



Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education  
Unité Logopédie de la Voix

---

**La charge vocale : De sa quantification à l'étude de son impact  
sur la fonction phonatoire et sur la qualité vocale**

---

Thèse présentée par  
**Angélique Remacle**

En vue de l'obtention du titre de  
Docteur en Sciences Psychologiques et de l'Education

Sous la direction de Dominique Morsomme et Camille Finck

Année académique 2012-2013



# Remerciements

Mes premiers remerciements vont à Camille Finck et à Dominique Morsomme, promotrices de cette thèse, grâce à qui ce travail a pu voir le jour. Camille, merci de m'avoir accompagnée dès mes premiers pas dans le domaine de la phoniatry, jusqu'à l'aboutissement de cette thèse. Merci de m'avoir transmis la passion pour ce métier et de m'avoir inculqué rigueur et esprit scientifique. Dominique, merci de m'avoir accueillie dans ton équipe et de m'avoir épaulée au quotidien durant ces quatre années. Merci de t'être rendue disponible sans compter et d'avoir partagé avec moi tous ces moments, qui m'ont enrichie tant d'un point de vue professionnel que personnel. Enfin, merci à vous deux pour tout ce que nous avons partagé, pour votre confiance, pour vos nombreux conseils et encouragements.

Je remercie vivement Etienne Quertemont, membre de mon comité d'accompagnement, pour le temps qu'il m'a accordé et les nombreux conseils statistiques qu'il m'a prodigués. Je le remercie d'avoir suivi et relu ce travail.

J'exprime également ma gratitude à Marc De Bodt et à Lise Crevier-Buchman, qui ont accepté de faire partie des membres de mon jury. Je les remercie pour l'intérêt porté à ma thèse.

Je suis particulièrement reconnaissante envers l'Université de Liège pour le financement non-FRIA qui m'a été octroyé afin de mener à bien mon doctorat, ainsi que pour les opportunités de participation à des congrès internationaux, où j'ai eu la chance de présenter les résultats de mes recherches.

J'aimerais aussi remercier Philippe Lefèbvre, Chef du service d'ORL du CHU de Liège, pour la mise à disposition de magnifiques locaux et d'un matériel d'analyse vocale à la pointe, ayant permis la récolte des données de ce travail dans d'excellentes conditions.

Quant aux nombreuses personnes dont la participation active aux études a permis de mener à bien ces recherches, je leur adresse mes chaleureux remerciements pour leur collaboration. Merci aux volontaires qui ont effectué les tâches de charge vocale, merci aux directeurs et enseignants des écoles dans lesquelles les testings ont été effectués, et merci aux spécialistes de la voix ayant prêté leurs oreilles pour les jugements perceptifs.

Merci à tous mes collègues logopèdes et ORL, tant de la faculté de psychologie que du CHU de Liège, pour leur soutien et leurs nombreux encouragements. Des remerciements particuliers vont à Lionel Lejeune pour l'aide apportée dans l'apprentissage et la réalisation des vidéostroboscopies.

Un immense merci à mes parents pour leur soutien inconditionnel, pour la confiance qu'ils m'accordent, mais aussi pour leurs nombreuses attentions et encouragements au quotidien.

Enfin, un tout grand merci à Martin d'avoir accepté de me suivre dans ce projet. Merci pour son extraordinaire patience, pour ses multiples encouragements et pour son précieux support technique.

De nombreuses personnes ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail. Qu'elles en soient toutes remerciées.





# Table des matières

Liste des abréviations	11
Préface	15
<b>INTRODUCTION THEORIQUE</b>	<b>19</b>
Chapitre 1. La production vocale normale	21
Anatomie macroscopique du larynx	21
Structure cordale	27
Physiologie phonatoire	31
Réglage de la fréquence fondamentale	36
Réglage de l'intensité	38
Stress mécaniques associés à la vibration	39
Chapitre 2. La charge vocale	43
Définitions	43
Paramètres de charge vocale et doses vocales	46
Facteurs environnementaux influençant la charge vocale	49
Différents stades de la charge vocale	54
Impact de la charge vocale	59
Différentes approches méthodologiques pour l'étude de la charge vocale	71
Chapitre 3. Le cas particulier des enseignants	77
Prévalence de troubles de la voix chez les enseignants	78
Facteurs favorisant les troubles de la voix chez les enseignants	87
Conséquences des troubles de la voix chez l'enseignant	97
La charge vocale des enseignants en situation écologique	99
Impact de la charge vocale sur la voix de l'enseignant	111
<b>PARTIE EXPERIMENTALE</b>	<b>117</b>
Objectifs des études	119
Etude 1	125
ABSTRACT	126
INTRODUCTION	127
METHOD	130
RESULTS	138
DISCUSSION	141
CONCLUSION	149

Etude 2	151
INTRODUCTION	153
METHODS	157
RESULTS	162
DISCUSSION	171
CONCLUSION	181
Etude 3	182
INTRODUCTION	184
MATERIALS AND METHOD	189
RESULTS	198
DISCUSSION	204
CONCLUSION	215
Etude 4	218
INTRODUCTION	220
METHODS	222
RESULTS	228
DISCUSSION	237
CONCLUSION	251
Etude 5	253
INTRODUCTION	255
MATERIEL ET METHODE	259
RESULTATS	268
DISCUSSION	278
CONCLUSION	286
DISCUSSION GENERALE	289
Quantification de la charge vocale	292
Impact de la charge vocale sur la fonction phonatoire et sur la qualité vocale	301
Implications en clinique journalière	320
En conclusion	327
ANNEXES	329
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	353







## Liste des abréviations

---

APM = *Ambulatory Phonation Monitor* (KayPENTAX, Montville, NJ)

dB = décibel

D<sub>c</sub> = dose de cycles

D<sub>d</sub> = dose de distance

D<sub>t</sub> = dose de temps

D<sub>%</sub> = dose de temps, exprimée en en pourcentage de la durée d'accumulation

ESVL = *Early stage of vocal loading* ou premier stade de la charge vocale

ESP = *estimated subglottic pressure* ou pression sous-glottique estimée

F0 = fréquence fondamentale

F-High = *highest frequency* ou fréquence la plus élevée mesurée au phonétoqramme

F-Low = *lowest frequency* ou fréquence la plus basse mesurée au phonétoqramme

F-Range = étendue fréquentielle mesurée au phonétoqramme

HI = *high intensity level*, [70-75 dB(A)] à 40 cm de la bouche

Hz = hertz

I-High = *highest intensity* ou intensité la plus élevée mesurée au phonétoqramme

I-Low = *lowest intensity* ou intensité la plus faible mesurée au phonétoqramme

I-Range = dynamique d'intensité mesurée au phonétoqramme

Jitt = *jitter* ou mesure de perturbation à court terme (cycle à cycle) de la fréquence fondamentale du signal sonore

LI = *low intensity level*, [60-65 dB(A)] à 40 cm de la bouche

MAR = *mean airflow rate* ou débit d'air moyen mesuré sur un [a] tenu

MPT = *maximum phonation time* ou temps maximum de phonation mesuré sur un [a] tenu

NHR = *noise harmonic ratio* ou rapport bruit/harmoniques, permettant de quantifier la présence de bruit dans le signal sonore

POST = après la tâche de charge vocale

PRE = avant la tâche de charge vocale

SD = *standard deviation* ; DS = déviation standard

Shim = *shimmer* ou mesure de perturbation à court terme (cycle à cycle) de l'amplitude du signal sonore

SPL = *sound pressure level* ou niveau de pression sonore

VAS = *visual analog scale* ou échelle visuelle analogique horizontale de 100 mm

VHI = *voice handicap index*, questionnaire développé par Jacobson et al. (2007)

WU = *warm-up* ou échauffement vocal





## Préface

---

La voix est le principal outil de communication des êtres humains. Pour une grande partie d'entre eux, elle constitue même un outil de travail. C'est le cas des « professionnels de la voix », définis comme des travailleurs qui ne pourraient se passer de leur voix sans entraver la bonne marche de leur profession, et qui à ce titre nécessitent une qualité de voix constante, spéciale ou attirante (Titze, Lemke, & Montequin, 1997). Dans le monde d'aujourd'hui, on estime que la voix constitue l'outil de travail principal pour environ un tiers de la population active (Vilkman, 2004). Ces professionnels forment un groupe hétérogène incluant les comédiens, les imitateurs, les ventriloques, les marionnettistes, les chanteurs, les professeurs de chant, les chefs de chœur, les journalistes et animateurs de radio et de télévision, les commentateurs sportifs, les professeurs de sport, les enseignants, les animateurs, le personnel des crèches, les avocats, les prêtres, les pasteurs, les (télé)vendeurs, les téléconseillers, les enquêteurs, les commerciaux, les serveurs, les politiciens, les militaires, les chargés de communication, les réceptionnistes, les secrétaires, le personnel des guichets d'accueil, les standardistes, les traducteurs, les interprètes, les conférenciers, les guides touristiques, les commissaires-priseurs, le personnel de soins de santé, etc (Klein-Dallant, 2006; Titze et al., 1997). Parmi ces professionnels de la voix, certains ont une exigence de qualité et d'esthétique vocale, d'autres ont une exigence d'endurance et de résistance, mais de nombreuses professions requièrent l'ensemble de ces critères. Pour ces travailleurs, les troubles de la voix peuvent représenter une difficulté professionnelle substantielle, qui se solde au minimum par des entraves à la communication dans l'exercice de leur profession et au pire par la perte du travail (Klein-Dallant, 2006).

Une caractéristique commune chez les professionnels de la voix est une utilisation vocale importante, en termes de durée de phonation, d'intensité et de fréquence. On parle alors d'une charge vocale élevée, pouvant être favorisée par des facteurs environnementaux. A court terme, la charge vocale induit des changements de la fonction phonatoire et de la qualité vocale, variant selon les individus. A long terme, elle peut engendrer des troubles vocaux survenant suite à une surdose de vibration cordale. On parle alors de microtraumatisme.

Dans ce travail, nous étudions la charge vocale au sein d'un groupe de professionnels de la voix très répandu, à savoir les enseignants. En Belgique, ils sont plus de 31.000 et constituent environ 2,8% de la population active (Eudydice & Eurostat, 2009; Eurostat, 2012). En Europe, ils représentent près de 2% de la population active (Eudydice & Eurostat, 2009), et aux Etats-Unis environ 4% des travailleurs (Titze et al., 1997; UNESCO, 2012). Les enseignants font l'objet de nombreuses études scientifiques dans le domaine de la phoniatrie<sup>1</sup>, car ils ont une prévalence particulièrement élevée des troubles de la voix. A travers le monde, les enseignants font partie des professionnels consultant le plus pour dysphonie et ils sont surreprésentés dans les consultations de phoniatrie par rapport à leur proportion dans la population générale (Fritzell, 1996; Verdolini & Ramig, 2001). Leur rôle fondamental dans la société en termes d'éducation et de transmission des savoirs justifie l'intérêt porté à leur santé vocale, puisque la voix constitue leur principal outil de travail, impactant la qualité de l'enseignement dispensé.

La contribution de notre travail intervient à deux niveaux d'étude de la charge vocale. Premièrement, nous cherchons à quantifier la charge vocale en situation écologique au sein d'une population d'enseignants, via la technique de dosimétrie vocale (étude 1). Deuxièmement, nous étudions l'impact de la charge

---

<sup>1</sup> Branche de la médecine spécialisée dans les troubles de la voix



vocale sur la fonction phonatoire et sur la qualité vocale en condition de laboratoire (études 2 à 5).

Ce manuscrit est scindé en deux grandes parties : une introduction théorique et une partie expérimentale. La partie théorique comporte trois chapitres. Un premier chapitre anatomophysiologique rappelle les éléments de la production vocale normale nécessaires à la compréhension des notions abordées par la suite. Un deuxième chapitre présente l'objet d'étude de ce travail de thèse, à savoir la charge vocale. Un troisième chapitre détaille la population chez qui nous avons étudié la charge vocale : les enseignants. Le troisième chapitre inclut également une synthèse des acquis des recherches antérieures portant sur la charge vocale des enseignants.

Dans la partie expérimentale, nous développons les cinq études menées au cours de cette thèse. L'étude 1 quantifie la charge vocale chez des enseignantes du niveau maternel et du niveau primaire, en situation écologique. Les études 2 et 3 réalisées en laboratoire observent l'impact de la charge vocale chez des non-professionnels de la voix normophoniques, avec un regard particulier sur le niveau d'intensité vocale. Les études 4 et 5 réalisées en laboratoire portent sur l'impact de la charge vocale chez des professionnels de la voix exerçant le métier d'enseignant, en différenciant des sujets normophoniques et des sujets dysphoniques.

Enfin, une synthèse des principaux résultats obtenus dans les diverses études est présentée dans la discussion générale. A la lueur de ces résultats, les implications cliniques, les perspectives préventives et thérapeutiques chez les professionnels de la voix soumis à une charge vocale élevée, sont discutées.



# **INTRODUCTION THEORIQUE**



# Chapitre 1. La production vocale normale

---

Outre ses diverses fonctions vitales, telles que les fonctions respiratoire, sphinctérienne et de déglutition, le larynx permet la phonation. Il constitue l'organe central de la production vocale, lieu où l'énergie aérodynamique est transformée en énergie acoustique.

L'objectif de ce chapitre est de résumer l'anatomophysiologie de la production vocale saine, nécessaire à la compréhension des notions présentées par la suite dans les parties théorique et expérimentale de ce travail. La maîtrise des mécanismes soutenant la phonation normale est un prérequis nécessaire à l'étude de l'impact de la charge vocale. Ce rappel cible principalement l'étage laryngé, bien que la respiration et les résonateurs participent substantiellement à la production vocale. Après avoir localisé le larynx, nous rappelons brièvement les éléments qui le composent pour ensuite présenter la structure des plis vocaux. Enfin, nous décrivons la physiologie phonatoire, les mécanismes de réglage de la fréquence et de l'intensité, ainsi que les différents stress mécaniques liés à la phonation.

## **Anatomie macroscopique du larynx**

Le larynx est un organe complexe et mobile, d'une longueur approximative de 5 cm, situé dans la partie médiane et antérieure du cou. Il débute à la partie inférieure du pharynx, en dessous et en arrière de la base de la langue et il surplombe la trachée. Il est localisé au croisement des voies respiratoire et digestive, c'est-à-dire dans le carrefour aéro-digestif (McFarland, 2006).

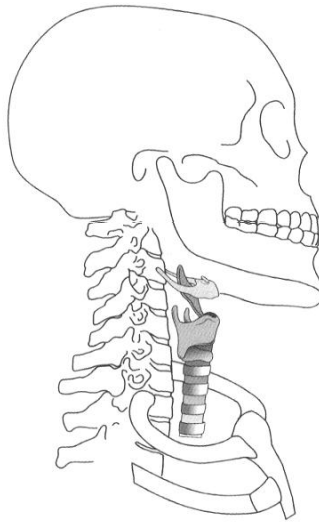


Figure 1. Situation générale du larynx (Giovanni, 2004).

Le larynx consiste en un squelette cartilagineux dont les différentes pièces sont reliées entre elles par des articulations, des membranes, des ligaments et des muscles intrinsèques. Il est maintenu en équilibre dans le cou par des muscles extrinsèques, le reliant aux structures environnantes.

Le **squelette laryngé** comprend cinq cartilages principaux: le thyroïde, le cricoïde, les deux aryténoïdes et l'épiglotte. L'os hyoïde, non intégré à la structure même du larynx, est un os flottant qui ne s'articule avec aucun autre os. Enfin, deux articulations permettent la mobilité du squelette laryngé: l'articulation crico-thyroïdienne et l'articulation crico-aryténoïdienne. Celles-ci unissent les cartilages portant leurs noms. Différentes coupes du squelette laryngé sont présentées dans la Figure 2.

# Chapitre 1. La production vocale normale

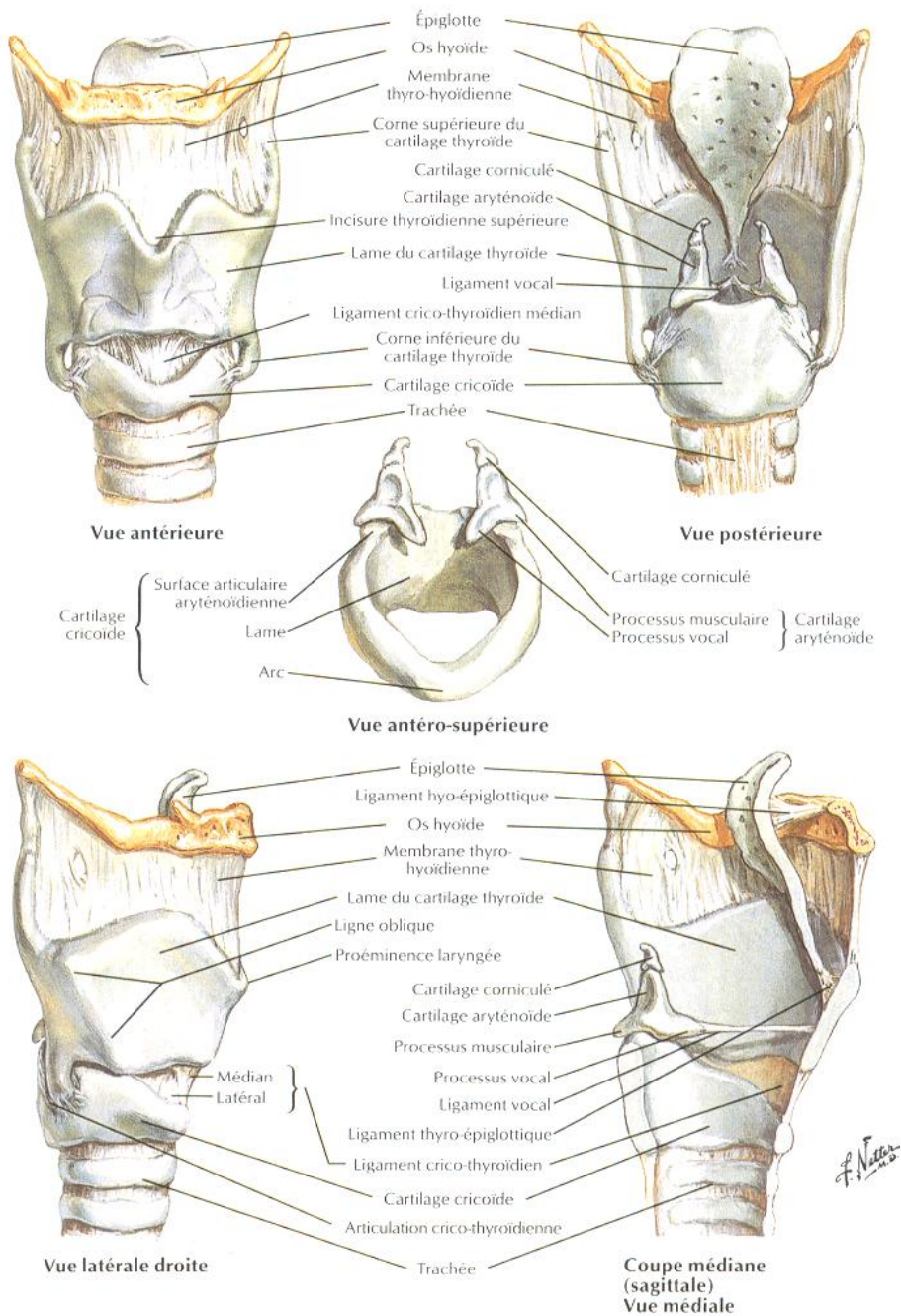


Figure 2. Cartilages du larynx (McFarland, 2006).

Les **muscles intrinsèques**, représentés dans la Figure 3, sont des muscles de petite taille qui ont leur origine et leur insertion sur les structures laryngées (McFarland, 2006). Ils sont au nombre de 11, dont 5 muscles pairs et 1 muscle impair. Ces muscles sont : les thyro-aryténoïdiens ou muscles vocaux, les crico-aryténoïdiens postérieurs, les crico-aryténoïdiens latéraux, les crico-thyroïdiens et l'inter-aryténoïdien. Ils permettent les différentes positions des plis vocaux par le réglage des positions relatives des cartilages laryngés et la mobilisation des articulations crico-thyroïdienne et crico-aryténoïdienne. Ils assurent également le réglage de la tension des plis vocaux, ainsi que leur fermeture et leur ouverture.



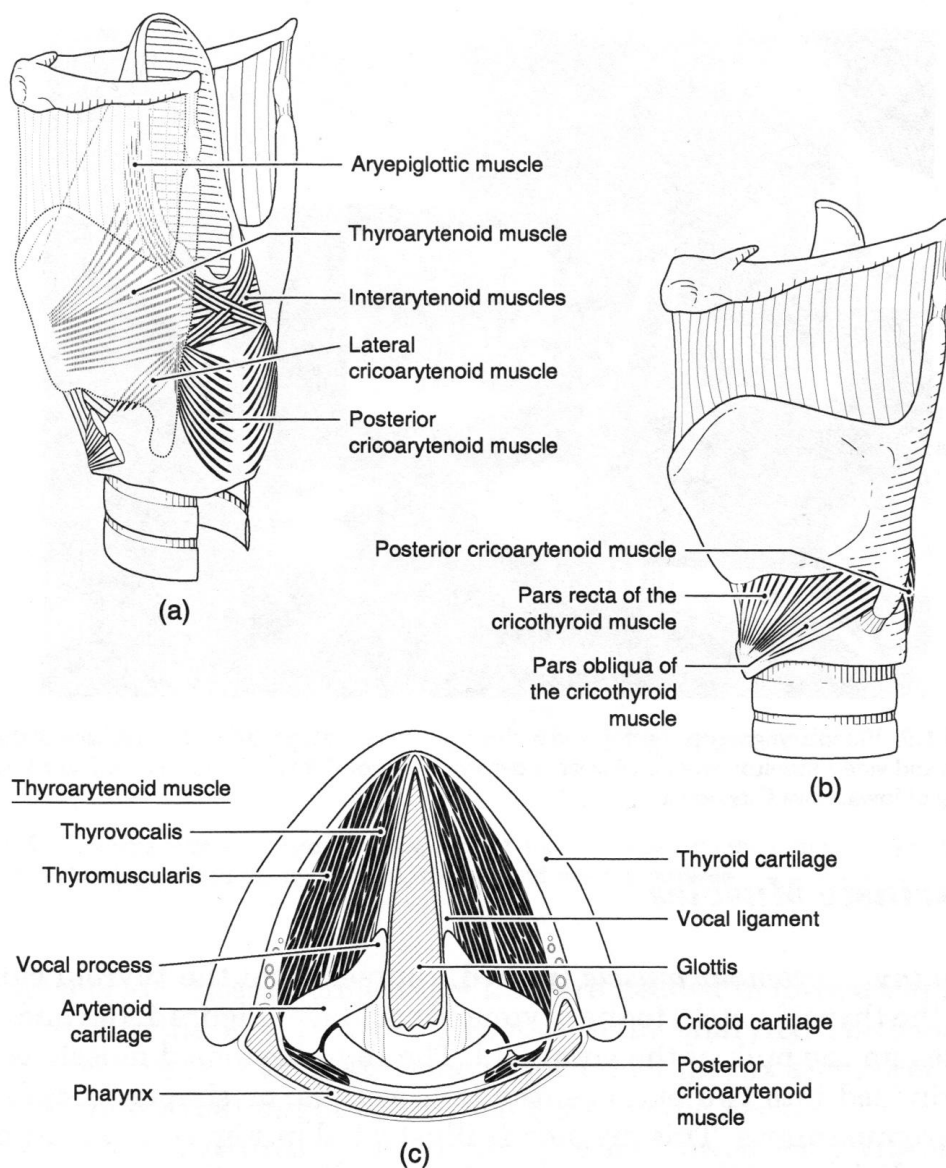


Figure 3. Muscles intrinsèques du larynx : (a) vue latéro-postérieure, (b) vue antéro-latérale, (c) vue supérieure (Titze, 2000).

