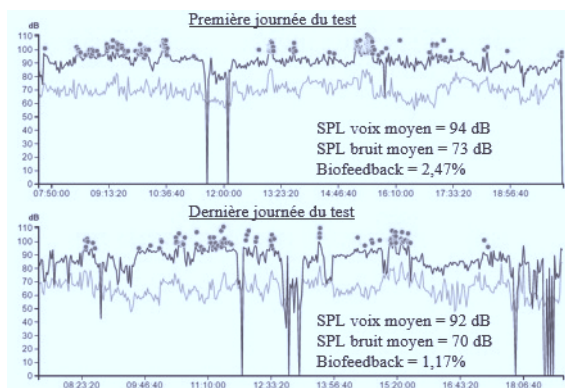


Figure 4. Pour la première et la dernière journée du test, le temps est présenté en abscisse et le niveau de pression sonore en ordonnée. La courbe noire représente le SPL voix et la courbe grise le SPL bruit. Chaque activation du biofeedback est illustrée par un point rouge.

B – SPL voix, SPL bruit et activation du biofeedback

Sur la figure 5, nous observons l'évolution du niveau de pression acoustique de la voix et du bruit ambiant, ainsi que l'activation du biofeedback pour chaque journée de l'étude. Nous visualisons d'emblée la variabilité de ces paramètres de jour en jour, dépendant du type d'activité répertorié dans le calendrier journalier. Les valeurs les moins élevées figurent les journées où l'enseignante ne travaille pas (mercredis, samedis, dimanches). Par ailleurs, des activités particulières expliquent des valeurs élevées, comme le vendredi du test 1 où l'enseignante a effectué une sortie extrascolaire avec ses élèves. C'est lors de cette journée qu'on relève les valeurs journalières moyennes les plus élevées pour le SPL voix (97 dB) et l'activation du biofeedback (8,26 %). L'enseignante rapporte ne pas pouvoir respecter la limite imposée par le biofeedback lors de cette journée, montrant qu'il peut être pertinent d'adapter le seuil d'activation en fonction de l'activité.

Dans un second temps, nous observons les relations entre le SPL voix, le SPL bruit, et l'activation du biofeedback. Comme attendu et en accord avec l'effet Lombard selon lequel le locuteur adapte automatiquement ses productions pour compenser les bruits environnants, le coefficient de corrélation de Pearson montre une corrélation positive forte entre l'intensité vocale et le niveau de bruit ambiant ($r(37) = 0,672$; $p < ,001$). En d'autres termes, la participante parle

plus fort lorsque le bruit ambiant augmente. Cette relation entre SPL voix et SPL bruit est visible sur la figure 5.

Enfin, le coefficient de corrélation de Pearson montre une corrélation positive forte entre le SPL voix et l'activation du biofeedback ($r(20) = 0,627$; $p = 0,004$). Comme attendu, la fréquence d'activation du biofeedback augmente lorsque le SPL moyen de la voix augmente.

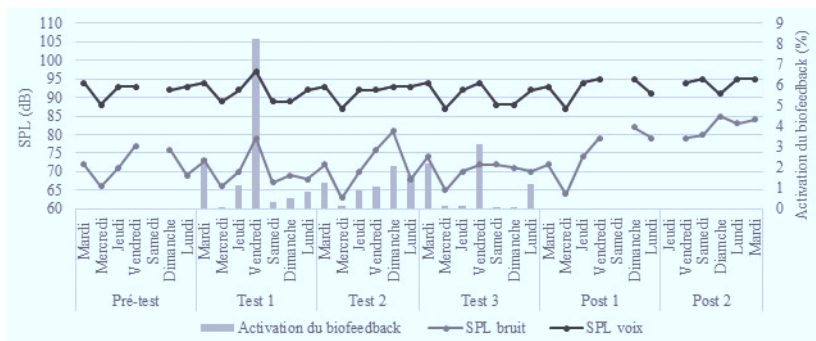


Figure 5. SPL voix, SPL bruit et pourcentage d'activation du biofeedback par jour. L'absence de données pour certaines journées est liée à un oubli de la participante de s'équiper du Voxlog.

IV – Discussion

Dans cette étude de cas, nous nous intéressons à l'apport du biofeedback en tant qu'outil thérapeutique, dans le but de réduire les excès vocaux d'une enseignante ayant des nodules bilatéraux associés à une ébauche kystique unilatérale. La force de notre méthodologie est la durée prolongée du biofeedback en contexte écologique : le niveau de pression acoustique de la voix était contrôlé constamment durant trois semaines d'activités quotidiennes. Ceci représente plus de 200 heures de surveillance au cours desquelles toute occurrence vocale supérieure à 97 dB pendant plus de 500 ms était signalée en temps réel par une alerte vibratoire.