Du point de vue de sa configuration interne, le larynx se compose des **trois étages** illustrés dans la Figure 4 (Giovanni, 2004).

- 1) **L'étage supra-glottique**, qui est limité par deux plans horizontaux : un plan supérieur passant par le bord libre de l'épiglotte et un plan inférieur passant par le bord supérieur des plis vocaux.
- 2) **L'étage glottique**, immédiatement sous-jacent au précédent, correspond au niveau des plis vocaux.
- 3) **L'étage sous-glottique**, situé entre le bord inférieur des plis vocaux et le bord inférieur du cartilage cricoïde.

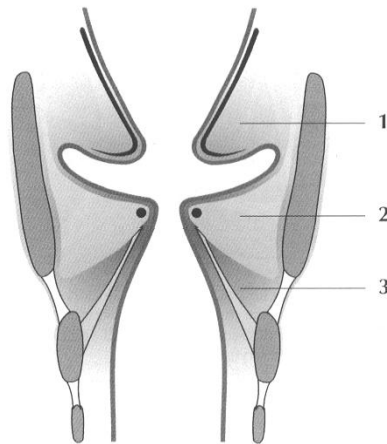


Figure 4. Coupe frontale illustrant les 3 étages du larynx. 1) étage supra-glottique, 2) étage glottique, 3) étage sous-glottique (Giovanni, 2004).

Dans la suite de ce chapitre, nous décrivons plus précisément l'étage glottique ainsi que la structure des plis vocaux. En effet, l'étage glottique est celui qui est mis le plus à contribution durant la charge vocale, via la vibration des plis vocaux. C'est principalement cet étage qui va être altéré en cas de surcharge vocale. Dans certaines situations, la structure cordale peut être endommagée suite à une charge vocale dépassant la tolérance de l'individu, et donner lieu à des pathologies cordales.

## Structure cordale

### Structure macroscopique cordale

Les plis vocaux ou cordes vocales sont au nombre de deux. Ils se présentent sous la forme de replis horizontaux à structure lamellaire, localisés à l'intérieur du larynx, au niveau de l'étage glottique situé précédemment. Leur insertion à l'avant est l'angle du cartilage thyroïde, et à l'arrière, la base des aryténoïdes. La description de la structure macroscopique des plis vocaux est assez simple. Celle-ci se compose de fibres musculaires, en l'occurrence le muscle thyro-aryténoïdien, d'un ligament et d'un épithélium de surface.



Figure 5. Plis vocaux normaux en adduction  
(Finck & Lejeune, 2009).

## Structure microscopique cordale

Au niveau microscopique, la corde vocale possède une structure complexe, dite « feuilletée », unique et non homogène. Hirano (1974, 1981a) est un des premiers à décrire cette structure cordale organisée en **5 couches** successives, possédant des caractéristiques vibratoires différentes. En partant de la surface, les différentes couches décrites par Hirano sont les suivantes : l'épithélium, la couche superficielle de la lamina propria aussi appelée l'espace de Reinke, la couche intermédiaire de la lamina propria, la couche profonde de la lamina propria, et les fibres du muscle thyro-aryténoïdien ou muscle vocal (voir Figure 6). Cette structure feuilletée concerne les 2/3 ou 3/5 antérieurs de la corde vocale, la partie postérieure ne possédant pas cette structure vibrante particulière (Giovanni, 2004). Ci-dessous, nous détaillons les 5 couches décrites par Hirano.

Tout d'abord, le bord libre vibratoire de la corde vocale est tapissé par un **épithélium** pavimenteux, stratifié en couches et non kératinisé. Son épaisseur est d'environ 0,05 mm. Cet épithélium est mieux adapté aux contraintes mécaniques de vibration et de contact que la muqueuse de type respiratoire, tapissant le reste du larynx (Giovanni, 2004). L'épithélium est une couche fine et rigide qui sert à maintenir la forme des plis vocaux. Il est recouvert par une couche de mucus assurant la protection des structures cellulaires sous-jacentes.

Ensuite, la **lamina propria** est un tissu conjonctif organisé en trois couches qui se différencient par la composition en protéines fibreuses de leur matrice extracellulaire. La matrice extracellulaire est, comme son nom l'indique, la substance existant entre les cellules, et dont la composition moléculaire varie en fonction du tissu étudié (Finck, 2008). Les protéines fibreuses composant la matrice extracellulaire sont le collagène et l'élastine, possédant des caractéristiques particulièrement adaptées aux contraintes vibratoires.

## Chapitre 1. La production vocale normale

Le collagène fournit la structure et assure la résistance du tissu cordal aux forces induites par la vibration. L'élastine explique le caractère élastique du tissu cordal, c'est-à-dire sa capacité à reprendre sa forme initiale après la déformation (Finck, 2008). La **couche superficielle** de la lamina propria a une épaisseur de 0,5 à 0,3 mm. Elle contient peu de fibres de nature élastique et collagène. Sa composition très lâche en fibres lui assure une structure gélatineuse. C'est la couche la plus active dans la vibration des plis vocaux (McFarland, 2006). La **couche intermédiaire** de la lamina propria est riche en fibres élastiques. Enfin, la **couche profonde** possède peu de fibres élastiques mais de nombreuses fibres de collagène. Cette structure est moins favorable à l'élongation que la structure précédente, riche en fibres d'élastine. Les couches intermédiaire et profonde forment le **ligament vocal**, d'une épaisseur d'environ 1 mm. Parmi les cellules importantes de la lamina propria, on distingue les fibroblastes et les myofibroblastes. Les fibroblastes maintiennent la lamina propria en l'état via un processus de turn-over : les vieilles protéines sont détruites et de nouvelles sont produites. Les myofibroblastes sont des cellules de réparation agissant uniquement dans un contexte lésionnel. Elles assurent la reconstruction du tissu. Les plis vocaux seraient capables de réparer des traumatismes microscopiques en 36 à 48 heures. Le repos vocal permettrait de laisser agir ces myofibroblastes (Giovanni, Sacre, & Robert, 2007). Cependant, le temps de récupération dépend de nombreux facteurs tels que la résistance propre du sujet, la nature et l'importance du traumatisme.

Enfin, la couche la plus profonde de la corde vocale correspond à sa masse musculaire, constituée par les fibres du **muscle thyro-aryténoïdien** ou muscle vocal. L'épaisseur de celui-ci varie entre 7 et 8 mm dans la majeure partie de la corde vocale (Titze, 2000).

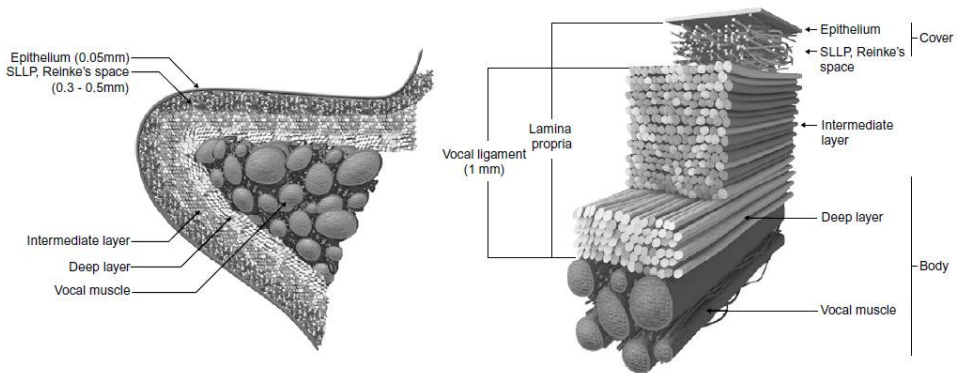


Figure 6. Structure feuilletée des plis vocaux, d'après Hirano. A gauche, coupe frontale d'une corde vocale. A droite, modèle tridimensionnel des couches cordales (Finck & Lejeune, 2009).

Au total, l'épithélium, les 3 couches de la lamina propria et le muscle vocal constituent un système à 5 couches. D'un point de vue mécanique, ces couches peuvent être regroupées pour former soit un système à 3 couches, ou encore un système à 2 couches, comme présenté dans la Figure 7 (Titze, 2000). La physiologie phonatoire décrite par la suite fait référence à ces différentes couches.

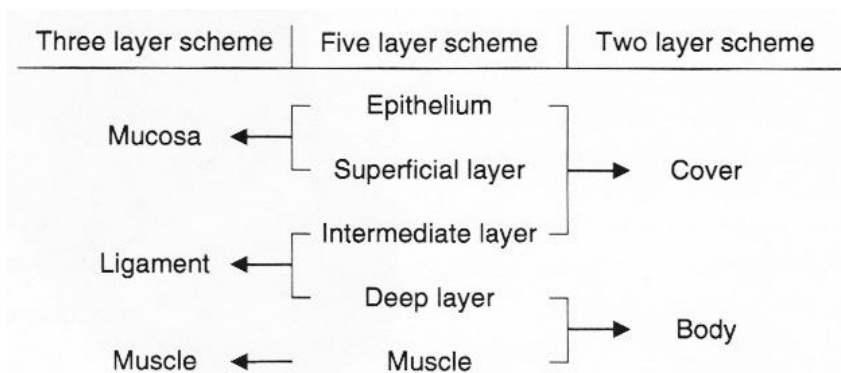


Figure 7. Trois différents systèmes pour étiqueter la structure en couches des plis vocaux (Titze, 2000).

## Physiologie phonatoire

La voix est un son complexe émis par un système à 3 composants, comprenant une source d'énergie (le système respiratoire), un vibreur (les plis vocaux au sein du larynx), et des résonateurs (les cavités aériennes s'étendant de la glotte aux lèvres). La soufflerie constitue la source d'énergie aérodynamique, c'est-à-dire le courant d'air nécessaire à la vibration des plis vocaux : la voix est une expiration sonorisée. Cette énergie aérodynamique issue du système respiratoire est transformée en énergie acoustique par le vibreur laryngé. Le son produit au niveau du larynx est ensuite modifié par son passage dans les résonateurs, c'est-à-dire les cavités supra-glottiques que sont le vestibule laryngé, le pharynx, la cavité buccale et les fosses nasales. La description de la physiologie phonatoire réalisée dans ce chapitre porte essentiellement sur la manière dont le son est produit par le larynx et plus précisément sur les mécanismes de vibration des plis vocaux.

### La vibration des plis vocaux

Plusieurs théories expliquant la vibration des plis vocaux ont été développées au cours des derniers siècles. Dans ce travail, nous nous rapportons aux théories les plus communément acceptées actuellement, à savoir la théorie décrite par Van den Berg (1958) et le modèle à deux masses ou théorie du corps et de la couverture cordale (Hirano, 1981a; Titze, 2000).

Selon la **théorie myoélastique-aérodynamique** (Van Den Berg, 1958), la vibration des plis vocaux est essentiellement basée sur deux forces opposées. La première est la pression sous-glottique (aspect aérodynamique). La seconde est la tension musculaire et l'élasticité des plis vocaux (aspect myoélastique).

Cette théorie repose également sur une loi de la physique des fluides appelée loi de Bernouilli.

La loi de Bernouilli, établie au 18<sup>e</sup> siècle par Daniel Bernouilli, concerne l'écoulement d'un fluide dans un conduit. Cette loi régit le principe de la conservation de l'énergie du débit d'un fluide (ou gaz) confiné dans un canal. Si l'on considère les pertes énergétiques comme nulles, toute augmentation de vitesse dans un conduit s'accompagne d'une diminution de la pression. Concrètement, si le conduit présente un rétrécissement, les particules de gaz en déplacement s'accélèrent au niveau de la région étroite du conduit en vertu de la loi de continuité qui établit que le produit de la vitesse du gaz par le diamètre du conduit est une constante. Cette augmentation de vitesse entraîne donc, selon la loi de Bernouilli, une diminution de la pression. Cette dépression aspire les structures en mouvement, c'est-à-dire les plis vocaux l'un contre l'autre (Finck, 2008).

La vibration des plis vocaux est induite par une expiration et consiste en un mouvement de va-et-vient répétitif auto-entretenu. Le cycle vibratoire se décompose en différents temps. La première étape est la mise en position phonatoire, c'est-à-dire l'adduction des plis vocaux grâce aux muscles crico-aryténoïdiens latéraux et inter-aryténoïdien. La fermeture de la glotte constitue une résistance empêchant l'air de s'écouler naturellement, avec pour conséquence une augmentation de la pression sous-glottique. La vibration commence lorsque la pression sous-glottique est suffisante pour lutter contre les forces musculaires élastiques, les plis vocaux s'ouvrent alors pour laisser passer l'air sous forme d'un « puff » à grande vitesse (voir Figure 8). Enfin, leur élasticité et l'effet Bernouilli entraînent la fermeture des plis vocaux. Un nouveau cycle vibratoire peut alors débiter.



En vertu de la loi de Bernoulli, lorsque l'air passe dans la glotte, sa vitesse augmente et la pression exercée sur les parois glottiques diminue. En réponse à la diminution de pression au niveau des plis vocaux, ceux-ci se rapprochent jusqu'à ce que la pression sous-glottique augmente à nouveau et écarte les plis. De cette manière, sous l'effet de la pression sous-glottique, les plis vocaux s'écartent progressivement pour laisser s'écouler l'air. Dès que cette quantité d'air s'est échappée, les bords libres se rapprochent sous l'effet de la diminution de la pression sous-glottique (loi de Bernoulli) et des caractéristiques mécaniques des plis vocaux. Ainsi, la glotte s'ouvre et se ferme de manière cyclique, produisant des changements de forme et de résistance. Le seuil à partir duquel ces phénomènes se produisent dépend de plusieurs facteurs biomécaniques, tels que la rigidité de la partie vibrante de la corde vocale, sa viscosité<sup>2</sup>, l'épaisseur du bord libre, la largeur de la fente glottique préphonatoire et la différence de pression transglottique (Giovanni, 2004).

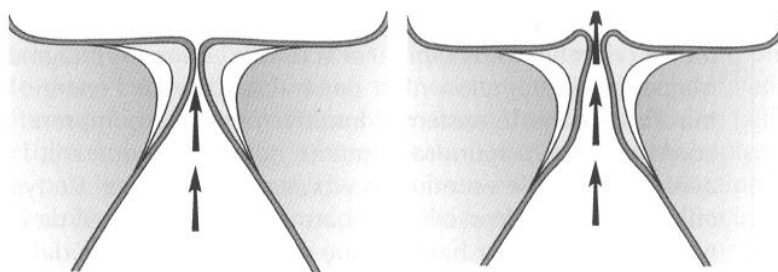


Figure 8. Coupe frontale des plis vocaux illustrant la résolution du conflit élastique entre la pression sous-glottique (force d'ouverture) et les forces musculaires et élastiques des plis vocaux (force de fermeture) (Giovanni, 2004).

En complément de la théorie myoélastique-aérodynamique de Van de Berg, la **théorie du corps et de la couverture cordale** (Hirano, 1981a) ou **modèle à deux masses** (Ishizaka & Matsudaira, 1972, cités par Titze, 2000)

<sup>2</sup> La viscosité est la résistance à la vitesse de déformation. Pour un stress donné, moins la viscosité est importante, plus vite le tissu se déforme.

permet une description complète des phénomènes de vibration des plis vocaux, en tenant compte de leur mode vibratoire non uniforme. En effet, les plis vocaux ne vibrent pas comme une seule masse, mais bien selon un mouvement complexe respectant un déphasage entre la lèvre inférieure et la lèvre supérieure. La fermeture glottique commence à la lèvre inférieure des cordes avant de se propager à la lèvre supérieure, tandis que le décollement s'amorce à la partie inférieure. Le modèle à deux masses, représenté dans la Figure 9, permet d'expliquer les différentes configurations glottiques obtenues selon les phases du cycle vibratoire (Titze, 2000).

Le modèle à deux masses et la théorie du corps et de la couverture cordale recouvrent un même concept, basé sur les propriétés mécaniques des différentes couches cordales. Hirano (1974, 1981a) a démontré que la composition moléculaire de chaque couche cordale est associée à des propriétés biomécaniques propres, très différentes selon que l'on se situe à la surface ou dans la profondeur de la corde vocale. Ces caractéristiques biomécaniques sont la compliance (capacité à se déformer), l'élasticité (capacité à retrouver sa forme initiale), la rigidité (tension intra-cordale), la viscosité (résistance à la vitesse de déformation) et la masse (inversement proportionnelle à la vitesse de vibration).

A partir de ces caractéristiques, Hirano a réparti les différentes couches de la corde vocale en deux entités distinctes : le corps (constitué par le muscle vocal) et la couverture cordale (constituée par l'épithélium et l'espace de Reinke). La couverture est très souple et possède une viscosité optimale. Entre les deux, une zone transitionnelle est constituée par la couche intermédiaire et la couche profonde de la lamina propria (voir Figure 7).

Dans le modèle à deux masses, la couverture cordale est représentée par deux masses pouvant bouger de manière indépendante :  $\mathbf{m}_1$  correspondant à la lèvre inférieure et  $\mathbf{m}_2$  correspondant à la lèvre supérieure.

Ces deux masses sont reliées entre elles et au corps de la corde vocale  $m$  par des ressorts. La pression intra-glottique  $P$  est plus élevée lorsque la glotte est convergente, c'est-à-dire lorsque les plis vocaux s'ouvrent, que lorsqu'elle est divergente, c'est-à-dire lorsque les plis vocaux se ferment (voir Figure 9).

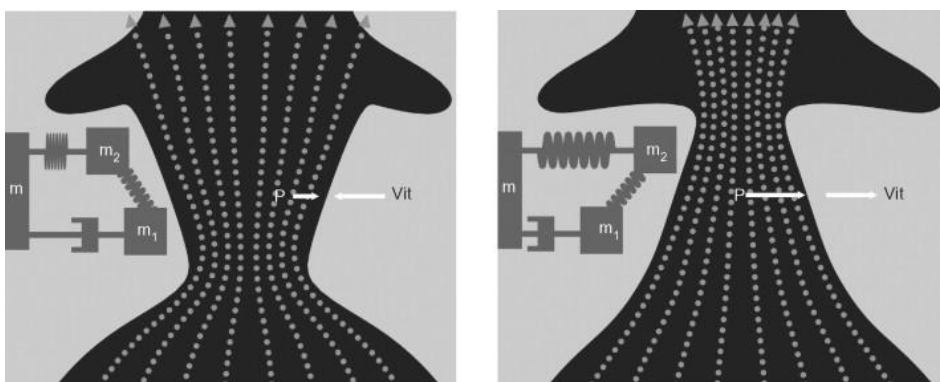


Figure 9. Coupe frontale du vibrateur laryngé illustrant l'opposition de phase entre les lèvres inférieures et les lèvres supérieures des plis vocaux en vibration.

A gauche, glotte divergente (mouvement de fermeture). A droite, glotte convergente (mouvement d'ouverture) (Finck & Lejeune, 2009).

Selon cette théorie, la vibration du corps et de la couverture sont indépendantes. Le vibrateur principal est la couverture cordale, dont la vibration est un phénomène passif. Sa souplesse permet son déplacement sur le corps qui est plus rigide et visqueux. L'espace de Reinke, grâce à sa structure gélatineuse, se déforme facilement sous l'impulsion de la pression sous-glottique, ce qui provoque l'ondulation muqueuse de la corde, observable via la vidéostroboscopie et la cinématographie ultra-rapide<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Techniques permettant l'observation des cordes vocales en vibration.

La vidéostroboscopie enregistre environ 25 images/seconde, via la décomposition de la vibration cordale trop rapide pour l'œil humain.

La cinématographie ultra-rapide permet de filmer jusqu'à 4.000 images/seconde.

## Réglage de la fréquence fondamentale

En acoustique, la fréquence fondamentale (F0) correspond à l'harmonique<sup>4</sup> le plus bas du signal vocal. C'est le principal responsable de la sensation subjective de hauteur du son: plus F0 est élevé, plus le son est aigu et inversement (Brin, Courier, Lederlé, & Masy, 2004). D'un point de vue physique, F0 dépend du nombre de cycles glottiques par seconde et est mesuré en Hertz (Hz).

Selon Titze (2000), le réglage de F0 dépend de la fréquence de vibration, régie par la longueur vibrante, la masse vibrante, et la rigidité des plis vocaux, ainsi que par la pression sous-glottique. Ainsi, la **longueur** vibrante détermine le stress longitudinal dans la couverture cordale. La **masse** vibrante correspond à la quantité de matière en vibration. La **rigidité** est directement proportionnelle à la tension cordale, qui est fonction de la géométrie cordale et de la contraction du muscle vocal. Lorsque la corde vocale est étirée passivement, les fibres tissulaires deviennent plus rigides. Inversement, lorsque la corde vocale se raccourcit, les fibres tissulaires deviennent plus lâches.

L'élévation de la **pression sous-glottique** engendre une augmentation de la tension cordale d'origine purement dynamique observée uniquement lors de la vibration, provoquant une augmentation de F0. La pression sous-glottique et F0 sont positivement corrélés lorsque la contraction des muscles intrinsèques du larynx reste constante.

---

<sup>4</sup> Selon le mathématicien Fourier, tout son complexe, dont la voix, peut être décomposé en une somme de sons simples appelés harmoniques. Le fondamental (F0) est l'harmonique le plus bas. Les autres harmoniques (F1, F2,..) sont des multiples entiers du fondamental.

## Chapitre 1. La production vocale normale

Les deux principaux muscles intervenant dans le contrôle de  $F_0$  sont les muscles thyro-aryténoïdiens et les muscles crico-thyroïdiens. La contraction isolée des muscles crico-thyroïdiens fait pivoter le cartilage thyroïde et augmente ainsi la distance entre le thyroïde et les cartilages aryténoïdes (voir Figure 10). Il en résulte un allongement des plis vocaux, une augmentation de leur rigidité tant au niveau de la couverture que du corps, et une élévation de  $F_0$ . A l'opposé, une contraction isolée thyro-aryténoïdienne affecte le corps cordal. Elle provoque un raccourcissement de la corde vocale, une diminution de la rigidité de la couverture, une possible augmentation de la rigidité du corps cordal et une probable diminution de  $F_0$ . Finalement, si le crico-thyroïdien et le thyro-aryténoïdien se contractent simultanément sans modifier la longueur cordale (condition isométrique), il en résulte une légère augmentation de  $F_0$  (Titze, 2000).

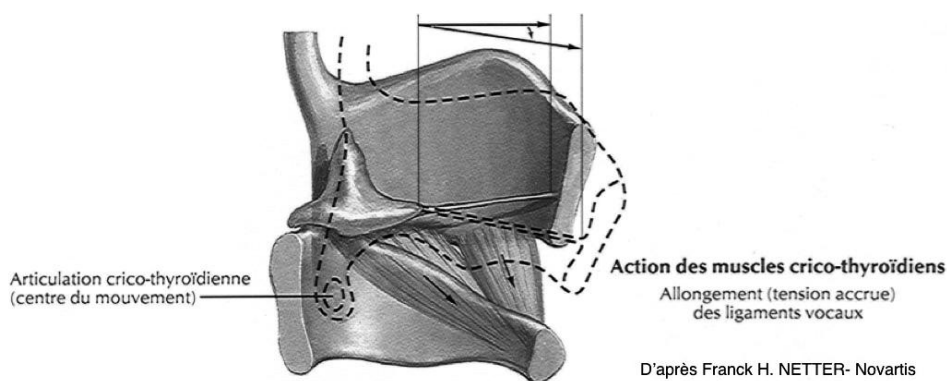


Figure 10. Action des muscles crico-thyroïdiens (Netter, 2006/2007).