Les résultats montrent une variabilité importante du niveau de pression acoustique de la voix, du bruit ambiant et de l'activation du biofeedback, dépendant du type d'activité mené par l'enseignante. Au cours de trois semaines de test, les excès vocaux signalés par le biofeedback survenaient essentiellement sur le lieu de travail. En

termes de performance, il apparaît que l'enseignante a tiré un bénéfice du biofeedback puisque son activation est réduite de moitié entre le premier et le dernier jour de test. Cependant, le maintien des résultats lors du post-test 1 et du post-test 2, et donc l'apprentissage, reste difficile à évaluer en raison de la variabilité des paramètres de jour en jour. En accord avec l'effet Lombard, il y a une corrélation forte entre le niveau de pression acoustique de la voix et du bruit ambiant. Par ailleurs, l'activation du biofeedback est fortement corrélée au SPL de la voix. A l'instar de plusieurs études portant sur le biofeedback en thérapie vocale (Lancioni & Markus, 1999; Lancioni *et al.*, 1997; McGillivray *et al.*, 1994), nous présentons une analyse de cas. Il est évident que des études randomisées sur de plus larges échantillons sont nécessaires afin de répondre aux standards de la médecine fondée sur les preuves.

A partir de cette expérience préliminaire, nous dégageons plusieurs pistes à prendre en compte pour l'utilisation du biofeedback en tant qu'outil thérapeutique pour réduire le surmenage vocal. La suite de cette discussion est consacrée à des réflexions permettant aux orthophonistes d'introduire le biofeedback dans leur pratique clinique.

Tout d'abord, il n'est pas suffisant de pointer le comportement vocal inadéquat afin de le supprimer mais comme mentionné par Iwarsson (2015), il faut également modifier l'indice provoquant ce comportement. Dans notre cas, l'enseignante peut adopter un forçage vocal faute d'être entendue, ou écoutée. Les éléments empêchant un locuteur d'être entendu peuvent être le bruit ambiant élevé, ou encore la distance excessive entre le locuteur et ses auditeurs. Rappelons que pour permettre un rapport signal/bruit suffisant, la voix doit être supérieure de 15 dB par rapport au bruit ambiant (BIAP, 2007). Par ailleurs, dans le cas de l'enseignant, le fait de ne pas être écouté peut relever d'une difficulté à asseoir son autorité ou d'un manque de discipline des élèves. Afin de permettre un effet maximal du biofeedback, il faut donc identifier les indices induisant l'excès vocal et ensuite développer des stratégies pour contrer ces indices négatifs. Cette démarche fait référence aux outils pédagogiques et psychologiques des méthodes indirectes décrites par Van Stan, Roy, *et al.* (2015). Les outils pédagogiques incluront également une explication de l'impact du bruit ambiant sur l'usage vocal (effet Lombard) ainsi que des conseils pour réduire le bruit en contexte scolaire.

Deuxièmement, le thérapeute enseignera des stratégies permettant au patient de supprimer le comportement nocif signalé par le biofeedback, tout en maintenant l'efficacité de la communication. Il est évident que le bruit ambiant en établissement scolaire est élevé et que l'enseignant devra trouver un compromis lui permettant de communiquer efficacement sans se blesser dans cet environnement défavorable. Cependant, l'augmentation du niveau de pression acoustique de la voix n'est pas la seule stratégie efficace. Le thérapeute enseignera des techniques telles que la diminution du débit de parole, la précision de l'articulation, ou encore l'enrichissement des harmoniques par le placement de la voix dans les résonateurs. Cette démarche fait référence aux méthodes directes décrites par Van Stan, Roy, *et al.* (2015).

Troisièmement, nous proposons une phase de familiarisation avec le biofeedback en séance de rééducation, avant de l'introduire en contexte écologique où les contraintes et la charge cognitive des activités quotidiennes complexifient la mise en place du comportement adéquat. L'utilisation du biofeedback en séances, en présence du thérapeute, permettra au patient de se familiariser avec le dispositif, de tester le nouveau comportement dans un milieu contrôlé pour ensuite l'automatiser.

Quatrièmement, il nous semble intéressant d'impliquer le patient en discutant des résultats de la dosimétrie et du biofeedback avec lui a posteriori. Il s'agira de prévoir des séances consistant à analyser les résultats avec le patient, à cibler les périodes d'excès vocal, et à les mettre en lien avec son activité, tout en lui proposant des pistes et des conseils sur la manière de modifier son comportement vocal. Les illustrations graphiques et les données chiffrées fournies par le VoxLog Discovery seront utilisées à cet effet.

Enfin, rappelons que le biofeedback n'est pas une méthode passive et qu'une participation active de la part du patient est nécessaire afin de modifier son comportement (McKee, 2008). Yucha et Montgomery (2008) soulignent que « *les données du biofeedback servent à titre d'information seulement. L'apprenant peut utiliser l'information intelligemment ou non, et c'est l'utilisation de l'information plutôt que l'exposition à celle-ci, qui fait la différence* ».