## Réglage de l'intensité

L'intensité ou niveau de pression sonore de la voix correspond à la quantité d'énergie sonore produite et se mesure en décibels (dB). Titze (2000) explique que l'intensité dépend de **3 mécanismes** distincts, impliquant des ajustements de l'étage sous-glottique, de l'étage glottique, et de l'étage supra-glottique.

Au niveau de **l'étage sous-glottique**, l'intensité dépend de l'énergie aérodynamique délivrée par le système respiratoire, c'est-à dire de la pression sous-glottique, elle-même dépendante de la pression pulmonaire. Le niveau de pression sous-glottique détermine l'amplitude de vibration des plis vocaux : plus la pression est élevée, plus l'amplitude de vibration est importante, et plus l'intensité (ainsi que la fréquence) de la source glottique est élevée. L'intensité au niveau de la glotte augmente de 6dB à chaque fois que la pression (au-delà du seuil<sup>5</sup>) est doublée. Mais aussi, l'intensité au niveau de la glotte augmente de 6dB à chaque fois que F0 est doublé.

Au niveau de **l'étage glottique**, l'intensité est fonction de la quantité d'énergie aérodynamique transformée en énergie acoustique, sous la dépendance de l'ouverture glottique. Selon le degré d'ouverture glottique, le mode phonatoire varie sur un continuum allant d'une voix soufflée (manque d'adduction glottique) à une voix pressée (excès d'adduction glottique), en passant par une voix normale. Selon Titze (2000), le degré d'adduction glottique permettant un niveau d'énergie glottique optimal est proche du centre du continuum, mais légèrement décalé vers la voix soufflée, nécessitant un léger écartement des apophyses vocales. La configuration glottique dans laquelle les

---

<sup>5</sup> Le seuil de pression phonatoire (*phonation threshold pressure*) est le niveau de pression minimal permettant d'initier l'oscillation cordale.

apophyses vocales sont presque en contact permet donc de produire l'énergie glottique la plus intense. Giovanni (2004) précise que plus la voix est forte, plus le temps pendant lequel les plis vocaux sont fermés est important.

Au niveau de **l'étage supra-glottique**, on observe une amplification des harmoniques lors de leur passage dans les résonateurs, et donc une augmentation de l'intensité vocale. Le conduit supra-glottique est un système passif qui agit comme un mégaphone en amplifiant le son produit au niveau de la glotte. Certaines fréquences sont amplifiées, en particulier les harmoniques proches des formants<sup>6</sup>, tandis que les harmoniques entre les formants sont atténués. De plus, il y a une augmentation graduelle de l'énergie acoustique avec la fréquence.

### **Stress mécaniques associés à la vibration**

Afin de bien appréhender la notion de charge vocale, les paramètres l'influençant ainsi que ses conséquences, il est important de comprendre les divers stress mécaniques associés à la vibration. Ces stress sont systématiquement appliqués aux plis vocaux lors de la production vocale.

Les contraintes mécaniques décrites par Titze (1994) sont : le **stress lié à l'étirement longitudinal** appliqué principalement aux fibres longitudinales (antéro-postérieures) du ligament vocal, sous l'action du muscle crico-thyroïdien ; le **stress collisionnel** dû à l'impact entre les plis vocaux lors des vibrations, directement proportionnel à la pression sous-glottique et à F0 ; le **stress inertiel** lié à l'accélération et à la décélération des plis vocaux ; le **stress contractile des muscles laryngés** ; le **stress aérodynamique** causé par la pression sous-glottique ; le **stress de contact aryténoïdien** ; et le **stress de**

---

<sup>6</sup> Le formant est l'endroit où apparaît un renforcement en harmoniques, correspondant aux fréquences les plus amplifiées lors de l'émission d'un phonème (Bin et al., 2004).

**cisaillement** qui augmente proportionnellement à l'amplitude de vibration, au niveau du ligament. Titze, Svec et Popolo (2003) ajoutent que le tissu cordal est déformé de manière cyclique et extrêmement rapide lors de la vibration. L'énergie dissipée (friction) convertie en chaleur peut endommager les liaisons moléculaires par des **forces internes d'agitation thermique**.

Parmi ces stress inhérents à la vibration, Titze (1994) identifie le stress lié à l'étirement longitudinal comme étant de loin le plus élevé, suivi par le stress contractile des muscles laryngés, le stress de contact aryténoïdien, le stress collisionnel et le stress inertiel. Le stress aérodynamique est le plus faible. Tous les stress décrits ci-dessus sont susceptibles d'altérer le tissu cordal et de provoquer des lésions bénignes des plis vocaux, telles que les nodules et les polypes (Gunter, 2004; Titze, 1994).

Bien qu'il soit le plus élevé, le stress d'étirement longitudinal n'est pas le plus dangereux. En effet, il s'applique principalement au ligament vocal, structure très résistante et tout à fait capable de supporter ce stress. Le stress contractile s'applique quant à lui essentiellement au muscle vocal, lui aussi très résistante. Le corps cordal est donc parfaitement équipé pour absorber les stress liés à l'étirement longitudinal et à la contraction intramusculaire (Titze, 1994). Par contre, bien qu'ils ne soient pas les plus importants de par leur force, ce sont les stress collisionnel et inertiel qui comportent le plus de risques pour la couverture cordale, car ils agissent perpendiculairement aux fibres tissulaires et s'appliquent directement au tissu cordal (Titze, 1994). Les accélérations et décélérations rapides du tissu cordal ainsi que les collisions répétées peuvent endommager les liaisons moléculaires par un phénomène de *whiplash* (Titze et al., 2003). Un argument en faveur des risques potentiels liés au stress collisionnel est le fait que ce stress est maximal à l'endroit où se développent les nodules vocaux.



## Chapitre 1. La production vocale normale

Selon un modèle établi par Gunter (2004), les stress mécaniques sont corrélés négativement avec l'épaisseur de la muqueuse (augmentée par l'échauffement vocal et l'hydratation), corrélés positivement avec la pression sous-glottique (proportionnelle à l'intensité vocale), et ils dépendent de la méthode de production vocale (une technique vocale insuffisante ou inadaptée peut augmenter le risque de lésions).

A l'heure actuelle, l'hypothèse selon laquelle les excès de stress mécaniques peuvent causer des traumatismes tissulaires est largement acceptée. Gray et Thibeault (2002) précisent que la résistance aux stress, inhérente à chaque individu, est de nature constitutionnelle. Elle dépend des variations génétiques des propriétés biomécaniques des plis vocaux. Le fait que la résistance aux stress mécaniques soit propre à chaque individu explique que la tolérance à la charge vocale est individuelle, comme nous le détaillons dans le chapitre suivant.



## Chapitre 2. La charge vocale

---

Dans ce chapitre, nous définissons précisément la notion de charge vocale, ainsi que les paramètres l'influençant et les doses vocales s'y rapportant. Ensuite, nous décrivons les différents stades de la charge vocale, allant des effets positifs liés à l'échauffement jusqu'aux effets négatifs dus à une surcharge vocale. Sur base d'une revue de la littérature ayant étudié les conséquences de la charge vocale, nous synthétisons les changements à court terme observés sur les plans physiologique, aérodynamique, acoustique, perceptif et subjectif, ainsi que les conséquences possibles d'une surcharge vocale sur le long terme. Enfin, nous situons les différents cadres et les diverses approches méthodologiques employés pour étudier la charge vocale.

### Définitions

La **charge vocale** correspond aux termes anglais « *vocal load* » ou « *vocal loading* ». Ce concept est encore relativement récent : les publications anglophones sur le sujet datent essentiellement des 15 dernières années, la littérature francophone ayant très peu abordé ce thème. Selon les sources anglophones, le concept de charge vocale se rapporte à la quantité de phonation, ou plus précisément à la quantité de travail accompli par le mécanisme laryngé lors de la phonation (Morrow & Connor, 2011a). En d'autres termes, il s'agit de la quantité d'utilisation vocale intégrée par unité de temps (Bottalico & Astolfi, 2012). D'après Titze (2001), la charge vocale est la puissance acoustique vocale intégrée au cours du temps. Elle serait à l'origine des stress mécaniques et des déformations imposées aux plis vocaux, en termes de durée d'exposition aux vibrations, de fréquence de vibration et d'accélération des tissus en vibration.

Vilkman (2004) considère que la charge vocale est une appellation utilisée pour quantifier les exigences vocales, incluant non seulement la quantité d'utilisation du mécanisme vocal comme décrit plus haut, mais également la manière dont celui-ci est utilisé, ainsi que les facteurs de charge vocale additionnels ou facteurs environnementaux, et les facteurs individuels. Les facteurs de charge vocale additionnels incluent le bruit ambiant, la qualité acoustique du local, la qualité de l'air, l'ergonomie et les aspects psychosociaux, regroupant les facteurs de stress liés au travail. Les facteurs individuels concernent quant à eux le sexe, l'endurance, l'état de santé général, les habitudes de vie, les capacités vocales et les aspects psychosociaux propres à chaque individu.

Les termes **surmenage vocal** (*overuse*), **surcharge vocale** (*overloading*), **abus vocal** (*voice abuse*) et **hyperphonation** (*hyperphonation*) recouvrent un même concept et sont généralement employés pour désigner un excès de charge vocale. Dejonckere (2001b) utilise le terme **hyperphonation** pour décrire une utilisation vocale prolongée à intensité élevée, au-delà des limites physiologiques. Selon le Dictionnaire d'Orthophonie (Brin et al., 2004), « le **surmenage vocal** qualifie une utilisation abusive de la voix dans des conditions d'effort particulières (trop fort, trop longtemps, ... ). » Le surmenage vocal correspond donc à un fonctionnement vocal normal mais en quantité excessive. C'est une situation où le sujet, pour des raisons socioprofessionnelles le plus souvent, mais parfois aussi pour des raisons psychologiques, ne prend pas de repos vocal à la mesure de ses besoins physiologiques (Giovanni et al., 2007). D'après Titze, Svec et Popolo (2003), une utilisation vocale excessive peut être vue comme un problème d'exposition, généralement quantifié en termes de doses vocales. Bien que les vibrations des plis vocaux soient auto-induites, elles sont comparables à une exposition aux rayons solaires ou à une exposition à des substances chimiques. Une utilisation vocale excessive peut également être

## Chapitre 2. La charge vocale

comparée aux mouvements répétitifs responsables du *tennis elbow* (Vilkman, 2004), ou de la tendinite.

Il est important de différencier les notions de surmenage et de malmenage vocal (*vocal misuse*). En effet, le **malmenage vocal** se caractérise par un fonctionnement vocal anormal, provoquant souvent l'installation permanente d'un mécanisme d'effort vocal (Giovanni et al., 2007). D'après le Dictionnaire d'Orthophonie, « le malmenage vocal qualifie une utilisation non fonctionnelle (inefficace, fatigante, et parfois douloureuse) de la voix dans des conditions d'effort particulières (utilisation d'une respiration costale supérieure, absence de synchronisation pneumophonique, forçage vocal, etc.). Le malmenage renvoie davantage à l'aspect qualitatif de son utilisation, alors que le surmenage concerne plutôt son aspect quantitatif. »

Notons que tant dans la définition de Dejonckere que dans celle du Dictionnaire d'Orthophonie, l'hyperphonation ou surcharge vocale est associée à une charge vocale élevée en termes de durée et d'intensité, mais que la fréquence vocale n'est pas mentionnée. Force est de constater que la fréquence reste, à l'heure actuelle, un paramètre peu pris en compte dans la définition et l'étude de la charge vocale. En effet, dans de nombreux travaux, la charge vocale est assimilée à un usage prolongé de la voix et à des productions vocales à intensité élevée, sans référence particulière à la fréquence. Or, nous allons voir dans le point suivant que la fréquence est un des paramètres principaux influençant la charge vocale, au même titre que la durée et l'intensité.

## Paramètres de charge vocale et doses vocales

Selon Svec, Popolo et Titze (2003), les **3 principaux paramètres** influençant la charge vocale sont la durée de phonation, la fréquence fondamentale (F0) et l'intensité (SPL) de la voix. L'importance relative de chacun de ces 3 paramètres n'est pas encore clairement établie. Par exemple, on ignore si le fait de parler longtemps à intensité faible implique une charge vocale différente que le fait de parler peu de temps à intensité élevée, ou encore si une durée de phonation prolongée à fréquence grave implique la même charge vocale qu'une durée de phonation réduite à fréquence aigue.

Le premier paramètre influençant la charge vocale est la **durée de phonation** ou **dose de temps**. Il s'agit de la durée totale de vibration des plis vocaux sur une période déterminée. La durée de phonation diffère de la durée de parole. La durée de parole comprend tant les segments voisés<sup>7</sup> que les segments non voisés<sup>8</sup>, tandis que la durée de phonation comprend uniquement les segments voisés. D'un point de vue mécanique, plus la durée de phonation se prolonge dans le temps, plus les stress appliqués aux plis vocaux sont importants. Le fait de faire des pauses lors de l'utilisation vocale permet la récupération des tissus traumatisés par les vibrations et prolonge la durée de phonation sans risque (Titze et al., 2003; Yiu & Chan, 2003). Cependant, la littérature ne fournit pas de données précises quant à la durée de repos nécessaire à la récupération post charge vocale. Cette durée est sans doute très personnelle et dépend notamment des caractéristiques tissulaires du sujet.

---

<sup>7</sup> Les segments voisés correspondent aux voyelles et consonnes sonores, c'est-à-dire résultant de la vibration des cordes vocales.

<sup>8</sup> Les segments non voisés correspondent aux consonnes sourdes, produites sans vibration des cordes vocales.

## Chapitre 2. La charge vocale

Le second paramètre influençant la charge vocale est la **fréquence fondamentale**. Elle est fonction du nombre de vibrations des plis vocaux par unité de temps. D'un point de vue mécanique, plus  $F_0$  est élevé, plus les collisions entre les plis vocaux sont nombreuses. Une fréquence augmentée est donc associée à un stress collisionnel augmenté et à un risque accru de microtraumatismes des plis vocaux. Dès lors, les individus ayant une fréquence aiguë (les femmes) auraient davantage de risques de présenter des pathologies vocales que les individus ayant une fréquence grave (les hommes), en raison du nombre d'oscillations et de collisions des plis vocaux plus élevé pour une quantité de phonation égale. Ainsi, la littérature rapporte que les femmes sont quasiment deux fois plus susceptibles de présenter des problèmes de voix que les hommes (Roy, Merrill, Gray, & Smith, 2005). Cependant, la fréquence fondamentale n'est qu'un facteur explicatif parmi d'autres concernant la prépondérance des troubles vocaux chez les femmes (Dejonckere, 2001a; Hunter, Tanner, & Smith, 2011). Par ailleurs, rappelons que l'élévation de  $F_0$  est liée à un étirement longitudinal des plis vocaux et à l'augmentation de leur tension, impliquant une augmentation du stress d'étirement longitudinal et du stress contractile intramusculaire.

Enfin, le troisième paramètre influençant la charge vocale est l'**intensité** de la voix. Elle dépend de l'amplitude de vibration des plis vocaux et de l'accélération tissulaire. Les conséquences mécaniques liées à une intensité élevée sont l'élévation de la pression sous-glottique, l'augmentation de l'amplitude de vibration des plis vocaux et de leur force d'adduction. Une voix à intensité élevée induit des forces de collisions importantes des plis vocaux, pouvant être dangereuses pour la muqueuse.

Les 3 paramètres décrits ci-dessus ont été utilisés par Titze et al. (2003) ainsi que Svec et al. (2003) pour mettre au point **5 doses vocales** : la dose de temps (*time dose* ou *voicing time*), la dose de cycles (*cycle dose*), la dose de

distance (*distance dose*), la dose de dissipation d'énergie (*energy dissipation dose*), et la dose d'énergie sonore émise (*radiated energy dose*). Ces doses, permettant de quantifier la charge vocale, sont utilisées pour étudier les effets de la vibration sur les tissus des plis vocaux. Elles sont inspirées par le domaine de la santé du travail qui établit des limites concernant la répétition des vibrations mécaniques transmises aux tissus corporels par des machines, pouvant entraîner des maladies professionnelles (Dejonckere, 2001b).

La **dose de temps**, décrite plus haut, correspond à la durée totale pendant laquelle les plis vocaux vibrent (Svec, Popolo, et al., 2003; Titze et al., 2003).

La **dose de distance** quantifie la distance totale parcourue par les plis vocaux lors de leur vibration. Elle dépend de la durée de phonation, de F0 et de SPL. L'intérêt de cette dose est qu'elle peut être comparée aux limites de sécurité établies pour les vibrations transmises aux mains. Dans l'industrie, la limite de distance parcourue par les mains est de 520 mètres par journée de travail. Au-delà, la dose de vibration devient dangereuse. Appliquée aux plis vocaux, cette dose de distance limite de 520 mètres serait dépassée en moins d'une heure de vibration à intensité et fréquence confortables (Svec, Popolo, et al., 2003; Titze et al., 2003).

La **dose de dissipation d'énergie** prend en compte le facteur d'agitation thermique du tissu cordal pendant la phonation. Elle correspond à la quantité totale de chaleur produite par unité de volume dans la corde vocale. Cette dose dépend de la durée de phonation, de F0, de SPL, de la viscosité et de l'épaisseur des plis vocaux (Svec, Popolo, et al., 2003; Titze et al., 2003).

La **dose de cycles** quantifie le nombre total de cycles vibratoires accomplis par les plis vocaux sur une durée déterminée. Elle prend en compte la



## Chapitre 2. La charge vocale

durée de phonation et F0 (Svec, Popolo, et al., 2003; Titze et al., 2003). Cette dose est similaire au « *vocal loading index* » défini par Rantala et Vilkmann (1999) comme une mesure du nombre total de cycles oscillatoires réalisés par les plis vocaux pendant une période de parole déterminée. Ces auteurs ont rapporté une corrélation positive entre le *vocal loading index* et les plaintes vocales rapportées par des enseignantes.

Enfin, la **dose d'énergie émise** n'est pas une mesure de l'exposition des plis vocaux, mais plutôt une mesure de l'exposition sonore potentielle pour l'auditeur. Cette dose peut être utile pour rendre compte de l'efficacité de la production vocale, car elle établit un lien entre l'énergie consommée par les plis vocaux et l'énergie acoustique émise. Elle dépend de la durée de phonation et de SPL (Svec, Popolo, et al., 2003; Titze et al., 2003).

### **Facteurs environnementaux influençant la charge vocale**

Nous avons maintenant une idée précise de ce qu'est la charge vocale et des différents paramètres qui la constituent. Cependant, ces paramètres sont largement influencés par des facteurs environnementaux liés à l'acoustique, par la distance entre les interlocuteurs, par le bruit environnant, ou encore par le niveau d'humidité. Ci-dessous, nous détaillons dans quelle mesure ces facteurs environnementaux influencent la charge vocale.

### **L'environnement acoustique**

La qualité acoustique de l'environnement a, non seulement, un impact sur la production vocale du locuteur, mais également sur la perception en termes de ressources mentales allouées par l'auditeur pour traiter le message transmis. Cet impact de l'environnement acoustique peut être soit positif, soit négatif. Il est reconnu qu'un environnement acoustique défavorable est un important facteur de risque pour les troubles de la voix (Howard & Angus, 2001).

Pour rappel, le son produit par le locuteur se propage dans l'air sous forme d'une onde directe et d'ondes réfléchies (résultant de l'impact de l'onde directe diffractée sur les différents parois du volume du local). La transmission des ondes réfléchies dépend de la dimension des parois du local (murs, sol, plafond), de leur position relative et de la nature des matériaux constituant ces parois.

Une notion importante déterminant la qualité de l'environnement acoustique est la **réverbération** : c'est la persistance d'un son dans un lieu alors que sa source originale n'existe plus. La réverbération résulte du mélange des réflexions directes et indirectes. Le temps de réverbération, ou temps nécessaire pour que le son disparaisse, dépend de la taille du local, de son aménagement ainsi que de la fréquence du son. Ainsi, plus le local est grand, plus le temps de réverbération sera élevé. Plus le local est meublé, plus le temps de réverbération sera réduit. A titre indicatif, le temps de réverbération peut varier de 0,2 sec dans un petit salon bien meublé à environ 10 sec dans une grande cathédrale de pierre et de verre (Howard & Angus, 2001). Une réverbération trop faible ou trop élevée a des effets négatifs, tant pour le locuteur que pour l'auditeur. Par exemple, il a été observé que le locuteur doit fournir plus d'intonation lorsque le temps de réverbération est faible afin d'assurer la compréhension du message (Bottalico, 2010). A l'opposé, un temps de réverbération excessif augmente le

## Chapitre 2. La charge vocale

phénomène d'écho et réduit l'intelligibilité de la parole, et ce de manière plus marquée chez les jeunes enfants (Bottalico, 2010; Yang & Bradley, 2009). Lorsque la réverbération est optimale, le locuteur n'a pas besoin d'améliorer son intelligibilité en modifiant son appareil phonatoire afin d'optimiser la résonance (Bottalico, 2010). Notons que la réverbération a un effet direct sur le bruit environnant : plus le temps de réverbération est grand, plus les phénomènes d'écho et de résonance sont élevés, et plus le local est bruyant.

### **Le bruit environnant**

Le bruit environnant provoque automatiquement une augmentation de l'intensité vocale : c'est l'effet Lombard, initialement décrit par Etienne Lombard en 1911. Inconsciemment, le locuteur augmente son intensité vocale lorsque le bruit ambiant augmente, dans le but d'améliorer son feedback auditif et de maintenir un rapport signal/bruit permettant la compréhension du message (Aronsson, Bohman, Ternström, & Södersten, 2007; Bond, Moore, & Gable, 1989; Dejonckere & Pepin, 1983; Gramming, Sundberg, Ternström, Leanderson, & Perkins, 1988; Sodersten, Ternstrom, & Bohman, 2005; Ternstrom, Sodersten, & Bohman, 2002). Parallèlement, une élévation de la fréquence fondamentale est également observée (Aronsson et al., 2007; Bond et al., 1989; Bottalico, Garcia, Astolfi, & Brunskog, 2010; Gramming et al., 1988; Sodersten et al., 2005; Ternstrom et al., 2002). Selon Garnier (2007), l'adaptation à une situation de communication en environnement bruyant varie selon les sujets, expliquant que certains individus qui parlent fréquemment dans un environnement bruyant sont plus susceptibles que d'autres de développer des troubles de la voix. Par exemple, certains individus augmentent davantage leur intensité vocale dans le bruit, d'autres jouent plus sur le ralentissement du débit de parole, ou encore sur l'allongement de la durée syllabique, etc.

### **La distance entre les interlocuteurs**

Dès sa sortie de la bouche, l'onde sonore émise par le locuteur se propage dans l'air en rayonnements sphériques. La même quantité d'énergie se répand donc progressivement avec la distance, et la puissance acoustique diminue à mesure que la distance augmente. En pratique, le niveau de pression sonore d'un son diminue de 6 dB lorsque la distance est doublée. Pour produire un même effet sur l'auditeur, le locuteur doit donc augmenter son intensité vocale de 6 dB à chaque fois que la distance est doublée (Titze, 2000).

### **Le niveau d'humidité et l'hydratation interne**

La charge vocale dans un environnement sec induit un comportement vocal hyperfonctionnel et davantage de symptômes vocaux que dans un environnement humide (Vilkman, 2004; Vilkman, Lauri, Alku, Sala, & Sihvo, 1997). Un faible degré d'**humidité ambiante** serait une condition défavorable, augmentant les risques associés à la charge vocale (Vilkman, 2004). En effet, il existe une corrélation négative entre le niveau d'humidité et la viscosité du tissu cordal. Des études ont montré qu'un faible degré d'humidité augmente le seuil de pression phonatoire (Jiang, Verdolini, Aquino, Ng, & Hanson, 2000; Verdolini, Titze, & Fennell, 1994). Ainsi, une viscosité tissulaire élevée et un seuil phonatoire augmenté, causés par un faible degré d'humidité, augmenteraient les stress mécaniques appliqués aux tissus vocaux et donc le risque de microtraumatismes. De façon similaire, le niveau d'**hydratation interne** est lui aussi corrélé négativement avec le seuil de pression phonatoire. Le fait de boire de l'eau durant la charge vocale est bénéfique car il atténue l'augmentation du seuil de pression phonatoire (Solomon & DiMattia, 2000), préserve la qualité vocale et retarde la sensation de fatigue (Yiu & Chan, 2003). Dans le cadre de la recherche, il est donc important de contrôler le degré

## Chapitre 2. La charge vocale

d'hydratation interne et externe. En pratique, un degré d'humidité suffisant et une bonne hydratation interne sont recommandés afin d'optimiser le fonctionnement laryngé.

## Différents stades de la charge vocale

La charge vocale n'est pas un phénomène provoquant des conséquences linéaires et unidirectionnelles sur la fonction phonatoire et la qualité vocale. En d'autres termes, la voix n'évolue pas sous la forme d'une dégradation systématique et progressive du premier au dernier mot produit. La charge vocale est plutôt une succession de différents stades ou étapes dans le temps, qui vont être influencés par de nombreux critères et avoir des effets tantôt bénéfiques, tantôt néfastes sur la fonction vocale.

Selon Vinturri (2001), la charge vocale correspond à un usage prolongé de la voix. Elle peut être représentée sous la forme d'un continuum comprenant **différents stades**, caractérisés par des changements subjectifs (ressentis par le sujet), des changements perceptifs et des changements physiologiques (voir Figure 11).

Au début de la charge vocale, il y a une période d'**échauffement vocal** (*vocal warm-up*) suite à laquelle le débit sanguin et la température des muscles sont augmentés (Elliot, Sundberg, & Gramming, 1995). D'après Vinturri (2001), les effets de l'échauffement vocal se traduisent par de rapides changements physiologiques, perceptifs et subjectifs constituant une adaptation à la charge vocale. Aussi bien en voix parlée qu'en voix chantée, la littérature rapporte des changements vocaux bénéfiques entre 5 et 45 minutes d'échauffement vocal. Subjectivement, la production vocale est facilitée, les sujets se sentent plus alertes et énergiques. La voix chantée est plus aisée, le timbre est amélioré, et les sujets rapportent plus de facilités, surtout dans les fréquences aigües (Elliot et al., 1995). Perceptivement, l'émission vocale devient plus stable et plus harmonieuse ; la voix sonne mieux et plus fort. Ces aspects sont sans doute bénéfiques pour la communication, mais d'un point de vue physiologique, les

## Chapitre 2. La charge vocale

conséquences sont moins claires. En effet, une voix plus forte induit des forces de collision plus importantes, pouvant être dangereuses pour la muqueuse cordale. Par ailleurs, les conséquences sur le plan glottique varient selon les études, certaines montrant des modifications du plan laryngé dès 15 à 20 minutes (De Bodt, Wuyts, Van de Heyning, Lambrechts, & Vanden Abeele, 1998; Linville, 1995), et d'autres ne montrant pas de changements après 30 minutes (Niebudek-Bogusz, Kotylo, & Sliwinska-Kowalska, 2007). Lorsqu'il est effectué volontairement, l'échauffement vocal consiste en une mise en route qui comprend des exercices corporels, respiratoires, vocaux et résonantiels réalisés avant la performance parlée ou chantée. Dans la littérature, la durée de la période d'échauffement n'est pas clairement établie, elle varie d'un individu à l'autre et est influencée par des facteurs tels que la santé vocale du sujet, son niveau d'expertise, le type d'activité vocale, etc.

Vintturi (2001) identifie également une période qu'il nomme **premier stade de la charge vocale** (*Early Stage of Vocal Loading*). Ce stade désigne les 45 premières minutes de charge vocale ainsi que les phénomènes physiologiques, perceptifs et subjectifs qui s'y rapportent. Par définition, l'échauffement vocal est inclus dans ce premier stade de la charge vocale.

Ensuite, si la charge vocale se poursuit suffisamment longtemps, elle conduit à divers signes de **fatigue vocale** (*vocal fatigue*), de fatigue physique générale et de fatigue psychologique. La fatigue physique générale correspond à la fatigue musculaire, qui est une série d'adaptations se produisant pendant le travail (pouvant affecter les muscles intervenant dans la respiration, l'articulation, le maintien de la posture, etc). La fatigue psychologique ou fatigue centrale fait référence à une sensation de fatigue générale, sans symptômes locaux (Vilkman, 2004). Elle serait un mécanisme de protection qui découragerait l'individu à poursuivre l'effort, permettant ainsi le processus de récupération (Vintturi, 2001). Concernant la fatigue vocale, les différents

spécialistes qui se sont penchés sur la question n'ont pas encore abouti à un consensus quant à sa définition et ses causes (Hunter & Titze, 2009; Sander & Ripich, 1983; Welham & Maclagan, 2003). Cependant, Titze (1999) identifie la fatigue des muscles du larynx et la fatigue des tissus laryngés comme étant les 2 aspects principaux de la fatigue vocale. Premièrement, la fatigue des muscles du larynx correspond à une diminution de leur force à court terme et de leur vitesse de contraction, dû à un excès de substances chimiques dans le muscle. Cette fatigue musculaire est principalement causée par une quantité importante de mouvements. Deuxièmement, la fatigue des tissus laryngés est causée par des changements temporaires ou permanents de la lamina propria, résultant des stress liés à la phonation. Ces changements de la lamina propria sont susceptibles de modifier les propriétés biomécaniques du tissu, ainsi que ses caractéristiques vibratoires (Hunter & Titze, 2009). Dans sa représentation de la charge vocale sous forme d'un continuum, Vintturi (2001) définit la fatigue vocale comme étant une étape de la charge qui se manifeste par des changements physiologiques, perceptifs ou subjectifs à court terme généralement négatifs. Certains de ces changements sont nécessaires afin d'éviter une surcharge physiologique. De façon similaire, Welham et Maclagan (2003) définissent la fatigue vocale comme une adaptation vocale négative survenant suite à un usage prolongé de la voix. Cette adaptation négative de nature perceptive, acoustique ou physiologique reflète des changements indésirables ou inattendus du fonctionnement laryngé.

Enfin, le dernier stade de la charge vocale décrit par Vintturi (2001) est le **repos vocal** ou temps de récupération après la charge (*post-loading vocal rest*). En physiologie générale, le processus de récupération prend cours quand la performance est interrompue, réduite, ou qu'elle change de nature ; cela va de pair avec une réduction de la fatigue et une augmentation des capacités de performance (Schmidt & Gerhard, 1983, cités par Vintturi, 2001). Suite à la



## Chapitre 2. La charge vocale

charge vocale, le repos permet la disparition des éventuels symptômes et l'amélioration des paramètres vocaux altérés.

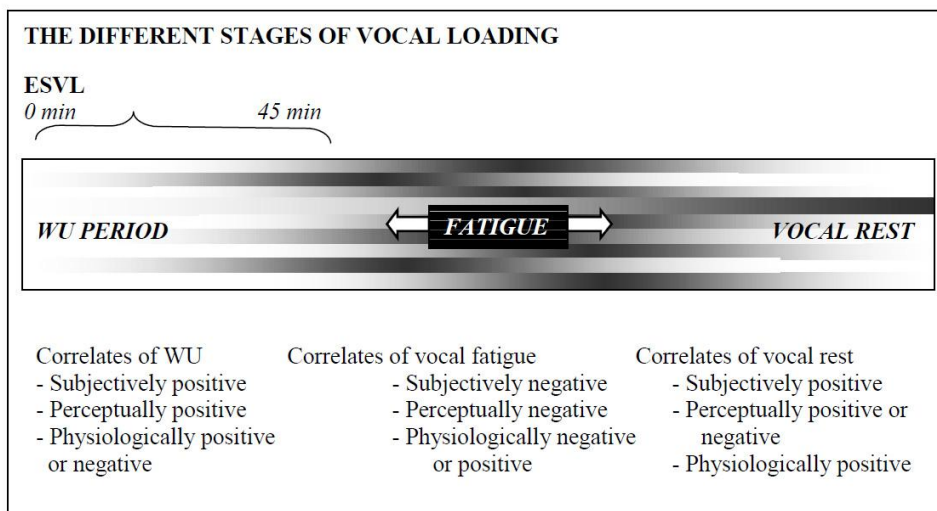


Figure 11. Représentation des différents stades de la charge vocale par Vintturi (2001). ESVL = Early Stage of Vocal Loading ; WU = Warm-Up.

Jilek, Marienhagen et Hacki (2004) distinguent **4 stades** dans le processus de charge vocale. Le premier stade correspond à **l'échauffement vocal**, lorsque le système laryngé s'adapte à la demande vocale. Le deuxième stade est la **phase de performance**, lorsque l'appareil vocal fonctionne de manière très efficace. Le troisième stade est la **fatigue vocale**, indiquant entre autres des changements des capacités musculaires. Le quatrième stade est le **repos vocal** après la charge, permettant la mise en place des processus de récupération.

Selon nous, les stades décrits dans la littérature sont difficiles à dissocier. Les paramètres vocaux (acoustiques, aérodynamiques, subjectifs, perceptifs, physiologiques) évoluent de manière complexe au cours de la charge

vocale. Ainsi, l'identification d'un stade de charge vocale, de sa durée et du passage d'un stade à l'autre est délicate. De plus, la durée de chaque phase varie en fonction des individus, ayant tous leur résistance propre à la charge vocale. Dans notre travail, nous aborderons l'évolution de la charge vocale selon le schéma suivant :

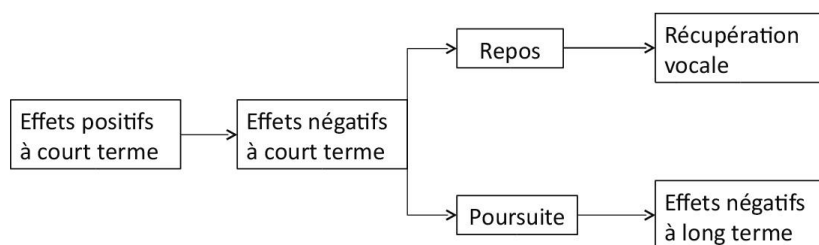


Figure 12. Evolution de la voix selon la durée de la charge vocale.

Dans un premier temps, nous observons des effets positifs liés à la charge vocale, résultant de l'échauffement décrit ci-dessus. Ensuite, si la charge vocale est poursuivie suffisamment longtemps, des effets négatifs à court terme apparaissent. Les effets négatifs résultant de la (sur)charge vocale sont détaillés dans la partie ci-dessous, traitant de l'impact de la charge vocale. Les changements négatifs dus à la charge vocale agissent comme des signaux d'alerte permettant d'empêcher le sujet de dépasser ses limites physiologiques. A ce stade, 2 possibilités s'offrent à l'individu : la poursuite ou l'arrêt de la charge vocale. S'il poursuit la charge vocale, il y a un risque de développer des effets négatifs à long terme, c'est-à-dire une pathologie vocale. Si l'activité vocale est arrêtée et qu'une période de repos suffisante est octroyée, la récupération permet à l'individu de recommencer un cycle de charge vocale sans risques pour sa santé vocale.

### **Impact de la charge vocale**

Avant tout, il faut signaler que les conséquences de la charge vocale (sur le plan laryngé et sur la qualité vocale) sont propres à chaque individu, dépendant de son état et de sa physiologie, tant d'un point de vue général que glottique. Chacun a donc sa propre résistance à la charge vocale.

Dans la description des différents stades de la charge vocale, nous venons de voir que celle-ci peut avoir des effets à court terme, ainsi que des effets à long terme. Nous allons dans un premier temps décrire les effets à court terme, en réalisant un bilan des observations faites dans les travaux antérieurs. Nous synthétisons ici les principales conséquences de la charge vocale en présentant les changements physiologiques et laryngés, les changements aérodynamiques, les changements acoustiques, les changements perceptifs détectés par l'auditeur, et les changements perçus par le locuteur suite à un usage vocal prolongé allant de 15 minutes (en condition de laboratoire) à une journée complète (en condition réelle). Les principaux résultats des études consultées pour rédiger cette partie sont détaillés dans les annexes 1 et 2. Dans un second temps, nous présentons les risques à long terme identifiés dans la littérature comme étant secondaires à la charge vocale.

#### **Effets à court terme**

##### **Changements physiologiques et laryngés**

Les changements observés à l'examen vidéostroboscopique montrent des différences d'une étude à l'autre, ainsi que des différences interindividuelles au sein d'une même étude. Certains auteurs mettent en évidence des modifications survenant plus ou moins rapidement au cours de la charge vocale, tel que Linville (1995) qui observe des modifications des patterns vibratoires

après 15 minutes, ou Gelfer, Andrews et Schmidt (1996) qui décrivent une augmentation de l'amplitude d'ouverture glottique après 1 heure, ou encore Solomon et collaborateurs (2000; 2003) qui rapportent une fuite glottique chez certains participants après 2 heures de charge vocale. Certains auteurs rapportent une augmentation de l'œdème après 20 minutes chez des futures enseignantes (De Bodt et al., 1998), tandis que d'autres ne détectent pas de changement suite à 30 minutes de charge chez des enseignantes dysphoniques (Niebudek-Bogusz et al., 2007) ou chez des sujets atteints de paralysie cordale (Kelchner, Lee, & Stemple, 2003). La vidéostroboscopie met en évidence une augmentation de l'œdème, de l'érythème et de l'irrégularité du bord libre des plis vocaux après 5 jours d'entraînement chez des sergents de l'armée américaine, ainsi qu'une diminution de l'ondulation muqueuse et de l'amplitude vibratoire des plis vocaux (Mann et al., 1999). Des études plus récentes, utilisant la cinématographie ultra-rapide et le phonovibrogramme<sup>9</sup>, montrent que la charge vocale affecte les caractéristiques vibratoires des plis vocaux : une modification des mouvements d'ouverture et de fermeture des cordes ainsi qu'une asymétrie vibratoire entre les 2 cordes sont observées post charge vocale (Doellinger, Lohscheller, McWhorter, & Kunduk, 2009; Lohscheller, Doellinger, McWhorter, & Kunduk, 2008). Enfin, via l'observation des changements de la fréquence des potentiels de contraction des muscles thyro-aryténoïdiens, crico-thyroïdiens et crico-aryténoïdiens latéraux, l'électromyographie met en évidence une fatigue des muscles laryngés suite à un usage vocal prolongé (Boucher, Ahmarani, & Ayad, 2006; Boucher & Ayad, 2010).

Certaines études ont utilisé l'électroglottographie. Cette technique permet d'objectiver les mouvements d'ouverture et de fermeture glottique, via la

---

<sup>9</sup> Le phonovibrogramme est un procédé de visualisation permettant d'extraire des informations sur le mouvement vibratoire des cordes vocales sous forme de diagrammes, à partir des enregistrements en cinématographie ultra-rapide. Il renseigne sur le degré d'asymétrie vibratoire, la vitesse et l'accélération de l'ondulation de chaque corde vocale.

## Chapitre 2. La charge vocale

mesure de l'impédance électrique entre deux électrodes placées de part et d'autre du larynx. Les résultats de ces études ont montré une diminution du quotient de contact des plis vocaux après 30 minutes de charge vocale en laboratoire, mais pas de modification après 30 minutes de cours d'aérobic chez des instructrices, ou après 1 journée de travail chez des femmes avec et sans histoire de fatigue vocale (Buekers, 1998; Wolfe, Long, Youngblood, Williford, & Olson, 2002).

Au vu des résultats des diverses études consultées, la charge vocale semble bien provoquer des modifications physiologiques et laryngées, variant selon la technique d'examen utilisée, selon la population investiguée, et selon la nature de la charge vocale.

### **Changements aérodynamiques**

Au niveau aérodynamique, les principales modifications causées par la charge vocale se traduisent par une augmentation du seuil de pression phonatoire (Chang & Karnell, 2004; Solomon & DiMattia, 2000; Solomon et al., 2003) et une augmentation de la pression sous-glottique (Kostyk & Rochet, 1998; Vilkman, Lauri, Alku, Sala, & Sihvo, 1999; Vintturi et al., 2001b). L'élévation de ces paramètres serait due à une augmentation de la viscosité et de la rigidité cordale, nécessitant davantage d'énergie aérodynamique pour la mise en route et le maintien de la vibration cordale. Un retour du seuil de pression phonatoire au niveau initial après un repos vocal est associé à une réduction de la viscosité et de la rigidité cordale (Chang & Karnell, 2004).

Excepté pour les mesures relatives à la pression sous-glottique, nous observons peu de consensus dans la littérature concernant l'évolution des paramètres aérodynamiques post charge vocale. En effet, plusieurs études ne démontrent pas de modification du volume phonatoire, du débit d'air et du temps maximum de phonation (Kelchner, Toner, & Lee, 2006; Neils & Yairi, 1987; Stemple, Stanley, & Lee, 1995). Une étude montre une augmentation du débit

d'air moyen et une diminution du temps maximum phonatoire chez des sujets atteints de paralysie cordale (Kelchner et al., 2003). Une autre étude montre une diminution du débit d'air après une journée de travail chez des enseignantes souffrant de fatigue vocale (Kostyk et Rochet, 1998).

### **Changements acoustiques**

Le principal changement acoustique observé suite à la charge vocale est une augmentation de F0 (Gelfer, Andrews, & Schmidt, 1991; Jonsdottir, Laukkanen, & Vilkmán, 2002; Kelchner et al., 2003; Kelchner et al., 2006; Laukkanen, Ilomaki, Leppanen, & Vilkmán, 2008; Laukkanen et al., 2004; Lehto, Laaksonen, Vilkmán, & Alku, 2006, 2008; Rantala, Haataja, Vilkmán, & Korkko, 1994; Rantala & Vilkmán, 1999; Rantala, Vilkmán, & Bloigu, 2002; Vilkmán et al., 1999). Cette augmentation de F0 est interprétée tantôt comme une adaptation à la charge, (Jonsdottir, Laukkanen, et al., 2002; Laukkanen et al., 2008; Rantala et al., 2002), tantôt comme un facteur favorisant l'apparition des pathologies vocales à cause des microtraumatismes répétés (Titze, 2000). Cependant, quelques rares études n'observent pas de changement de F0 après 20, 30 et 45 minutes de charge (De Bodt et al., 1998; Neils & Yairi, 1987; Wolfe et al., 2002). Parallèlement à l'augmentation de F0, la phonation devient plus pressée et hyperfonctionnelle après la charge vocale (Laukkanen et al., 2008; Lauri, Alku, Vilkmán, Sala, & Sihvo, 1997; Vilkmán et al., 1997, 1999).

Comme pour F0, la plupart des auteurs s'accordent sur le fait que SPL augmente suite à la charge vocale (Gelfer et al., 1991; Jonsdottir, Laukkanen, et al., 2002; Kelchner et al., 2003; Laukkanen et al., 2008; Laukkanen et al., 2004; Rantala et al., 1994; Vilkmán et al., 1999; Vintturi et al., 2001b), bien que quelques-uns n'observent pas cette augmentation de SPL (De Bodt et al., 1998; Kelchner et al., 2006; Lehto et al., 2006, 2008; Wolfe et al., 2002).

## Chapitre 2. La charge vocale

Concernant les indices de perturbation de fréquence et d'intensité, aucune tendance claire ne se dégage de la littérature, probablement en raison des différences méthodologiques et de population testée selon les études. Certains auteurs montrent une augmentation de la perturbation de F0 (dont le jitter) après 30 minutes chez des enseignantes dysphoniques (Niebudek-Bogusz et al., 2007) et après 1 heure chez des femmes novices en chant (Gelfer et al., 1991). D'autres auteurs observent une diminution du jitter après 1 journée de travail (Laukkanen et al., 2008). Enfin, il n'y a pas de modification du jitter après 30 minutes de tâches vocales fatigantes ou après 1 journée de travail (Buekers, 1998), ni après 30 minutes de travail chez des professeures d'aérobic (Wolfe et al., 2002) ou encore après 6 jours d'entraînement chez des sergents de l'armée américaine (Mann et al., 1999). Pour ce qui est des paramètres de perturbation de l'intensité (incluant le shimmer), il n'y a pas de changement après 30 minutes chez des enseignantes dysphoniques, mais bien une augmentation du shimmer chez les sujets souffrant de dysphonie hyperkinétique (Niebudek-Bogusz et al., 2007). Une diminution du shimmer est observée après 1 journée de travail (Laukkanen et al., 2008). Plusieurs études n'observent aucune modification après 30 min, 1 heure, ni après 1 journée de charge vocale (Buekers, 1998; Gelfer et al., 1991; Wolfe et al., 2002). Enfin, Mann et al. (1999) ne relèvent pas de changement significatif après 6 jours d'entraînement chez des sergents de l'armée américaine.

Au phonétoGramme, des résultats variables sont observés quant à la fréquence la plus faible, la fréquence la plus élevée, l'intensité la plus faible et l'intensité la plus élevée. Cette variabilité peut s'expliquer par des différences concernant la méthodologie utilisée, la nature et la durée de la charge vocale, le nombre de sujets testés, les instruments de mesure employés, etc. Les principaux résultats ne montrent pas de changement de la fréquence la plus grave, ni de la fréquence la plus aiguë après 2 heures de charge vocale (Kelchner et al., 2006). On note une augmentation de l'intensité la plus faible chez des sujets

normophoniques (Sihvo & Sala, 1996) et chez des sujets dysphoniques (Akerlund, 1993), concordant avec l'augmentation du seuil de pression phonatoire relevée via les mesures aérodynamiques. Il n'y a pas de modification de l'intensité la plus élevée chez des sujets normophoniques et dysphoniques après 15 minutes (Akerlund, 1993). Par contre, une augmentation de l'intensité la plus élevée est mesurée au cours de 5 x 45 minutes de charge chez des femmes normophoniques (Sihvo & Sala, 1996).

L'évolution du rapport signal/bruit varie, elle aussi, selon les études. Une diminution du rapport signal/bruit, indiquant une dégradation de la qualité vocale, est observée chez des femmes après 1 heure (Gelfer et al., 1991). D'autres auteurs n'observent pas de changement du rapport signal/bruit après 30 minutes chez des sujets normophoniques et dysphoniques (Buekers, 1998; Niebudek-Bogusz et al., 2007; Wolfe et al., 2002), ni chez des sujets atteints de paralysie cordale (Kelchner et al., 2003). Aucune modification du rapport signal/bruit n'est observée après 1 journée de travail (Buekers, 1998).

Enfin, l'analyse spectrale montre une augmentation de l'énergie des composants spectraux les plus aigus, indiquant un changement vers un comportement vocal hyperfonctionnel post charge vocale (Rantala, Paavola, Korkko, & Vilkmán, 1998). On relève une augmentation de l'énergie spectrale autour de la zone du formant du chanteur (entre 2000 et 4000Hz) reflétant un fonctionnement vocal plus pressé (Vintturi et al., 2001b), et une élévation du ratio alpha traduisant une augmentation de l'adduction glottique après 45 minutes de charge (Laukkanen et al., 2004).