V – Conclusion

Le biofeedback semble être un outil prometteur aidant à relever quatre défis de la thérapie vocale. Le premier défi se concentre sur la conscientisation du comportement vocal inadéquat, le second porte sur l'automatisation d'un nouveau comportement plus efficient, le troisième agit sur le transfert du comportement requis dans le quotidien, et le dernier défi est le maintien du changement à long terme, c'est-à-dire l'apprentissage. A terme, l'objectif est d'automatiser le changement apporté tout en se libérant progressivement du biofeedback.

Cette étude de cas sur une enseignante suggère que le biofeedback est un outil permettant de réduire le surmenage vocal. Il ne permet cependant pas à lui seul de changer le comportement. Pour une efficacité optimale, il sera couplé à des méthodes indirectes dont l'objectif est de modifier l'indice provoquant le comportement inadéquat, ainsi qu'à des méthodes directes ayant pour but d'améliorer l'efficacité vocale et d'optimiser la communication en environnement bruyant. Rappelons que l'objectif ultime est de supprimer le comportement nocif signalé par le biofeedback, tout en maintenant l'efficacité de la communication.

Remerciements

Nous remercions l'Union Professionnelle des logopèdes Francophones (UPLF) pour le financement de deux dosimètres VoxLog.

Amy de La Bretèque, B. (2014). *L'aérodynamique de la voix: A propos des exercices de rééducation avec constriction du tractus vocal*. (Thèse de Doctorat en Sciences du langage non publiée), Université Aix-Marseille, Aix-Marseille.

BIAP. (2007). *Recommandation biap 09/10-4: Intelligibilité de la parole dans les salles de classe*. Repéré le 15 mai 2016 à <http://www.biap.org/fr/recommandations/68-ct-9-bruit/23-recommandation-biap-0910-4—intelligibilite-de-la-parole-dans-les-salles-de-classe>

Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback. (2008). What is biofeedback? Repéré le 15 mai 2016 à <http://www.aapb.org>

Iwarsson, J. (2015). Facilitating behavioral learning and habit change in voice therapy: Theoretic premises and practical strategies. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 40(4), 179-186. doi: 10.3109/14015439.2014.936498

Lancioni, G. E., & Markus, S. (1999). A deaf woman learning to control her excessive vocal loudness through a portable feedback system. *Perceptual and Motor Skills*, 88(3 PART 2), 1347-1349.

Lancioni, G. E., Van Houten, K., & Hoopen, G. T. (1997). Reducing excessive vocal loudness in persons with mental retardation through the use of a portable auditory-feedback device. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 28(2), 123-128. doi: 10.1016/S0005-7916(96)00052-3

Ma, E. P., Yiu, G. K., & Yiu, E. M. (2013). The effects of self-controlled feedback on learning of a « relaxed phonation task ». *Journal of Voice*, 27(6), 723-728. doi: 10.1016/j.jvoice.2013.04.003

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

McKee, M. G. (2008). Biofeedback: An overview in the context of heart-brain medicine. *Cleveland Clinic Journal of Medicine*, 75(2), 31-34.

Morsomme, D., & Remacle, A. (2013). La charge vocale. *Rééducation Orthophonique*, 254, 85-102.

Puckhaber, H. L. (2007). *New research on biofeedback*. New York: Nova Science Publishers.

Remacle, A., & Morsomme, D. (2015). Mesures de la voix en contexte écologique et techniques de biofeedback. *Rééducation Orthophonique*, 264, 239-256.



Rodriguez-Parra, M. J., Adrian, J. A., & Casado, J. C. (2011). Comparing voice-therapy and vocal-hygiene treatments in dysphonia using a limited multidimensional evaluation protocol. *Journal of Communication Disorders*, 44(6), 615-630. doi: 10.1016/j.jcomdis.2011.07.003

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, B., Enne, R., Cecon, M., Diendorfer-Radner, G., Wittels, P., Bigenzahn, W., & Johannes, B. (2006). Effects of vocal constitution and autonomic stress-related reactivity on vocal endurance in female student teachers. *Journal of Voice*, 20(2), 242-250.

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. *Journal of Voice*, 26(1), 51-62. doi: 10.1016/j.jvoice.2010.10.001

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., Stemple, 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

Wong, A. Y., Ma, E. P., & Yiu, E. M. (2011). Effects of practice variability on learning of relaxed phonation in vocally hyperfunctional speakers. *Journal of Voice*, 25(3), e103-113. doi: 10.1016/j.jvoice.2009.10.001

Yucha, C., & Montgomery, D. (2008). *Evidence-based practice in biofeedback and neurofeedback*. Wheat Ridge: Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback.