### **Changements perceptifs**

Globalement, peu ou pas de changements perceptifs surviennent suite à la charge vocale. En effet, des juges experts ne perçoivent pas de changement de la qualité vocale suite à 2 heures de charge chez des adolescents (Kelchner et al.,



## Chapitre 2. La charge vocale

2006), pas de changement de la normalité vocale après 45 minutes de charge dans 3 conditions de bruit différentes chez des femmes (Neils & Yairi, 1987), pas de changement de la qualité vocale chez des sujets atteints de paralysie cordale (Kelchner et al., 2003), ni de changement de la raucité après 1h30 de charge chez des hommes ayant une voix rauque (Sherman & Jensen, 1962). Par contre, une diminution de la raucité est perçue chez des hommes normophoniques après 1h30 de charge vocale (Sherman & Jensen, 1962). Suite à 20 minutes de charge répétée à différentes fréquences et intensités, un changement est perçu après la charge à fréquence aiguë, mais non après la charge à fréquence grave ou moyenne (Stone & Scharf, 1973). Une étude observant les effets de la charge en voix chantée ne montre pas de changement significatif de la raucité et du souffle suite à un karaoké (Yiu & Chan, 2003).

### **Changements subjectifs**

Les changements subjectifs ressentis par le locuteur ont été évalués de diverses manières : questions ouvertes, questions fermées, échelles visuelles analogiques, etc. Les symptômes et plaintes vocales observés après la charge sont une fatigue centrale ou fatigue psychologique (Vintturi, Alku, Sala, Sihvo, & Vilkmann, 2003), une fatigue vocale ou laryngée (Buekers, 1998; De Bodt et al., 1998; Laukkanen et al., 2004; Lehto et al., 2006, 2008; Vintturi et al., 2003), une sensation d'effort vocal (Chang & Karnell, 2004; Kelchner et al., 2003; Kelchner et al., 2006; Solomon & DiMattia, 2000; Solomon et al., 2003), une sécheresse de la bouche ou de la gorge (De Bodt et al., 1998; Stemple et al., 1995; Vintturi et al., 2003), une gorge enflammée (De Bodt et al., 1998), des difficultés pour déglutir (De Bodt et al., 1998), des difficultés pour produire la voix (Laukkanen et al., 2004), une irritation (De Bodt et al., 1998), des chatouillements dans la gorge (Laukkanen et al., 2004; Stemple et al., 1995; Vintturi et al., 2003), un globus ou sensation de boule dans la gorge (De Bodt et al., 1998), des douleurs dans la gorge (Buekers, 1998; Laukkanen et al., 2004), un inconfort laryngé (Buekers, 1998), et une diminution de la qualité vocale

auto-évaluée (Kelchner et al., 2003; Kelchner et al., 2006; Laukkanen et al., 2004; Vintturi et al., 2003).

### **Effets à long terme**

La charge vocale n'a pas de conséquence négative durable sur le larynx tant qu'elle est suivie d'une phase de repos vocal suffisante, permettant la disparition des effets à court terme. En revanche, si le sujet ne s'octroie pas de repos à la mesure de ses besoins physiologiques, un **surmenage vocal** peut survenir, parfois accompagné d'un **malmenage**. On peut alors assister à l'apparition du **cercle vicieux de forçage vocal**, décrit par Le Huche & Allali (2010).

Le surmenage vocal apparaît dans des situations où le sujet a, généralement pour des raisons socioprofessionnelles, une demande vocale élevée et des temps de récupération insuffisants (Giovanni et al., 2007). C'est le cas de nombreux professionnels de la voix, qui ont une charge vocale importante et qui ne reposent pas suffisamment leur voix. Lorsque les situations de surmenage vocal sont répétées ou trop rapprochées pour permettre la récupération, des complications peuvent survenir telles que l'installation durable des symptômes vocaux, un geste vocal dysfonctionnel, voire des lésions cordales qui peuvent être responsables d'une dysphonie persistante.

Un effet à long terme de la charge vocale peut donc être l'installation d'une **dysphonie (dys)fonctionnelle** correspondant à « une altération du geste vocal en absence de perturbations organiques permanentes à l'origine de cette dysphonie. Elle se manifeste au niveau de l'appareil phonatoire soit par un excès de fonction (hypertonie, hyperkinésie ou hyperfonction), soit par une insuffisance de fonction (hypotonie, hypokinésie ou hypofonction) » (Remacle,

## Chapitre 2. La charge vocale

2003). La dysphonie fonctionnelle correspond donc à un geste vocal perturbé ou inadéquat, provoquant une diminution de l'efficacité vocale et entravant le processus de communication orale. Elle peut s'accompagner de modifications subjectives, perceptives, acoustiques et aérodynamiques. La dysphonie fonctionnelle peut elle-même générer des lésions organiques du larynx.

Un autre effet à long terme de la charge vocale peut donc être l'apparition de lésions bénignes des plis vocaux : on parle alors de **dysphonie organique**. Finck (2005, 2008) explique qu'en cas de pathologie vocale, les microtraumatismes vibratoires répétés induisent des modifications moléculaires au sein de la matrice extracellulaire de l'espace de Reinke, à l'origine d'une diminution des capacités vibratoires de ce dernier. À terme, différentes lésions bénignes peuvent alors se former au sein de l'espace de Reinke. La plupart de ces lésions sont, en réalité, une réponse tissulaire à une blessure cordale. Les patients peuvent évoluer soit vers une destruction de l'espace de Reinke et une détérioration de la souplesse tissulaire, soit au contraire vers une augmentation du volume et de l'épaisseur de ce dernier. Et pourtant, une grande partie de ces patients partage la même étiologie présidant au développement d'une lésion cordale bénigne: il s'agit du traumatisme vibratoire induit par un usage vocal excessif (Finck, 2005, 2008).

Parmi les pathologies favorisées par un usage vocal excessif, on retrouve l'érythème et l'œdème des plis vocaux associés à la notion de laryngite, le polype vocal (phonotraumatisme aigu), les nodules vocaux et la fibrose sous épithéliale, la dilatation vasculaire, et dans une certaine mesure, les ulcérations de contact et les granulomes aryénoïdiens (phonotraumatisme chronique) (Inserm, 2006; Titze, 2000). Dans ce travail, nous décrivons uniquement les nodules vocaux car c'est à cette pathologie que nous nous intéressons dans la partie expérimentale. En effet, les études 4 et 5 explorent l'impact de la charge

vocale chez des sujets porteurs de nodules vocaux, en comparaison avec des sujets sans pathologie vocale.

### **Le nodule vocal**

Le nodule est une des pathologies vocales les plus fréquemment rencontrées lors des consultations phoniatriques (Herrington-Hall, Lee, Stemple, Niemi, & McHone, 1988). Il constitue une lésion chronique souvent bilatérale, légèrement sous-cordale. Il est localisé à l'union du tiers antérieur et du tiers moyen de la corde vocale ou « point nodulaire », à l'endroit où la vibration cordale est maximale (voir Figure 13). Comme précisé par Hirano (1981a), la plupart des pathologies des plis vocaux proviennent de l'altération d'une couche spécifique. Dans le cas du nodule, on parle de lésion occupante et destructrice de l'espace de Reinke (Finck, 2008), ou encore de lésion exsudative affectant l'espace de Reinke (Remacle et al., 2003).

D'un point de vue histologique, les nodules présentent un aspect très hétérogène allant de l'œdème du chorion muqueux à de la fibrose dense, ancienne du chorion muqueux. Le plus souvent, on observe des formes intermédiaires où fibrose et œdème du chorion participent dans des proportions variables. Il existe également des nodules présentant un chorion œdémateux occupé par quelques structures vasculaires capillaires non dilatées appelées nodules angiectasiques, très proches des polypes (Giovanni et al., 2007).



Figure 13. Nodules vocaux (Finck, 2008).

Le nodule apparaît lorsque les capacités de régénération spontanée du tissu cordal sont dépassées, ce qui engendre une réponse tissulaire anormale de la corde vocale. Il s'agit d'un phénomène cicatriciel non abouti. Les lésions nodulaires sont caractérisées par d'importants dépôts de fibronectine le long de la membrane basale épithéliale, ainsi que dans l'espace de Reinke (Gray, Hammond, & Hanson, 1995). A un stade débutant, les nodules sont des lésions réversibles pouvant disparaître à l'aide de moyens conservateurs tels que l'orthophonie et l'hygiène vocale. Néanmoins, à partir de l'apparition de la fibrose, la disparition spontanée est plus rare et un acte chirurgical est généralement nécessaire (Giovanni et al., 2007).

Les principaux facteurs étiologiques des nodules sont le malmenage et le surmenage vocal. Bien qu'un lien direct de cause à effet n'ait pas été démontré, de nombreuses **preuves indirectes** suggèrent que les nodules sont le résultat de microtraumatismes répétés (Titze, 2000) :

- Ils apparaissent à l'endroit de la muqueuse où l'impact maximal a lieu lors de la vibration.
- Ces lésions sont bilatérales car les stress de collision impactent généralement les deux cordes de façon symétrique.

- La prévalence plus élevée des nodules chez les sujets ayant une utilisation vocale prolongée (professionnels de la voix, sujets bavards) suggère que la durée d'exposition aux vibrations joue un rôle dans l'apparition de ces lésions.
- La prévalence plus élevée de nodules parmi les voix aiguës (femmes, enfants, ténors, soprani) que parmi les voix graves (hommes, basses, alti) semble indiquer que la fréquence de vibration joue également un rôle dans l'apparition de ces lésions.
- Enfin, la prévalence plus élevée chez les sujets qui pratiquent des activités nécessitant des efforts vocaux ainsi qu'une intensité élevée (pom-pom girls, chanteurs de rock) suggère que l'amplitude de vibration joue elle aussi un rôle dans l'apparition des nodules.

Concernant les signes cliniques, les déformations nodulaires gênent l'adduction glottique et une glotte en « sablier » est observée. Une fuite d'air est alors présente durant la phonation, associée à une réduction du temps maximum de phonation et à une augmentation du débit glottique (analyse aérodynamique) ainsi qu'à un aspect voilé et soufflé de la voix (analyse perceptive). On observe généralement une rigidité cordale causée par la lésion ainsi que par l'augmentation de la tension musculaire, provoquant une augmentation de la pression sous-glottique et consécutivement une augmentation des forces de collision entre les plis vocaux. Les nodules vocaux occasionnent souvent un fonctionnement vocal pressé et hyperfonctionnel. Certaines formes de nodules entraînent une irrégularité de la fréquence vibratoire, pouvant se manifester par une augmentation du jitter et par un timbre éraillé. La production des sons aigus et de faible intensité est généralement difficile. Les plaintes vocales sont principalement une variabilité journalière des capacités vocales, une fatigue lors de la phonation prolongée, une diminution de l'endurance et, dans pratiquement tous les cas, l'altération de la voix chantée (Aronsson et al., 2007; Giovanni et al., 2007).

## **Différentes approches méthodologiques pour l'étude de la charge vocale**

Maintenant que nous avons défini la charge vocale, les facteurs l'influençant et ses conséquences possibles, nous présentons les différentes méthodologies utilisées en recherche pour étudier ce sujet. On recense deux approches principales liées au contexte d'étude. La première approche a lieu en laboratoire, tandis que la seconde a lieu en condition réelle d'utilisation vocale, c'est-à-dire sur le terrain. Dans le cadre de l'étude de la charge vocale en situation écologique, nous détaillons les techniques d'accumulation vocale ou de dosimétrie vocale.

En situation de **laboratoire**, la charge vocale est induite expérimentalement, le plus souvent via une tâche de lecture à voix haute, mais aussi parfois via la répétition de séquences de phonèmes. Généralement, une première mesure des paramètres étudiés est réalisée (paramètres acoustiques, aérodynamiques, vidéostroboscopiques, perceptifs, auto-évaluations...), suivie par la tâche de charge vocale pendant un laps de temps variable, puis d'une nouvelle mesure des mêmes paramètres. Ce cycle peut être répété plusieurs fois dans le but d'étudier l'évolution de la charge à différents temps. L'objectif est de rendre compte de l'évolution de la voix du sujet suite à une utilisation vocale prolongée, via les modifications des paramètres observés. Certains auteurs suggèrent que l'utilisation d'une tâche de lecture prolongée pourrait être une procédure de diagnostic permettant d'évaluer l'endurance vocale des patients lors du bilan (Gelfer et al., 1991). Une synthèse des études de la charge vocale réalisées en laboratoire est présentée dans l'annexe 1.

L'avantage des études en laboratoire est de permettre le contrôle d'un grand nombre de paramètres tels que l'intensité et la durée de la charge vocale,

mais également les facteurs environnementaux. Cependant, la charge vocale induite expérimentalement n'est pas toujours représentative des conditions réelles de charge vocale rencontrées dans la vie quotidienne et la généralisation des résultats est une des principales difficultés (Rantala et al., 1994). En effet, en condition de laboratoire, la charge vocale induite par une lecture prolongée diffère de la parole spontanée utilisée en situation réelle. En lecture, les énoncés sont plus longs et les pauses plus courtes qu'en langage spontané, et F0 est plus grave (Rantala et al., 1994). F0 est également plus grave en environnement contrôlé qu'en situation naturelle, tant chez des enfants que chez des adultes (Lindstrom, Ohlsson, Sjöholm, & Waye, 2010). De plus, le testing en laboratoire ne permet pas d'interaction avec l'interlocuteur, donc moins de pauses dans le discours. Notons que les interlocuteurs et les auditeurs peuvent être un facteur de stress et de variations émotionnelles influençant la voix. Par ailleurs, la lecture ou la répétition de phonèmes n'implique généralement pas l'utilisation de la voix projetée<sup>10</sup>, alors que celle-ci est souvent employée en situation réelle dans les professions caractérisées par une charge vocale importante. Enfin, sur le terrain, il y a une charge cognitive non reproduite lors des tâches en laboratoire. En effet, lorsque le sujet parle, il réfléchit en même temps à ce qu'il va dire après.

L'étude de la charge vocale **en condition réelle**, certes plus difficile à mettre en place, a l'avantage d'être hautement représentative de l'usage de la voix dans la vie de tous les jours. Lorsqu'étudiée sur le terrain, la charge vocale correspond à l'utilisation vocale habituelle de l'individu et elle est fortement influencée par les facteurs environnementaux. Les premières études réalisées sur le terrain ont principalement utilisé des enregistreurs analogiques et des enregistreurs numériques afin de collecter des échantillons vocaux de plus ou moins longue durée. Certaines études menées en condition réelle réalisent une première mesure de la voix en début de journée, suivie d'autres mesures en

---

<sup>10</sup> La voix projetée ou voix implicatrice correspond au comportement vocal par lequel le sujet entreprend d'agir sur autrui (Le Huche et Allali, 2010).



## Chapitre 2. La charge vocale

cours et/ou en fin de journée afin de déterminer les changements dus à la charge vocale. Une synthèse de ces études est présentée dans l'annexe 2. D'autres études enregistrent la voix en situation réelle sur des périodes plus ou moins longues afin d'analyser le comportement vocal.

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 charge vocale en situation écologique. Il s'agit des techniques **d'accumulation vocale** (*voice accumulation*) ou de **dosimétrie vocale** (*voice dosimetry*). Le terme dosimétrie vocale 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. Les doses vocales ont alors été définies (voir début du chapitre 2).

Les techniques d'accumulation ou de dosimétrie vocale sont des avancées de grand intérêt. Elles permettent d'objectiver le comportement phonatoire en temps réel 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, et d'établir des limites de sécurité dans le but de protéger les individus d'une surdose vibratoire pouvant engendrer des pathologies vocales (Hillman & Mehta, 2011). La dosimétrie vocale reste, à l'heure actuelle, l'apanage des laboratoires de recherche en raison du fait que peu de firmes commercialisent ces outils et de leur coût élevé. Mais dans un avenir proche, leur diffusion dans la clinique est très probable. L'utilisation de la dosimétrie dans la pratique clinique sera un apport indéniable tant pour l'évaluation que pour le traitement des patients dysphoniques. En effet, à l'heure actuelle, l'examen phoniatrique et le bilan logopédique comprennent divers examens fournissant des informations sur le fonctionnement vocal instantané (examen de la sphère ORL avec vidéostroboscopie et/ou cinématographie ultra-rapide, mesures acoustiques,

mesures aérodynamiques, analyse perceptive, questionnaires d'auto-évaluation, et autres examens si nécessaire). Les résultats de ces examens ne reflètent pas toujours le comportement vocal du patient au quotidien. De plus, il a été démontré que la quantité d'utilisation vocale auto-rapportée par le patient lui-même ne représente pas la réalité (Ohlsson, Brink, & Lofqvist, 1989; Watanabe, Shin, Oda, Fukaura, & Komiyama, 1987). Grâce à la dosimétrie vocale, les phoniâtres et logopèdes ne dépendront plus uniquement de la description que fait le patient de son comportement vocal habituel à un moment donné du temps. La dosimétrie apportera des informations objectives pouvant être comparées à des normes actuellement établies par plusieurs équipes de recherche à travers le monde.

Parmi les appareils actuellement disponibles sur le marché, nous allons décrire l'Ambulatory Phonation Monitor, Modèle 3200, commercialisé par la firme KayPENTAX (Montvale, NJ). C'est sur base de cet appareillage qu'ont été récoltées les données de l'étude 1 de notre thèse.

### **Ambulatory Phonation Monitor (APM)**

L'APM est un système d'accumulation portable permettant d'objectiver le comportement vocal durant une journée complète d'activités usuelles. Il est basé sur l'utilisation d'un accéléromètre (voir Figure 14). L'accéléromètre est un capteur de vibrations miniature, monté sur un tampon de silicone fixé au niveau de la fourchette sternale à l'aide de colle médicale (voir Figure 15). Il détecte les données de charge vocale (moments de phonation, durée de phonation, SPL et F0) 20 fois par seconde, et les transmet à un microprocesseur (voir Figure 16) porté autour de la taille dans un sac banane (voir Figure 17). Le microprocesseur stocke les données recueillies tout au long de la journée. Ces données sont ensuite téléchargées sur un ordinateur et peuvent être visualisées et analysées grâce au logiciel prévu à cet effet (APM Software). L'APM peut également fournir des feedbacks vibro-tactiles en temps réel lorsque les seuils d'intensité

## Chapitre 2. La charge vocale

ou de fréquence, prédéfinis par l'expérimentateur avant l'usage, sont dépassés par le locuteur (KayPENTAX, 2009). Cette option de feed-back ne sera pas utilisée dans notre travail.



Figure 14. Accéléromètre (KayPENTAX, 2009).



Figure 15. Accéléromètre collé au niveau de la fourchette sternale (KayPENTAX, 2009).



Figure 16. Microprocesseur (KayPENTAX, 2009).



Figure 17. Microprocesseur porté dans un sac banane, autour de la taille  
(KayPENTAX, 2009).

## Chapitre 3. Le cas particulier des enseignants

---

Maintenant que nous avons développé l'objet d'étude de cette thèse, à savoir la charge vocale, nous allons présenter la population investiguée dans la majorité des études la composant, c'est-à-dire les enseignants. Nous avons choisi cette population car les caractéristiques intrinsèques du métier d'enseignant en font l'une des activités professionnelles les plus exigeantes sur le plan vocal. Les enseignants font partie des professionnels de la voix et sont reconnus pour avoir une utilisation vocale particulièrement importante, en termes de charge vocale. De plus, leur environnement de travail rassemble de nombreux facteurs favorisant la charge vocale, dont des conditions acoustiques souvent défavorables et la présence de bruit de fond.

Dans le chapitre précédent, nous avons vu qu'une conséquence possible à long terme de la charge vocale est l'apparition d'une dysphonie. Il n'est donc pas étonnant de retrouver une prévalence aussi importante des troubles de la voix dans la population enseignante. A l'heure actuelle, les scientifiques s'accordent pour dire que l'utilisation vocale propre à cette profession est à l'origine de problèmes de voix (De Jong et al., 2006). Cependant, les pathologies vocales chez les enseignants ne sont pas encore reconnues comme des maladies professionnelles par la loi belge. Certains pays sont beaucoup plus avancés sur ce plan, la Pologne faisant partie des meilleurs élèves.

Dans ce troisième chapitre, nous présentons les données relatives à la prévalence des troubles vocaux chez les enseignants afin de rendre compte de l'étendue du phénomène et de justifier le choix de la population étudiée dans notre travail. Ensuite, nous détaillons les facteurs favorisant les troubles de la voix chez les enseignants, parmi lesquels on retrouve bien entendu la charge

vocale. Nous poursuivons en présentant les conséquences engendrées par les troubles de la voix chez les enseignants. Enfin, en guise d'introduction à l'étude 1 de la partie expérimentale, nous synthétisons les données de la littérature portant sur la quantification de la charge vocale de l'enseignant, et pour introduire les études 4 et 5, nous résumons les travaux ayant investigué son impact.

### **Prévalence de troubles de la voix chez les enseignants**

La prévalence est un terme issu de l'épidémiologie<sup>11</sup>. C'est une mesure de l'état de santé d'une population donnée, à un instant donné. La prévalence des troubles de la voix chez les enseignants correspond donc au nombre de cas de troubles de la voix survenant parmi ceux-ci, à un moment spécifique. Ce moment spécifique varie d'une étude à l'autre. Ceci explique la variabilité des résultats rencontrés dans la littérature. D'autres facteurs explicatifs de cette variabilité sont les procédures d'échantillonnage et les méthodes sur lesquelles les auteurs se basent pour identifier les troubles de la voix. La majorité des études utilisent des questionnaires pour établir la prévalence des troubles. Quelques rares études se basent sur un examen des plis vocaux (Ilomaki et al., 2009; Lejska, 1967; Sala, Laine, Simberg, Pentti, & Suonpaa, 2001) ou sur une analyse perceptive (Sala et al., 2001; Simberg, Laine, Sala, & Ronnema, 2000). Les résultats divergent également selon que la prévalence est établie sur base de l'avis d'un clinicien, ou sur base de l'avis du sujet lui-même, mais aussi en fonction de l'endroit où les sujets sont recrutés, à savoir sur leur lieu de travail ou à la consultation phoniatrique (Russell, Oates, & Greenwood, 1998). Enfin, parmi les études sur la prévalence des troubles de la voix dans la population

---

<sup>11</sup> Selon le dictionnaire Larousse, l'épidémiologie est la science qui étudie, au sein de populations, la fréquence et la répartition des problèmes de santé dans le temps et dans l'espace, ainsi que le rôle des facteurs qui les déterminent.

### Chapitre 3. Le cas particulier des enseignants

enseignante, rares sont les auteurs qui fournissent une définition précise de ce qu'ils entendent par « troubles de la voix ». Pour Roy, Merrill, Thibeault, Parsa et al. (2004), Thibeault et al. (2004), ainsi que Van Houtte, Claeys, Wuyts et Van Lierde (2011), les troubles vocaux font référence à toute situation dans laquelle la voix ne fonctionne pas, n'est pas performante, ou ne sonne pas comme d'habitude, de telle manière que cela porte atteinte à la communication. Selon Sala, et al. (2001), les troubles de la voix engendrent des symptômes vocaux et/ou une qualité vocale anormale. Selon Verdolini et Ramig (2001), les troubles vocaux correspondent à une somme de symptômes auto-rapportés et de signes cliniques observés. Une synthèse des différentes études consultées traitant de la prévalence des troubles de la voix chez les enseignants est présentée dans le Tableau 1.

Tableau 1. Synthèse des études ayant observé la prévalence des troubles de la voix chez les enseignants

Référence <b>Pays</b>	Population étudiée	Prévalence des troubles vocaux (%)
Bermudez de Alvear, Javier Baron, and Martinez-Arquero (2011) <b>Espagne</b>	-282 enseignants (maternel, primaire)	-59% des enseignants rapportent un effort vocal et minimum 2 symptômes vocaux fréquents
De Jong et al. (2006) <b>Pays-Bas</b>	-1878 enseignants (primaire, secondaire) -239 sujets	-54,8% des enseignants primaires ont eu un problème vocal durant leur carrière -59,2% des enseignants secondaires ont eu un problème vocal durant leur carrière

## INTRODUCTION THEORIQUE

	contrôles (métier sans charge vocale, métier avec charge vocale)	-19,1% des sujets contrôles (métier sans charge vocale) ont eu un problème vocal durant leur carrière -40,2% des sujets contrôles (métier avec charge vocale) ont eu un problème vocal durant leur carrière
De Medeiros, Barreto, and Assuncao (2008) <b>Brésil</b>	2103 enseignantes (primaire)	-33% des enseignantes ne rapportent pas de symptômes vocaux durant les 15 derniers jours -15% des enseignantes ont une dysphonie probable -52% des enseignantes ont une dysphonie possible
Ilomaki et al. (2009) <b>Finlande</b>	-78 enseignantes (primaire)	L'examen du larynx (au miroir ou au laryngoscope rigide) montre que : -14% des enseignantes ont une altération laryngée sévère (lésions organiques franches, reflux pharyngo-laryngé, déficit de fermeture cordale sévère) -37% des enseignantes ont une altération laryngée légère (érythème ou œdème léger, déficit de fermeture cordale léger) -49% des enseignantes sont saines
Kooijman et al. (2006) <b>Pays-Bas</b>	1878 enseignants (primaire, secondaire)	-60,7% des enseignants du primaire ont eu un problème vocal durant leur carrière -57,6% des enseignants du secondaire ont eu un problème vocal durant leur carrière
Kooijman, Thomas,	1775 enseignants (primaire,	-58,6% des enseignants ont eu un problème vocal durant leur carrière



### Chapitre 3. Le cas particulier des enseignants

Graamans, and de Jong (2007) <b>Pays-Bas</b>	secondaire)	-34,4% des enseignants ont eu un problème vocal au cours de la dernière année -17,5% des enseignants ont un problème vocal au moment de l'enquête
Lejska (1967), cité par Russell et al. (1998) <b>République Tchèque</b>	772 enseignant(e)s	-16,5% des enseignantes rapportent une phonasthénie versus 7% des enseignants L'examen du larynx montre que : -5,7% des enseignantes ont une pathologie vocale versus 1,4% des enseignants
Munier and Kinsella (2008) <b>Irlande</b>	304 enseignants (primaire)	-20% des enseignants ne rapportent pas de problème de voix -27% des enseignants ont un problème vocal au moment de l'enquête -53% des enseignants ont un problème vocal par intermittence
Roy, Merrill, Thibeault, Parsa, et al. (2004) <b>Etats-Unis</b>	- 1243 enseignants (maternel, primaire, secondaire) -1288 non-enseignants	-11% des enseignants ont un problème vocal au moment de l'enquête -6,2% des non-enseignants ont un problème vocal au moment de l'enquête -57,7% des enseignants ont eu un problème vocal au cours de leur vie -28,8 % des non-enseignants ont eu un problème vocal au cours de leur vie
Russell et al. (1998) <b>Australie</b>	877 enseignants (maternel, primaire, secondaire)	-16% des enseignants ont un problème vocal au moment de l'enquête -19% des enseignants ont eu un problème vocal au cours de leur carrière -20% des enseignants ont eu un problème

## INTRODUCTION THEORIQUE

		vocal durant l'année scolaire en cours
<p>Sala et al. (2001)</p> <p><b>Finlande</b></p>	<p>-262 enseignants (crèches et écoles maternelles, enfants de 1 à 6 ans)</p> <p>-108 infirmiers</p>	<p>-50% des enseignants rapportent minimum 2 symptômes vocaux/semaine (questionnaire) et/ou ont une qualité vocale anormale (analyse perceptive)</p> <p>-27% des infirmiers rapportent minimum 2 symptômes vocaux/semaine (questionnaire) et/ou ont une qualité vocale anormale (analyse perceptive)</p> <p>L'examen du larynx montre que :</p> <p>-29% des enseignants ont des lésions organiques</p> <p>-7% des infirmiers ont des lésions organiques</p>
<p>Sliwinska-Kowalska et al. (2006)</p> <p><b>Pologne</b></p>	<p>-525 enseignantes (essentiellement primaire et secondaire)</p> <p>-83 non-enseignantes sans charge vocale</p>	<p>-69% des enseignantes ont eu un problème vocal au cours de leur vie</p> <p>-36% des non-enseignantes ont eu un problème vocal au cours de leur vie</p> <p>L'examen du larynx montre que :</p> <p>-33% des enseignantes ont des troubles de la voix</p> <p>-9,6% des non-enseignantes ont des troubles de la voix</p>
<p>Smith, Gray, Dove, Kirchner, and Heras (1997)</p> <p><b>Etats-Unis</b></p>	<p>-554 enseignants (primaire et secondaire)</p> <p>-220 non-enseignants</p>	<p>-15% des enseignants ont un problème vocal au moment de l'enquête</p> <p>-6% des non-enseignants ont un problème vocal au moment de l'enquête</p> <p>-32% des enseignants ont déjà eu un problème vocal dans le passé</p>

### Chapitre 3. Le cas particulier des enseignants

		-1% des non-enseignants ont déjà eu un problème vocal dans le passé
Smith, Lemke, Taylor, Kirchner, and Hoffman (1998) <b>Etats-Unis</b>	-554 enseignants (primaire et secondaire) -220 non-enseignants	-32% des enseignants ont déjà eu un problème vocal dans le passé -1% des non-enseignants ont déjà eu un problème vocal dans le passé
Thibeault et al. (2004) <b>Etats-Unis</b>	1243 enseignants (primaire et secondaire)	-58% des enseignants ont déjà eu un problème vocal durant leur carrière
Van Houtte et al. (2011) <b>Belgique (Flandre)</b>	-994 enseignants -290 contrôles dont le métier ne nécessite pas d'effort vocal	- 51,2% des enseignants ont déjà eu des plaintes vocales durant leur carrière - 27,4 % des contrôles ont déjà eu des plaintes vocales durant leur carrière

Le premier constat résultant des nombreuses études épidémiologiques résumées dans le Tableau 1 est que la prévalence des troubles de la voix est significativement plus élevée chez les enseignants que dans la population générale (De Jong et al., 2006; Roy, Merrill, Thibeault, Gray, & Smith, 2004; Roy, Merrill, Thibeault, Parsa, et al., 2004; Sala et al., 2001; Sliwinska-Kowalska et al., 2006; Smith et al., 1997; Smith, Lemke, et al., 1998; Van Houtte et al., 2011). L'enseignement est identifié comme une profession associée à un risque élevé de développer des pathologies vocales (De Jong et al., 2006; Roy, Merrill, Thibeault, Parsa, et al., 2004; Smith et al., 1997).

Lorsque l'on regarde de plus près les résultats auto-rapportés via des questionnaires, la prévalence la plus élevée concerne les troubles rencontrés durant la vie de l'enseignant (avec un maximum de 69% de prévalence rapporté par Sliwinska-Kowalska et al. en 2006), tandis que la prévalence la moins élevée concerne les troubles rapportés au moment de l'enquête (avec un minimum de 11% de prévalence rapporté par Roy, Merrill, Thibeault, Parsa et al. en 2004). Sur base de plusieurs études au design similaire publiées ces 10 dernières années, on peut affirmer que plus de la moitié des enseignants rapportent des troubles vocaux au cours de leur carrière (De Jong et al., 2006; Kooijman et al., 2006; Kooijman et al., 2007; Roy, Merrill, Thibeault, Parsa, et al., 2004; Thibeault et al., 2004; Van Houtte et al., 2011).

Par ailleurs, plusieurs études épidémiologiques mettent en évidence que les futurs enseignants rencontrent déjà des problèmes de voix durant leur formation (De Jong et al., 2006; Simberg et al., 2000; Simberg, Sala, Laine, & Ronnema, 2001; Simberg, Sala, & Ronnema, 2004; Thomas, de Jong, Cremers, & Kooijman, 2006; Thomas, Kooijman, Donders, Cremers, & de Jong, 2007) et qu'ils ont davantage de plaintes vocales que les étudiants d'autres disciplines ou que des sujets contrôles (Simberg et al., 2004; Thomas et al., 2006; Thomas et al., 2007). Ce constat souligne l'émergence précoce des difficultés vocales chez les enseignants, puisque celles-ci apparaissent dès leurs premières expériences professionnelles, lors de leur formation. Il est également démontré que les enseignants ayant présenté des problèmes de voix durant leur formation sont plus susceptibles de développer des problèmes de voix au cours de leur carrière (Kooijman et al., 2006). Au vu de ces données, l'intérêt des programmes de prévention et d'information semble évident. Le Tableau 2 présente une synthèse des différentes études consultées traitant de la prévalence des troubles de la voix chez les futurs enseignants.

### Chapitre 3. Le cas particulier des enseignants

Tableau 2. Synthèse des études ayant observé la prévalence des troubles de la voix chez les futurs enseignants

Référence <b>Pays</b>	Population étudiée	Prévalence des troubles vocaux (%)
Simberg et al. (2000) <b>Finlande</b>	226 futurs enseignants	-24% des futurs enseignants rapportent minimum 2 symptômes vocaux/semaine (questionnaire) et/ou ont une qualité vocale anormale (analyse perceptive) au cours de la dernière année L'examen du larynx montre que 19% des futurs enseignants ont des lésions organiques
Simberg et al. (2001) <b>Finlande</b>	76 futurs enseignants	-58% des futurs enseignants n'ont pas de symptômes vocaux hebdomadaires -24% des futurs enseignants ont 1 symptôme hebdomadaire -18% des futurs enseignants ont au moins 2 symptômes hebdomadaires
Simberg et al. (2004) <b>Finlande</b>	-175 futurs enseignants -220 étudiants contrôles	-58% des futurs enseignants n'ont pas de symptômes vocaux hebdomadaires -21% des futurs enseignants ont 1 symptôme hebdomadaire -21% des futurs enseignants ont au moins 2 symptômes hebdomadaires -75% des étudiants contrôles n'ont pas de symptômes vocaux hebdomadaires -8% des étudiants contrôles ont 1 symptôme hebdomadaire -17% des étudiants contrôles ont au moins 2 symptômes hebdomadaires
Thomas	-457 futures	-17,2% des futures enseignantes ont un problème

et al. (2007) <b>Pays-Bas</b>	enseignantes -144 femmes contrôles	vocal au moment de l'enquête -9,7% des femmes contrôles ont un problème vocal au moment de l'enquête
Thomas et al. (2006) <b>Pays-Bas</b>	-457 futures enseignantes -144 femmes contrôles	-39,6% des futures enseignantes ont eu des plaintes vocales au cours de la dernière année -32,6% des femmes contrôles ont eu des plaintes vocales au cours de la dernière année

Au vu de ces données, force est de constater que les enseignants constituent une population particulièrement touchée par les difficultés vocales. Il n'est donc pas étonnant que ces professionnels représentent une proportion importante des patients consultant les ORL et les logopèdes. Pour preuve, dans la partie néerlandophone de la Belgique, 25% des enseignants ont consulté pour problème de voix et 5% ont suivi un traitement logopédique (Van Houtte et al., 2011). En Hollande, plus de 20% des enseignants ont consulté un médecin ou un logopède (De Jong et al., 2006). Aux Etats-Unis, les enseignants consultent davantage les ORL et les logopèdes pour cause de dysphonie que les non-enseignants (Roy, Merrill, Thibeault, Parsa, et al., 2004), ils constituent 16% de la totalité des patients chez lesquels un trouble vocal est diagnostiqué (Smith et al., 1997), et ils représentent 3% des patients traités pour problèmes de voix (Herrington-Hall et al., 1988). Parmi les professionnels de la voix, les enseignants constituent le groupe qui consulte le plus les cliniques de la voix tant aux Etats-Unis (Smith, Kirchner, Taylor, Hoffman, & Lemke, 1998), qu'en Suède (Fritzell, 1996), et en Belgique (Van Houtte, Van Lierde, D'Haeseleer, & Claeys, 2010). En Grande-Bretagne, les enseignants représentent 12% des patients se présentant dans les cliniques de la voix, alors qu'ils constituent seulement 1,5% de la population (Comins, 2002). Sur l'île de Puerto Rico, ils représentent 40% des patients consultant pour dysphonie (Villanueva-Reyes, 2011). Aux Pays-Bas, ils représentent 20% des patients ayant consulté un

### Chapitre 3. Le cas particulier des enseignants

médecin ou ayant été traités pour problèmes de voix (De Jong et al., 2006). A Hong Kong, ils représentent 18% des patients référés par un ORL à un logopède (Yiu & Ho, 1991). Cependant, comme le soulignent Matiske, Oates et Greenwood (1998), la proportion d'enseignants consultant pour problèmes de voix ne rend pas entièrement compte de l'étendue du phénomène car tous les enseignants rencontrant des difficultés vocales ne cherchent pas nécessairement une aide médicale.

### **Facteurs favorisant les troubles de la voix chez les enseignants**

Les facteurs contribuant au développement de la dysphonie sont nombreux et l'origine d'un trouble vocal est généralement multifactorielle. Dans ce chapitre, nous ne développons pas les facteurs classiques favorisant les troubles de la voix, tels que la consommation de tabac, le reflux gastro-œsophagien, les allergies, les infections de la sphère ORL, certains médicaments, une mauvaise qualité de l'air, des conditions environnementales défavorables, les facteurs psycho-émotionnels et le stress. Nous ciblons essentiellement les facteurs favorisants propres à la profession d'enseignant. Ces facteurs sont répartis en facteurs internes (propres à l'individu) et externes (relatifs à la profession et à son environnement).

#### **Facteurs internes**

##### **Le sexe**

La littérature démontre largement que les femmes ont plus de risques de développer des troubles de la voix que les hommes, aussi bien chez les enseignants que dans la population générale (Bermudez de Alvear et al., 2011; De Jong et al., 2006; Fritzell, 1996; Jones et al., 2002; Preciado, Garcia Tapia, & Infante, 1998; Roy et al., 2005; Roy, Merrill, Thibeault, Parsa, et al., 2004;

Russell et al., 1998; Smith, Kirchner, et al., 1998; Thibeault et al., 2004; Van Houtte et al., 2011). En outre, ces troubles persistent généralement plus longtemps chez les femmes que chez les hommes (Roy, Merrill, Thibeault, Parsa, et al., 2004; Russell et al., 1998). Plusieurs hypothèses expliquent cette vulnérabilité accrue des femmes sur le plan vocal.

La principale hypothèse est liée à des différences structurelles et anatomiques laryngées. Selon Hunter et al. (2011), les plis vocaux généralement plus courts et plus minces chez les femmes expliqueraient leur fréquence vibratoire plus élevée que celle des hommes. Pour une quantité de phonation identique, la fréquence fondamentale plus élevée chez les femmes correspond à un plus grand nombre de microtraumatismes favorisant l'altération du tissu cordal. Par ailleurs, les plis vocaux plus minces des femmes augmenteraient le risque de développer des pathologies en raison de la quantité moins importante de tissu amortissant les forces vibratoires (Hunter et al., 2011).

Une seconde hypothèse concerne la composition de la matrice extracellulaire, qui diffère selon le sexe. Butler et ses collaborateurs (2001) ont observé une quantité moindre d'acide hyaluronique dans l'espace de Reinke chez la femme que chez l'homme. Or, l'acide hyaluronique est une protéine interstitielle qui aurait pour rôle de diminuer la viscosité tissulaire, d'amortir les collisions cordales, de prévenir les cicatrices et de protéger les tissus des phonotraumatismes (Finck, 2008). La quantité moindre d'acide hyaluronique expliquerait donc une sensibilité accrue de la femme aux troubles de la voix.

Une troisième hypothèse est liée à l'occlusion glottique lors de la phonation. En effet, un meilleur accolement cordal est généralement observé chez les hommes. Ainsi, la fente glottique souvent présente chez les femmes provoquerait une fuite d'air entraînant une moins bonne efficacité vocale (Dejonckere, 2001a).



### Chapitre 3. Le cas particulier des enseignants

Enfin, la proportion plus élevée des troubles vocaux chez les femmes peut être causée par des différences entre les deux sexes au niveau du système nerveux, du système respiratoire, du système digestif, du degré d'hydratation, des facteurs hormonaux, psychologiques et comportementaux (Hunter et al., 2011).

D'une part, être une femme est un facteur favorisant des troubles de la voix, et d'autre part, les femmes sont surreprésentées dans l'enseignement (Etnic, 2011). L'association de ces deux facteurs explique la prévalence particulièrement élevée des troubles vocaux au sein de cette profession.

#### **L'âge et le nombre d'années de carrière dans la profession**

La presbyphonie, ou vieillissement naturel de la voix, se traduit par une diminution des performances vocales avec l'âge. On peut donc s'attendre à davantage de problèmes de voix au fur et à mesure que la carrière avance. Plusieurs études américaines observent en effet une augmentation des problèmes de voix avec l'âge et le nombre d'années de carrière (Roy, Merrill, Thibeault, Parsa, et al., 2004; Smith et al., 1997; Smith, Kirchner, et al., 1998; Thibeault et al., 2004).

En revanche, des études européennes observent une diminution des plaintes vocales des enseignants au cours de leur carrière (De Jong et al., 2006; Kooijman et al., 2007). Kooijman et al. (2007) recensent le plus de plaintes vocales durant les 4 premières années de carrière, pouvant être dues au manque d'expérience dans le métier. Ces mêmes auteurs expliquent le déclin des plaintes vocales durant la carrière de différentes façons. Premièrement, les enseignants en début de carrière auraient plus de difficultés vocales dues à l'augmentation substantielle de la charge vocale lors de leur entrée dans la profession et à leur faible degré d'expérience dans le métier. Deuxièmement, au cours de leur carrière, les enseignants mettraient en place des stratégies de *coping* dans le but

de compenser ou de minimiser les difficultés vocales. Troisièmement, les enseignants souffrant de dysphonie quitteraient prématurément la profession. Enfin, les enseignants ayant le plus d'expérience développeraient une plus grande tolérance aux problèmes vocaux (Smith, Lemke, et al., 1998).

Cependant, quelques études n'observent pas de relation entre l'âge des enseignants et la fréquence de leurs plaintes vocales, ainsi que leur absence au travail (Chen, Chiang, Chung, Hsiao, & Hsiao, 2010; De Jong et al., 2006; De Medeiros et al., 2008), ni de relation entre le nombre d'années d'expérience et la présence d'altérations laryngées, de symptômes vocaux (Ilomaki et al., 2009; Kooijman et al., 2006) et de troubles de la voix (Chen et al., 2010; De Medeiros et al., 2008; Russell et al., 1998; Sapir, Keidar, & Mathers-Schmidt, 1993; Thibeault et al., 2004).

En conclusion, les risques liés à l'âge et au nombre d'années de carrière dans la profession ne sont pas identifiés unanimement. La littérature tend à démontrer que le début et la fin de carrière sont des périodes critiques pour l'apparition des problèmes vocaux. Notons qu'un rapport européen indique que la majorité des enseignants prennent leur retraite dès qu'ils en ont l'opportunité (Eurydice & Eurostat, 2012). La question de savoir si des troubles de la voix pourraient être en partie à l'origine de ces départs anticipés à la retraite reste ouverte.

### **Facteurs externes**

#### **Les comportements vocaux propres à la voix didactique**

Outre la voix d'expression simple, les activités pédagogiques impliquent l'utilisation de différents comportements vocaux décrits par Le Huche et Allali (2010). Dans le cadre professionnel, les enseignants emploient majoritairement

### Chapitre 3. Le cas particulier des enseignants

la voix implicatrice, dite voix projetée. Dans certaines conditions, la voix d'insistance ou de détresse peut également être utilisée.

Lors de la **voix implicatrice ou voix projetée**, l'interlocuteur ou l'auditoire sont au centre des préoccupations du locuteur. Selon Le Huche et Allali (2010), le comportement de projection vocale comporte quatre éléments caractéristiques. Le premier élément est l'intention manifeste d'agir sur l'auditeur au moyen de la voix (intéresser, faire passer un message, expliquer, convaincre, enthousiasmer, etc). Ce premier élément, d'ordre mental, déclenche automatiquement la mise en place des éléments suivants. Le deuxième élément correspond à l'orientation du regard vers l'interlocuteur ou l'auditoire, afin de manifester l'intention d'agir et de repérer les réactions d'autrui. Le troisième élément est le redressement du corps (même en position assise). Le quatrième élément est l'utilisation du souffle abdominal, avec une participation substantielle du diaphragme. Le Huche et Allali (2010) précisent que la voix implicatrice, dite projetée, ne veut pas dire voix forte. En effet, sa définition repose sur l'intention du locuteur et non sur les caractéristiques acoustiques de l'émission vocale.

L'enseignant peut avoir recours à la **voix d'insistance ou de détresse** en situation d'urgence, lorsqu'il sent qu'il risque de manquer son but, lorsqu'il est dépassé par les événements, lorsque le message ou l'auditoire est anxigène, ou encore pour exprimer son mécontentement ou son étonnement. Sur le plan postural, la voix d'insistance ou de détresse engendre une flexion de la partie haute de la colonne vertébrale avec une projection de la tête et du haut du corps vers l'avant, pouvant causer des tensions cervicales et laryngées. La respiration est alors thoraco-vertébrale, avec une intervention réduite du diaphragme pour le contrôle de la pression sous-glottique. C'est donc essentiellement le larynx qui règle le débit d'air, et non les muscles respiratoires. S'il est utilisé de façon prolongée ou récurrente, ce mécanisme peut entraîner une irritation de la

muqueuse laryngée et une diminution de l'efficacité vocale. Dans le cas où l'individu utilise de manière plus importante le comportement d'insistance pour pallier à ce manque d'efficacité, on peut assister à une augmentation de l'irritation laryngée, à une fatigue musculaire de plus en plus rapide et à une voix de moins en moins efficace. Ce comportement correspond au cercle vicieux du forçage vocal, décrit par Le Huche et Allali (2010).

### **La charge vocale**

En plus des comportements vocaux particuliers décrits ci-dessus, la profession d'enseignant implique une utilisation vocale prolongée au cours de la journée, de la semaine et de l'année scolaire, avec peu de temps de repos assurant la récupération. En Belgique, l'année scolaire s'étend généralement du 1 septembre au 30 juin, comprenant en moyenne 182 jours de cours répartis sur 37 semaines (Eudydice & Eurostat, 2009). Les enseignants utilisent leur voix non seulement en classe, mais également lors de la surveillance des récréations, cantines et garderies, lors des réunions avec les collègues ou les parents, lors de l'organisation et la participation à des fêtes, spectacles, excursions, voyages scolaires, etc. L'utilisation vocale prolongée des enseignants est souvent associée à une intensité élevée. Ces facteurs contribuent à l'émergence d'une charge vocale importante, identifiée comme un des principaux facteurs favorisant les troubles de la voix (Hillman & Mehta, 2011; Van Lierde, 2010; Vilkmán, 2004).

Différentes études basées sur des questionnaires ont révélé que les troubles de la voix chez les enseignants étaient significativement associés à un usage vocal prolongé (Bermudez de Alvear et al., 2011; Preciado et al., 1998; Thibeault et al., 2004), à une intensité élevée (Chen et al., 2010; Roy et al., 2005), à l'utilisation des cris (Thibeault et al., 2004), au fait de chanter fréquemment (Thibeault et al., 2004) et à une utilisation vocale intense (Thibeault et al., 2004; Villanueva-Reyes, 2011). Plus le nombre d'heures de

### Chapitre 3. Le cas particulier des enseignants

cours est élevé, plus l'apparition d'une dysphonie est probable (De Medeiros et al., 2008). Selon Preciado, Garcia Tapa et Infante (1998), les enseignants dont le nombre d'heures de travail est plus élevé rapportent davantage de troubles de la voix et s'absentent plus fréquemment. Toutefois, la majorité des études se basant sur des questionnaires n'observent pas de lien significatif entre le nombre d'heures de cours dispensées par jour et l'apparition de troubles de la voix (Kooijman et al., 2006; Smith, Kirchner, et al., 1998; Smith, Lemke, et al., 1998; Thibeault et al., 2004). Il n'y a pas non plus de lien entre le nombre d'heures de cours et la présence d'altérations laryngées ou de symptômes vocaux (Ilomaki et al., 2009). A l'avenir, les techniques de dosimétrie vocale vont probablement permettre d'établir un lien objectif entre la charge vocale et l'apparition de troubles de la voix.

#### **Le nombre d'élèves**

Selon deux études, le nombre d'élèves dans la classe est un facteur de risque pour le développement des problèmes de voix (Kooijman et al., 2006; Preciado et al., 1998) et il est corrélé positivement avec le taux d'absentéisme des enseignants (Kooijman et al., 2006). En effet, plus les élèves sont nombreux, plus le bruit de fond a des chances d'être élevé, ceci participant à l'augmentation de l'intensité et de la fréquence vocale de l'enseignant (cf. effet Lombard). Cependant, Ilomaki et al. (2009) n'observent pas de lien entre le nombre d'élèves et la présence d'altérations laryngées ou de symptômes vocaux.

#### **La matière enseignée**

Une étude américaine s'est particulièrement penchée sur le lien entre la matière enseignée et la présence de troubles vocaux (Thibeault et al., 2004). Les résultats démontrent que l'enseignement de certaines disciplines favorise les troubles de la voix. C'est le cas des **professeurs de musique, d'art dramatique et des autres arts du spectacle**. Ceux-ci présentent davantage de troubles que les autres professeurs car ils chantent plus souvent au cours de leur journée de

travail. Les **professeurs de chant** sont plus susceptibles de présenter des troubles vocaux chroniques, suggérant que chanter régulièrement augmente le risque de dysphonie plus que toute autre activité vocale. Fritzell (1996) rapporte également que les professeurs de musique sont largement surreprésentés dans les cliniques de la voix. Par contre, Smith, Kirchner et al. (1998) n'observent pas plus de troubles vocaux chez les professeurs de musique et d'art dramatique que chez ceux enseignant d'autres matières.

Smith, Kirchner et al. (1998), Smith, Lemke et al. (1998), et Jonsdottir, Boyle, Martin, et Sigurdardottir (2002) identifient les **professeurs d'éducation physique** comme étant particulièrement à risque de développer une dysphonie, à cause de leur utilisation vocale prolongée à intensité élevée et de leur recours fréquent aux cris. Par contre, selon Thibeault et al. (2004), les professeurs d'éducation physique ne sont pas plus enclins à développer une dysphonie que les autres enseignants, car leurs périodes d'utilisation vocale intensive, incluant les cris, sont brèves. De plus, ils ont davantage recours à des systèmes d'amplification vocale.

Enfin, les **professeurs de chimie** rapportent plus de problèmes vocaux que les autres enseignants (Smith, Kirchner, et al., 1998; Thibeault et al., 2004). Parmi eux, 90% sont exposés à des nombreux produits chimiques de nature corrosive, cancérigène ou hautement toxique, et 69 % des professeurs de chimie exposés à des produits chimiques rapportent des troubles vocaux (Thibeault et al., 2004).

### **Le niveau scolaire enseigné**

D'après une circulaire de la Fédération Wallonie-Bruxelles (2012), un horaire à temps plein compte 26 périodes de cours pour les enseignants du maternel, 24 périodes pour les enseignants du primaire et 20 périodes pour les enseignants du secondaire. On constate donc que la durée de travail à l'école

### Chapitre 3. Le cas particulier des enseignants

diminue avec l'augmentation du niveau scolaire enseigné. Si l'on considère que la durée de la charge vocale est un facteur favorisant les troubles de la voix, on s'attend donc à observer le plus de problèmes de voix chez les enseignants du maternel, suivis par les enseignants du primaire et du secondaire. En outre, l'augmentation du niveau scolaire enseigné permettrait plus de moments de repos vocal pendant la journée, car les élèves plus âgés nécessitent moins d'encadrement. Cependant, les résultats des travaux étudiant le lien entre le niveau scolaire enseigné et le risque de développer un trouble de la voix ne sont pas unanimes.

Sur base de questionnaires, plusieurs études observent une diminution des troubles vocaux avec l'augmentation du niveau scolaire enseigné. Ainsi, Preciado et al. (1998) rapportent une prévalence de 36% chez les enseignants du maternel, de 25% chez les enseignants du primaire et de 21% chez les enseignants du secondaire. Parmi 304 enseignants du primaire, Munier et Kinsella (2008) trouvent une corrélation négative entre l'âge des élèves et le nombre d'enseignants souffrant de dysphonie. En d'autres mots, parmi des enseignants du niveau primaire, le fait d'enseigner dans des classes de plus bas niveau engendre davantage de problèmes de voix. Cependant, comme le soulèvent Thibeault et ses collaborateurs (2004), la prévalence plus élevée dans les niveaux inférieurs pourrait être expliquée par la féminisation importante des enseignants dans ces niveaux scolaires. En effet, plus le niveau scolaire enseigné est bas, plus il y a des femmes parmi les enseignants, or celles-ci sont par nature plus susceptibles de présenter des troubles vocaux que les hommes.

Par contre, Van Houtte et al. (2011) rapportent que les enseignants du secondaire sont plus nombreux à consulter un spécialiste pour cause de dysphonie que les enseignants du primaire et du maternel. Cette observation ne signifie pas pour autant que les enseignants du secondaire présentent davantage de problèmes de voix. Enfin, la majorité des études ne montrent pas de lien entre

le niveau enseigné et la prévalence des troubles vocaux (Chen et al., 2010; Kooijman et al., 2006; Kooijman et al., 2007; Russell et al., 1998; Thibeault et al., 2004).

### **Le type d'enseignement**

A notre connaissance, le lien entre le type d'enseignement dispensé et la prévalence des troubles de la voix a été peu investigué. Aux Etats-Unis, Thibeault et al. (2004) rapportent que les professeurs de l'enseignement spécial et professionnel ont moins de risques de présenter des troubles vocaux car ils parlent plus calmement et moins fort que les autres enseignants. Les auteurs avancent que ces professeurs ont de plus petites classes et qu'ils ont davantage recours à l'enseignement individualisé, contribuant à une charge vocale moins élevée. On pourrait aussi penser que les élèves de l'enseignement technique, professionnel et spécial sont plus difficiles que ceux de l'enseignement ordinaire, favorisant un bruit de fond élevé, l'usage de cris, et l'apparition de difficultés vocales chez les enseignants. Davantage d'études sont nécessaires afin de déterminer dans quelle mesure le type d'enseignement pourrait être un facteur de risque pour les troubles vocaux.

### **Les conditions acoustiques défavorables**

Les conditions acoustiques défavorables dans les écoles constituent un facteur de risque des troubles de la voix pour les enseignants (De Medeiros et al., 2008; Preciado et al., 1998; Sapir et al., 1993; Vilkmán, 2000). Le bruit ambiant ou bruit de fond, présent même lorsque la classe est vide, peut être d'origine externe (route, aéroport, tondeuse, industrie, etc) ou interne au bâtiment (chauffage, ventilation, éclairage, ordinateurs, etc). Il peut également être généré par l'activité humaine des élèves et des professeurs (Inserm, 2006). Pour rappel, le bruit ambiant est un facteur influençant la charge vocale, puisqu'il engendre une augmentation de l'intensité et de la fréquence vocale (voir chapitre 2). Il est également identifié comme un des facteurs



### Chapitre 3. Le cas particulier des enseignants

environnementaux les plus dangereux pour l'apparition des troubles de la voix chez des enseignantes (Ilomaki et al., 2009; Verdolini & Ramig, 2001; Vilkman, 2000). Bien que le bruit ambiant des salles de classes soit souvent plus élevé, le Bureau International d'Audiophonologie (2007a) recommande de ne pas dépasser la limite maximale de 40dB(A). Le Bureau International d'Audiophonologie recommande également des normes concernant l'isolation acoustique et le temps de réverbération optimal des locaux scolaires.

### **Conséquences des troubles de la voix chez l'enseignant**

La voix étant l'outil de travail de l'enseignant, il est évident que la dysphonie entraîne toute une série de conséquences pouvant être d'ordre personnel, social, professionnel, éducationnel et économique.

D'un point de vue personnel et social, la dysphonie impacte la qualité de vie des enseignants, c'est-à-dire leur fonctionnement dans leurs activités quotidiennes et leur participation à ces activités (Ma & Yiu, 2001). Les enseignants dysphoniques semblent présenter des habiletés sociales et communicationnelles réduites par rapport aux non dysphoniques (Chen et al., 2010), pouvant mener à l'isolement et à la dépression (Verdolini & Ramig, 2001). Enfin, des conséquences au niveau psychologique et émotionnel sont également observées.

En milieu scolaire, la réussite pédagogique est indéniablement liée aux qualités vocales de l'enseignant. La voix est un outil de transmission des savoirs et ses troubles amenuisent la qualité de l'enseignement dispensé. En effet, les enseignants dysphoniques rapportent des difficultés pour réaliser certaines tâches, une limitation des activités et des interactions en classe ainsi qu'une

diminution de la performance au travail (Roy, Merrill, Thibeault, Gray, et al., 2004; Smith, Lemke, et al., 1998). La dysphonie chez les enseignants engendre également une capacité de communication réduite et une diminution du contenu de leurs cours (Chen et al., 2010). De plus, les troubles de la voix ont un effet négatif sur la compréhension des enfants car le traitement cognitif d'une voix altérée nécessite davantage de ressources mentales (Morton & Watson, 2001). Les troubles de la voix chez les enseignants ont des conséquences sur la capacité des enfants à assimiler et à retenir l'information, sur leur concentration, sur leur développement cognitif ainsi que sur leurs apprentissages (Morsomme, Minel, & Verduyck, 2011; Morton & Watson, 2001; Rogerson & Dodd, 2005). La dysphonie de l'enseignant peut également altérer sa capacité à maintenir l'attention des élèves à cause d'un manque d'intonation ou d'un débit modifié.

Par ailleurs, les problèmes vocaux provoquent davantage d'absentéisme chez les enseignants que parmi les autres travailleurs (Roy, Merrill, Thibeault, Gray, et al., 2004; Smith et al., 1997). En Belgique néerlandophone, 21% des enseignants ont déjà manqué le travail à cause d'un problème de voix (Van Houtte et al., 2011). D'après plusieurs études américaines, environ 20% des enseignants s'absentent au moins une journée par an pour cause de problèmes vocaux (Roy, Merrill, Thibeault, Gray, et al., 2004; Smith et al., 1997; Smith, Lemke, et al., 1998; Titze et al., 1997). Les enseignants seraient aussi plus enclins que les non-enseignants à envisager un changement de profession dans le futur à cause de leurs problèmes de voix (Roy, Merrill, Thibeault, Gray, et al., 2004; Smith, Kirchner, et al., 1998).

Enfin, d'un point de vue économique, les problèmes de voix chez les enseignants ont des conséquences importantes tant pour les enseignants eux-mêmes que pour le système éducatif et pour l'état. Aux Etats-Unis, le coût annuel en rapport avec les troubles vocaux des enseignants atteint 2,5 milliards de dollars. Ce coût inclut les journées de travail perdues, le remplacement des

## Chapitre 3. Le cas particulier des enseignants

enseignants absents, les dépenses liées aux traitements médicaux, chirurgicaux et logopédiques (Verdolini & Ramig, 2001). Ces constats poussent les professionnels de la santé à encourager la mise en place de programmes de prévention et de traitement précoce des troubles de la voix.

### **La charge vocale des enseignants en situation écologique**

Dans le courant des années 2000, le développement et la diffusion des techniques d'accumulation vocale a permis de fournir des données objectives quant à la charge vocale des enseignants dans leur vie de tous les jours. L'étude 1 de la partie expérimentale de cette thèse porte précisément sur la quantification de la charge vocale chez des enseignants. En guise d'introduction, nous synthétisons ici les acquis des travaux antérieurs sur la quantification de la charge vocale chez des enseignants en situation écologique. Les données sont présentées séparément pour les 3 principaux paramètres de charge vocale décrits dans le chapitre 2, c'est-à-dire la durée de phonation, l'intensité et la fréquence vocale. Des données relatives aux doses vocales sont également détaillées.

#### **La durée de phonation**

Le Tableau 3 rapporte les principales informations des études recensées portant sur la durée de phonation. Pour chaque étude sont précisés la référence de l'étude consultée et le pays dans lequel elle a été menée, une description de la population étudiée, le matériel d'accumulation ou de dosimétrie vocale utilisé, la durée de la période d'accumulation chez chaque sujet et les principaux résultats obtenus.

Tableau 3. Synthèse des études portant sur la durée de phonation

Etude <b>Pays</b>	Population étudiée	Matériel utilisé	Durée d'accumulation	Durée de phonation (minutes et/ou %)
Gaskill, O'Brien et Tinter (2012) <b>USA</b>	-1 ♀ normophonique -1 ♀ dysphonique  Niveau primaire	APM	<u>3 semaines de travail :</u> -1 semaine sans amplification -1 semaine avec amplification -1 semaine sans amplification	<u>Semaine 1 :</u> Normo : 12,5% Dys : 16,4% <u>Semaine 2 :</u> Normo : 15% Dys : 18,3% <u>Semaine 3 :</u> Normo : 19,1% Dys : 17,5%
Hunter et Titze (2010) <b>USA</b>	45 ♀ 12 ♂ Niveaux maternel et primaire confondus, sans distinction selon la matière enseignée	-dosimètre vocal du NCVS <sup>12</sup> -accéléromètre	14 jours du lever au coucher, avec séparation des données récoltées au travail et hors travail	<u>Au travail :</u> ♀ 30,7% ♂ 27,4% <u>Hors travail :</u> ♀ 14,7% ♂ 13,7%
Masuda et al. (1993) <b>Japon</b>	-6 ♀ du niveau maternel  -4 ♀ et 3 ♂ du niveau primaire	-accumulateur de temps et d'intensité développé par les auteurs -microphone de contact fixé	1 journée de travail (8h)	♀ du <u>maternel</u> : 95min ≈ 20% ♀ et ♂ du <u>primaire</u> : 104min ≈ 22%

<sup>12</sup> Le *National Center for Voice and Speech* (NCVS) est un centre de recherche américain qui a développé le dosimètre NCVS.

		sur le cou		
Morrow et Connor (2011a) <b>USA</b>	-5 ♀ du niveau primaire -6 ♀ et 1 ♂ professeurs de musique du niveau primaire	APM	1 semaine de travail (40 heures réparties sur 5 jours)	<u>Enseignants du primaire :</u> 77min = 17% <u>Professeurs de musique :</u> 108min = 22%
Morrow et Connor (2011b) <b>USA</b>	-6 ♀ et 1 ♂ professeurs de musique du niveau primaire	APM	-1 semaine de travail sans amplification -1 semaine de travail avec amplification	<u>Sans amplification :</u> 108 min = 22% <u>Avec amplification :</u> 87 min = 18%
Sala et al. (2002) <b>Finlande</b>	51 ♀ du niveau maternel	-analyseur d'exposition au bruit moderne -microphone localisé sur le creux sternal	1 journée de travail (≈ 7 heures)	<b>Temps de parole :</b> 40% (DS=10%)
Sodersten et al. (2002) <b>Suède</b>	10 ♀ du niveau maternel	-enregistreur DAT -un microphone placé à côté de chaque oreille	1 journée de travail (6-8h) Répartition selon le type d'activité, non présentée dans ce tableau	16.9% (DS=3.5%)
Titze et al. (2007) <b>USA</b>	26 ♀ et 5 ♂ Niveaux maternel, primaire et secondaire confondus, sans distinction selon la matière enseignée	-dosimètre vocal du NCVS -accéléromètre	14 jours du lever au coucher	<u>Au travail :</u> ♀ et ♂ 23% <u>Hors-travail :</u> ♀ et ♂ 13% <u>Week-end :</u> ♀ et ♂ 12%

La durée de phonation est le paramètre de charge vocale le plus quantifié dans les études d'accumulation réalisées chez les enseignants. Pour rappel, la durée de phonation (ou dose de temps) correspond à la durée totale pendant laquelle les plis vocaux vibrent, exprimée en minutes ou en pourcentage de la durée totale d'accumulation. Elle diffère du temps de parole utilisé dans l'étude de Sala et al. (2002), incluant tant les segments voisés que non voisés. La durée de phonation au travail varie entre 12,5% chez une enseignante du niveau primaire (Gaskill et al., 2012) et 30,7% chez des enseignantes de niveau maternel et primaire (Hunter & Titze, 2010). Deux études comparant la durée de phonation au travail et hors travail observent que les enseignants utilisent deux fois plus leur voix au travail (Hunter & Titze, 2010; Titze et al., 2007). Une comparaison entre les deux sexes montre que les femmes ont une durée de phonation légèrement supérieure à celle des hommes (Hunter & Titze, 2010). Deux études distinguent le niveau et la matière enseignée (Masuda et al., 1993; Morrow & Connor, 2011a), cependant le nombre de sujets testés reste très réduit. Morrow et Connor (2011a) parviennent tout de même à démontrer que les professeurs de musique ont une durée de phonation significativement plus élevée que les enseignants classiques du niveau primaire. Enfin, une étude montre une réduction significative de la durée de phonation au travail lorsqu'un système d'amplification est utilisé (Morrow & Connor, 2011b).

### **L'intensité**

Le Tableau 4 rapporte les principales informations des études recensées portant sur l'intensité vocale. Pour chaque étude sont précisés la référence de l'étude consultée et le pays dans lequel elle a été menée, une description de la population étudiée, le matériel d'accumulation ou de dosimétrie vocale utilisé, la durée de la période d'accumulation chez chaque sujet et les principaux résultats obtenus.

Tableau 4. Synthèse des études portant sur l'intensité vocale

Etude <b>Pays</b>	Population étudiée	Matériel utilisé	Durée d'accumulation	Intensité
Gaskill et al. (2012) <b>USA</b>	-1 ♀ normophonique -1 ♀ dysphonique  Niveau primaire	APM	<u>3 semaines de travail :</u>  -1 semaine sans amplification  -1 semaine avec amplification  -1 semaine sans amplification	<u>Semaine 1 :</u>  Normo : 74dB SPL Dys : 82dB SPL  <u>Semaine 2 :</u>  Normo : 71dB SPL Dys : 72dB SPL  <u>Semaine 3 :</u>  Normo : 74dB SPL Dys : 80dB SPL
Hunter et Titze (2010) <b>USA</b>	45 ♀ et 12 ♂  Niveaux maternel et primaire confondus, sans distinction selon la matière enseignée	-dosimètre vocal du NCVS -accéléromètre	14 jours du lever au coucher, avec séparation des données récoltées au travail et hors travail	<u>Au travail :</u>  Mode = 62,5dB SPL à 30cm  <u>Hors travail :</u>  Mode = 60dB SPL à 30cm
Lindstrom et al.	13 ♀ du niveau maternel	-enregistreur numérique -accéléromètre	1h30 à 2h le matin et 1h30 à 2h l'après-midi lors d'une	Moyennes ♀ variant entre 71 et 79 dB(A)

(2011) <b>Suède</b>			journée de travail	
Morrow et Connor (2011a) <b>USA</b>	-5 ♀ du niveau primaire -6 ♀ et 1 ♂ professeurs de musique du niveau primaire	APM	1 semaine de travail (40 heures réparties sur 5 jours)	<u>Enseignants du primaire :</u> 77,2dB SPL <u>Professeurs de musique :</u> 82,9dB SPL
Morrow et Connor (2011b) <b>USA</b>	-6 ♀ et 1 ♂ professeurs de musique du niveau primaire	APM	-1 semaine de travail sans amplification -1 semaine de travail avec amplification	<u>Sans amplification :</u> 82,9dB SPL <u>Avec amplification :</u> 75,9dB SPL
Sala et al. (2002) <b>Finlande</b>	51 ♀ du niveau maternel	-analyseur d'exposition au bruit moderne -microphone localisé sur le creux sternal	1 journée de travail (≈ 7 heures)	78dB(A) à 30cm (DS=2,3)
Sodersten et al. (2002) <b>Suède</b>	10 ♀ du niveau maternel	-enregistreur DAT -un microphone placé à côté de chaque oreille	1 journée de travail (6-8h) Répartition selon le type d'activité, non présentée dans ce tableau	85,4 Leq dB (DS=1,5)



### Chapitre 3. Le cas particulier des enseignants

Les niveaux d'intensité provenant des études d'accumulation chez les enseignants sont très variables, en raison de la diversité méthodologique et des différences de matériel utilisé pour mesurer ce paramètre. De plus, la pondération varie selon les travaux (dB SPL – dB(A)). Une étude comparant l'intensité vocale au travail et hors travail montre que les enseignants utilisent une intensité supérieure de 2,5dB SPL au travail (Hunter & Titze, 2010). Morrow et Connor (2011a) observent l'intensité vocale selon la matière enseignée : dans le niveau primaire, les professeurs de musique ont une intensité moyenne plus élevée que les enseignants classiques. Dans d'autres travaux, les auteurs proposent une répartition de la durée de phonation selon 3 ou 4 niveaux d'intensité (Buekers, 1998; Masuda et al., 1993). Selon cette méthode, Masuda et al. (1993) rapportent que le temps de phonation  $\geq 80$ dB sur une journée de travail est de 51 minutes ( $\approx 11\%$ ) chez des enseignants du maternel et de 104 minutes ( $\approx 22\%$ ) chez des enseignants du primaire. Cependant, ces études comptent un nombre de participants trop restreint pour pouvoir en généraliser les résultats. Enfin, deux études montrent une réduction de l'intensité vocale des enseignants lorsqu'un système d'amplification est utilisé (Gaskill et al., 2012; Morrow & Connor, 2011b).

#### **La fréquence**

Le Tableau 5 rapporte les principales informations des études recensées portant sur la fréquence vocale. Pour chaque étude sont précisés la référence de l'étude consultée et le pays dans lequel elle a été menée, une description de la population étudiée, le matériel d'accumulation ou de dosimétrie vocale utilisé, la durée de la période d'accumulation chez chaque sujet et les principaux résultats obtenus.

Tableau 5. Synthèse des études portant sur la fréquence vocale

Etude Pays	Population étudiée	Matériel utilisé	Durée d'accumulation	Fréquence
Gaskill et al. (2012) USA	-1 ♀ normophonique -1 ♀ dysphonique  Niveau primaire	APM	<u>3 semaines de travail :</u> -1 semaine sans amplification -1 semaine avec amplification -1 semaine sans amplification	<u>Semaine 1 :</u> Normo : 234Hz Dys : 217Hz <u>Semaine 2 :</u> Normo : 237Hz Dys : 212Hz <u>Semaine 3 :</u> Normo : 248Hz Dys : 216Hz
Hunter et Titze (2010) USA	45 ♀ 12 ♂ Niveaux maternel et primaire confondus, sans distinction selon la matière enseignée	-dosimètre vocal du NCVS -accéléromètre	14 jours du lever au coucher, avec séparation des données récoltées au travail et hors travail	<u>Au travail :</u> mode ♀=194Hz médiane ♀=226Hz mode ♂=118Hz médiane ♂=129Hz <u>Hors travail :</u> mode ♀=183H médiane ♀=215Hz moyenne ♀=241Hz mode ♂ = 108Hz médiane ♂=129Hz moyenne ♂=144Hz

Lindstrom et al. (2011) <b>Suède</b>	13 ♀ du niveau maternel	enregistreur numérique accéléromètre	1h30 à 2h le matin et 1h30 à 2h l'après-midi lors d'une journée de travail	moyenne ♀ = de 229 à 292Hz selon les sujets
Morrow et Connor (2011a) <b>USA</b>	-5 ♀ du niveau primaire -6 ♀ et 1 ♂ professeurs de musique du niveau primaire	APM	1 semaine de travail (40 heures réparties sur 5 jours)	<u>Enseignants du primaire :</u> moyenne ♀=236Hz mode ♀ = 207Hz <u>Professeurs de musique :</u> moyenne ♀=269Hz mode ♀ = 244Hz
Morrow et Connor (2011b) <b>USA</b>	-6 ♀ et 1 ♂ professeurs de musique du niveau primaire	APM	-1 semaine de travail sans amplification -1 semaine de travail avec amplification	<u>Moyenne sans amplification :</u> 269Hz <u>Moyenne avec amplification :</u> 246Hz
Sodersten et al. (2002) <b>Suède</b>	10 ♀ du niveau maternel	-enregistreur DAT -un microphone placé à côté de chaque oreille	1 journée de travail (6-8h) Répartition selon le type d'activité, non présentée dans ce tableau	247Hz (DS=11)

La fréquence vocale accumulée sur des périodes prolongées varie elle aussi selon les études. Les valeurs observées concernent la fréquence moyenne, le mode de fréquence, ou encore la médiane. Toutes ces valeurs ont certainement leur intérêt, mais rendent difficiles les comparaisons entre les études. Parmi les travaux répertoriés, un seul présente des valeurs de fréquence pour les enseignants masculins (Hunter & Titze, 2010). Concernant l'étude de la fréquence selon le niveau enseigné, certains auteurs s'intéressent au niveau maternel (Lindstrom et al., 2011; Sodersten et al., 2002) et d'autres au niveau primaire (Morrow & Connor, 2011a). Ces derniers auteurs montrent qu'au niveau primaire, les professeurs de musique ont une fréquence moyenne plus élevée que les enseignants classiques. Une comparaison entre l'utilisation vocale au travail et hors travail révèle que la fréquence au travail est supérieure à la fréquence hors travail, tant chez les hommes que chez les femmes (Hunter & Titze, 2010). Enfin, une étude démontre une diminution significative de la fréquence fondamentale moyenne des enseignants lorsqu'un système d'amplification vocale est utilisé (Morrow & Connor, 2011b).

### **Les doses de cycles et de distance**

Le Tableau 6 rapporte les principales informations des études recensées portant sur les doses de cycles et de distance. Pour chaque étude sont précisés la référence de l'étude consultée et le pays dans lequel elle a été menée, une description de la population étudiée, le matériel d'accumulation ou de dosimétrie vocale utilisé, la durée de la période d'accumulation chez chaque sujet et les principaux résultats obtenus.

Tableau 6. Synthèse des études portant sur les doses de cycles et de distance

Etude <b>Pays</b>	Population étudiée	Matériel utilisé	Durée d'accumulation	Doses de cycles et de distance
Gaskill et al. (2012) <b>USA</b>	-1 ♀ normophonique -1 ♀ dysphonique  Niveau primaire	APM	<u>3 semaines de travail :</u> -1 semaine sans amplification -1 semaine avec amplification -1 semaine sans amplification	<u>Semaine 1 :</u> -Normo : 0,9 millions de cycles/jour -Normo : 2520 mètres/jour -Dys : 0,5 millions de cycles/jour -Dys : 3058 mètres/jour <u>Semaine 2 :</u> -Normo : 1 million de cycles/jour -Normo : 2191 mètres/jour -Dys : 1,1 millions de cycles/jour -Dys : 2793 mètres/jour <u>Semaine 3 :</u> -Normo : 1,3 millions de cycles/jour -Normo : 3236 mètres/jour -Dys : 1 million de cycles/jour -Dys : 3858 mètres/jour

Morrow et Connor (2011a) USA	-5 ♀ du niveau primaire -6 ♀ et 1 ♂ professeurs de musique du niveau primaire	APM	1 semaine de travail (40 heures réparties sur 5 jours)	<u>Enseignants du primaire :</u> -1,06 millions de cycles/jour -3688 mètres/jour <u>Professeurs de musique :</u> -1,63 millions de cycles/jour -7001 mètres/jour
Morrow et Connor (2011b) USA	-6 ♀ et 1 ♂ professeurs de musique du niveau primaire	APM	-1 semaine de travail sans amplification -1 semaine de travail avec amplification	<u>Sans amplification :</u> -1,63 millions de cycles/jour -7001 mètres/jour <u>Avec amplification :</u> -1,24 millions de cycles/jour -4053 mètres/jour

### Chapitre 3. Le cas particulier des enseignants

A notre connaissance, seules deux équipes de recherche (Gaskill et al., 2012; Morrow & Connor, 2011a, 2011b) ont évalué les doses de cycles et de distance au cours d'une journée de travail chez des enseignants. Une comparaison selon la matière enseignée montre que dans le niveau primaire, les professeurs de musique ont une dose de distance et une dose de cycles significativement plus élevées que les enseignants classiques (Morrow & Connor, 2011a). Les doses de cycles et de distance reflètent l'importance du travail journalier accompli par les plis vocaux, puisqu'ils effectuent plus d'un million de cycles vibratoires et parcourent entre 2 et 4 km au cours d'une journée de travail (Gaskill et al., 2012; Morrow & Connor, 2011a). Enfin, Morrow et Connor (2011b) démontrent que l'utilisation d'un système d'amplification vocale réduit tant la dose de cycles que la dose de distance journalière des enseignants, tandis que Gaskill et al. (2012) observent uniquement une réduction de la dose de distance.

### **Impact de la charge vocale sur la voix de l'enseignant**

Maintenant que nous avons rendu compte de la quantité de charge vocale propre aux enseignants, nous nous intéressons à son impact sur la fonction phonatoire et sur la qualité vocale. Dans le chapitre 2, nous avons vu que la charge vocale avait des effets à court terme ainsi que des effets pathologiques à long terme. Nous avons détaillé les effets immédiats de la charge vocale en termes de changements physiologiques et laryngés, de modifications des paramètres aérodynamiques et acoustiques, de changements perceptifs et de modifications ressenties par le sujet. Nous avons également détaillé les potentiels effets pathologiques à long terme dus à la charge vocale, à savoir l'apparition d'une dysphonie et de lésions cordales liées aux microtraumatismes.

Globalement, l'impact de la charge vocale ne diffère pas entre les enseignants et les autres individus. Plusieurs travaux ont étudié ses **effets à court terme**, tant en laboratoire (charge vocale induite par une lecture prolongée) que sur le terrain (charge vocale représentée par la parole spontanée produite lors d'une journée classique de travail). En guise d'introduction aux études 4 et 5 de cette thèse, nous synthétisons les acquis des travaux antérieurs portant sur les effets de la charge vocale chez les enseignants. Les études consultées sont présentées dans les annexes 1 et 2.

A notre connaissance, une seule étude réalisée **en laboratoire** a porté sur l'impact de la charge vocale sur la voix des enseignants. Il s'agit de celle de Niebudek-Bogusz et al. (2007), relatant les effets de 30 minutes de lecture dans un bruit blanc de 80dB SPL chez 51 enseignantes souffrant de dysphonie fonctionnelle. Les principaux résultats de cette étude ont montré une augmentation des paramètres de perturbation de la fréquence après 30 minutes de charge, aucun changement des paramètres de perturbation de l'intensité dans le groupe complet, mais bien une augmentation du shimmer chez les enseignantes souffrant de dysphonie hyperkinétique. La vidéostroboscopie n'a pas montré de changements significatifs après 30 minutes. Aucune comparaison n'a été effectuée avec un groupe contrôle composé d'enseignantes normophoniques.

Concernant les études observant l'impact de la charge vocale **en situation réelle**, la littérature se révèle plus prolifique. En effet, nous avons recensé 7 études évaluant l'impact de la charge vocale d'une à trois journées de travail (Jonsdottir, Laukkanen, et al., 2002; Kostyk & Rochet, 1998; Laukkanen et al., 2008; Rantala et al., 1994; Rantala et al., 1998; Rantala & Vilkmán, 1999; Rantala et al., 2002). Dans ces études, des mesures sont réalisées avant et après la journée de travail afin de rendre compte de l'évolution des paramètres due à la charge vocale. Sur la plan acoustique, les principaux changements sont une



### Chapitre 3. Le cas particulier des enseignants

augmentation de F0 (Jonsdottir, Laukkanen, et al., 2002; Laukkanen et al., 2008; Rantala et al., 1994; Rantala & Vilkmán, 1999; Rantala et al., 2002), une augmentation de SPL (Jonsdottir, Laukkanen, et al., 2002; Laukkanen et al., 2008; Rantala et al., 1994) et une diminution du jitter et du shimmer suite à une journée travail (Laukkanen et al., 2008). L'analyse spectrale montre une augmentation de l'énergie des composants spectraux les plus aigus, indiquant un changement vers un comportement vocal hyperfonctionnel post charge vocale (Rantala et al., 1998). D'un point de vue subjectif, les enseignants rapportent une augmentation de la fatigue ressentie dans la gorge après 1 journée de travail (Laukkanen et al., 2008).

Certains auteurs ont comparé des enseignantes avec et sans plaintes vocales (Rantala & Vilkmán, 1999; Rantala et al., 2002) ou encore des enseignantes avec et sans fatigue vocale (Kostyk & Rochet, 1998). Selon Rantala et al. (2002), l'augmentation de F0 est plus marquée pour les enseignantes ayant peu de plaintes vocales, signifiant que l'augmentation de F0 serait la conséquence d'une adaptation physiologique normale à la charge vocale. Concernant les mesures aérodynamiques, la pression sous-glottique, le débit d'air, la résistance du conduit glottique et le niveau de pression sonore (SPL) ne diffèrent pas entre les enseignantes avec et sans fatigue vocale (Kostyk & Rochet, 1998). A notre connaissance, aucune étude n'a évalué l'impact de la charge vocale chez des enseignants atteints de lésions cordales. Or, comme nous l'avons vu plus haut, une proportion importante d'enseignants souffre de dysphonie organique. Les études 4 et 5 de cette thèse se proposent donc d'évaluer l'impact de la charge vocale chez des enseignantes atteintes de nodules vocaux, en comparaison avec des enseignantes sans lésions cordales.

Enfin, bien que les effets immédiats d'une charge vocale réalisée en laboratoire ou en situation réelle d'enseignement soient réversibles, lorsqu'une utilisation vocale excessive est répétée dans le temps et qu'un repos

## INTRODUCTION THEORIQUE

compensateur suffisant n'est pas octroyé, des lésions cordales engendrées par des microtraumatismes répétés peuvent apparaître. Les excès de charge vocale, bien connus chez les enseignants, sont une explication aux problèmes vocaux fréquents dans cette population.





# **PARTIE EXPERIMENTALE**



## Objectifs des études

---

L'introduction théorique de ce travail a mis en exergue les raisons pour lesquelles nous investiguons la charge vocale dans la population enseignante. Comme nous venons de le voir, ces professionnels de la voix présentent non seulement une charge vocale importante (Hunter & Titze, 2010; Sala et al., 2002; Sodersten et al., 2002), mais également une prévalence élevée des troubles de la voix (De Jong et al., 2006; Kooijman et al., 2006; Roy, Merrill, Thibeault, Parsa, et al., 2004; Van Houtte et al., 2011). Plusieurs auteurs établissent un lien entre l'utilisation vocale excessive et l'apparition de pathologies vocales liées aux microtraumatismes vibratoires répétés, induisant des modifications de la structure cordale (Gunter, 2004; Svec, Popolo, et al., 2003; Svec, Titze, & Popolo, 2003; Titze et al., 2003; Vilkmann, 2000).

Les cinq études de cette thèse portent exclusivement sur des sujets de sexe féminin. Les raisons de ce choix sont multiples. Premièrement, la profession d'enseignant est largement féminisée puisque les femmes représentent 97% des enseignants du maternel, 80% des enseignants du primaire et 61% des enseignants du secondaire en Communauté française de Belgique (Etnic, 2011). Deuxièmement, les femmes sont plus fragiles que les hommes sur le plan vocal, pour plusieurs raisons explicitées dans le chapitre 2. Il en résulte que la prévalence des troubles de la voix est deux fois plus élevée chez les femmes (Roy et al., 2005), et que celles-ci consultent plus pour des problèmes de voix que les hommes (Cohen, Kim, Roy, Asche, & Courey, 2012; Van Houtte et al., 2010). Troisièmement, les femmes présenteraient une charge vocale plus élevée que les hommes sur le plan de la durée de phonation et de la fréquence vocale (Hunter & Titze, 2010). Enfin, elles seraient plus sensibles à la charge vocale que les hommes (Sodersten et al., 2005; Vintturi et al., 2001a).

La contribution de notre travail intervient à deux niveaux d'étude de la charge vocale. D'une part, nous cherchons à quantifier la charge vocale en situation écologique dans une population d'enseignantes, via la technique de dosimétrie vocale (étude 1). D'autre part, nous étudions l'impact d'une tâche de charge vocale réalisée en laboratoire sur la fonction phonatoire et sur la qualité vocale (études 2 à 5).

**Etude 1 :** Avec la commercialisation des systèmes de dosimétrie vocale dans le courant des années 2000, l'accumulation de données relatives au comportement vocal permet progressivement d'établir des normes de référence concernant la quantité de phonation propre à différents groupes d'individus et professions en situation écologique. Ces travaux ont pour but de fixer des limites de sécurité afin d'éviter une surcharge vocale et l'apparition de microtraumatismes liés aux excès vocaux (Hillman & Mehta, 2011). Parmi les différentes professions investiguées, celle des enseignants fait l'objet de plusieurs études en dosimétrie vocale (Gaskill et al., 2012; Hunter & Titze, 2010; Lindstrom et al., 2011; Masuda et al., 1993; Morrow & Connor, 2011a, 2011b; Sala et al., 2002; Sodersten et al., 2002; Titze et al., 2007). Si ces études fournissent des données sur la charge vocale des enseignants, les différences en fonction des niveaux d'enseignement restent peu investiguées. Or, il nous semble particulièrement intéressant de déterminer si certains groupes d'enseignants, comme les instituteurs du maternel, présentent une charge vocale plus élevée que d'autres.

L'étude 1 se concentre sur les niveaux maternel et primaire de l'enseignement ordinaire, avec pour but d'établir le profil d'utilisation vocale de ces deux groupes au cours d'une semaine type de travail. La charge vocale de 12 enseignantes du maternel et de 20 enseignantes du primaire sans plaintes vocales a été accumulée au travail et après le travail à l'aide de l'APM (présenté dans le



## Objectifs des études

chapitre 2). Les questions auxquelles l'étude 1 tente de répondre sont les suivantes :

- 1) Les enseignantes du maternel et les enseignantes du primaire ont-elles une charge vocale différente sur leur lieu de travail ?
- 2) Les enseignantes du maternel et les enseignantes du primaire ont-elles une charge vocale différente en dehors du travail ?
- 3) Parmi les deux groupes d'enseignantes, la charge vocale au travail diffère-t-elle de la charge vocale en dehors du travail ?

Les quatre autres études portent sur l'impact de la charge vocale sur la fonction phonatoire et sur la qualité vocale. Nous avons vu que la charge vocale peut, non seulement, engendrer des effets à court terme se traduisant par des modifications acoustiques, aérodynamiques et perceptives, mais également de potentiels effets à long terme tels que l'apparition de lésions cordales. Les études 2 à 5 ont pour but d'étudier les effets à court terme d'une tâche de charge vocale réalisée en laboratoire. La tâche de charge vocale utilisée consiste en 2 heures de lecture d'un roman.

**Études 2 et 3 :** Selon Svec et al. (2003), il y a au moins trois facteurs fondamentaux contribuant à la charge vocale : la durée de phonation, l'intensité et la fréquence vocale. Cependant, l'importance relative de ces facteurs de charge vocale reste méconnue. Les études 2 et 3 s'intéressent aux deux facteurs directement liés à l'utilisation vocale prolongée à intensité élevée propre aux enseignants, c'est-à-dire le facteur de durée et le facteur d'intensité. L'importance relative de ces 2 facteurs sous-tend des questions du type : l'impact d'une heure de phonation à intensité élevée est-il différent de l'impact de deux heures de phonation à intensité faible ? Ou encore, y a-t-il des différences entre une profession nécessitant de parler à intensité conversationnelle face à une seule personne et une profession nécessitant de parler à intensité élevée face à un public, comme c'est le cas pour les

enseignants ? Il est légitime de penser que les conséquences de deux heures de phonation à intensité conversationnelle diffèrent des conséquences de 2 heures de phonation à intensité élevée. Plusieurs études ont observé les modifications vocales au cours d'une lecture prolongée, avec pour but de déterminer l'impact de la durée de la charge vocale (Boucher et al., 2006; Boucher & Ayad, 2010; Chang & Karnell, 2004; Gelfer et al., 1991, 1996; Kelchner et al., 2006; Laukkanen et al., 2004; Linville, 1995; Lohscheller et al., 2008; Sihvo & Sala, 1996; Solomon & DiMattia, 2000; Solomon et al., 2003; Stemple et al., 1995). Outre l'impact de la durée de la charge vocale, l'objectif de ce travail est d'observer de plus près l'impact de l'intensité élevée de la charge vocale, propre à l'utilisation vocale des enseignants.

Pour tenter d'améliorer la compréhension des facteurs de durée et d'intensité, nous avons soumis 50 femmes normophoniques non professionnelles de la voix à une tâche de charge vocale, réalisée deux fois en variant le niveau d'intensité vocale. La tâche consiste en une lecture à voix haute pendant 2 heures. Chaque participante a réalisé la tâche une première fois à intensité conversationnelle (60-65 dB A) et une deuxième fois à intensité élevée (70-75 dB A), soit une intensité comparable à celle des enseignants dans le cadre de leur travail. Un intervalle de minimum 5 jours a été respecté entre les 2 passations. Les questions investiguées sont les suivantes :

- 1) La voix varie-t-elle au cours de 2 heures de charge vocale (facteur de durée) ?
- 2) La voix varie-t-elle selon le niveau d'intensité de la charge vocale (facteur d'intensité) ?

Pour répondre à ces questions, l'étude 2 analyse d'une part les résultats obtenus aux mesures objectives (analyses acoustiques, phonétogramme, temps maximum de phonation) et d'autre part ceux obtenus aux échelles d'auto-évaluations subjectives. Ces mesures ont été réalisées toutes les 30 minutes au cours de la tâche de lecture. Pour répondre aux mêmes questions mentionnées ci-

## Objectifs des études

dessus, l'étude 3 présente, quant à elle, les résultats des évaluations perceptives réalisées par un jury d'experts en voix. L'aspect soufflé et l'aspect pressé des échantillons vocaux récoltés avant et après la tâche de charge vocale ont été évalués à l'aide d'une méthode de jugements comparatifs par paires.

**Etudes 4 et 5 :** Une vaste étude belge menée à l'Hôpital Universitaire de Gent (Van Houtte et al., 2010) montre que plus de 20% des personnes actives ayant consulté le service d'ORL pour problèmes de voix sont des enseignants. 78% de ces enseignants sont des femmes. Parmi les enseignants, les nodules font partie des pathologies vocales les plus fréquemment diagnostiquées (Fritzell, 1996; Sala et al., 2001; Van Houtte et al., 2010). Ce constat nous amène à nous interroger sur l'impact de la charge vocale chez des enseignants souffrant de nodules. A notre connaissance, une étude s'est penchée sur l'impact de 30 minutes de lecture sur la voix d'enseignantes souffrant de dysphonie fonctionnelle (Niebudek-Bogusz et al., 2007), mais aucune n'a évalué l'impact de la charge vocale chez des enseignants porteurs de lésions cordales. Les études 4 et 5 de cette thèse se proposent donc d'évaluer l'impact de la charge vocale sur la fonction phonatoire et sur la qualité vocale d'enseignantes souffrant de nodules vocaux, en comparaison avec des enseignantes vocalement saines. Pour ce faire, nous avons soumis 16 enseignantes dysphoniques avec lésions nodulaires et 16 enseignantes normophoniques à une tâche de charge vocale, consistant en 2 heures de lecture à intensité élevée (70-75 dB A), soit une intensité comparable à celle utilisée au travail. Les questions investiguées sont les suivantes :

- 1) Quel est l'impact de 2 heures de charge vocale sur la voix des enseignantes ?
- 2) Observe-t-on des différences entre les enseignantes normophoniques et les enseignantes dysphoniques ?

Pour répondre à ces questions, l'étude 4, reprenant le design de l'étude 2, analyse d'une part les résultats obtenus aux mesures objectives (analyses acoustiques, phonétogramme, analyses aérodynamiques) et d'autre part ceux obtenus aux échelles d'auto-évaluations subjectives. Ces mesures ont été réalisées toutes les 30 minutes au cours de la tâche de lecture. L'étude 5, au design similaire à celui de l'étude 3, présente quant à elle les résultats des évaluations perceptives réalisées par un jury d'experts en voix. L'aspect soufflé et l'aspect pressé des échantillons vocaux récoltés avant et après la tâche de charge vocale ont été évalués à l'aide d'une méthode de jugements comparatifs par paires.

Chacune des 5 études a donné lieu à la rédaction d'un article de recherche. La suite de ce travail présente ces articles tels qu'ils ont été publiés ou soumis pour publication.

# Etude 1

---

## **Comparison of vocal loading parameters in kindergarten and elementary school teachers**

Angélique Remacle<sup>1</sup>, Dominique Morsomme<sup>1</sup>, and Camille Finck<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Liège, Belgium

<sup>2</sup>CHU of Liège and University of Mons, Belgium

Submitted in Journal of Speech, Language, and Hearing Research.

Presented at the Occupational Voice Symposium (Oral Communication, London, UK, 24-04-2013)

## **ABSTRACT**

**Purpose:** Although a global picture exists of teachers' voice demands in general, few studies have compared specific groups of teachers to determine whether some are more at risk than others. This study compared vocal loading of kindergarten and elementary school teachers; professional and non-professional vocal load was determined for both groups.

**Method:** Twelve kindergarten and twenty elementary school female teachers without voice problems were monitored during one workweek using the Ambulatory Phonation Monitor. Vocal loading parameters analyzed were F0, SPL, time dose, distance dose and cycle dose.

**Results:** Comparisons between the groups showed significantly higher cycle dose and distance dose for kindergarten teachers than for elementary school teachers, in both professional and non-professional environments. Professional and non-professional voice use comparisons showed significant differences for all parameters, indicating that vocal load was higher in the professional environment for both groups.

**Conclusions:** The higher vocal doses measured in kindergarten teachers suggest that particular attention should be paid to this specific group of teachers. Although non-professional vocal load is lower than professional vocal load, it is important to take both into account because of their cumulative effects.

## INTRODUCTION

Vocal load is acoustic vocal power integrated over time (Titze, 2001), which is thought to be mostly determined by the duration, intensity and frequency of vocalizations. Based on a comparison between vocal fold vibrations and hand-transmitted vibrations in industry, vocal load is likely to contribute to the development of vocal fold damage because of the potentially harmful exposure of tissue to repeated vibrations (Svec, Popolo, et al., 2003; Titze et al., 2003). For quantifying voice use in daily life, the best adapted tools are voice dosimeters or voice accumulators. Such devices have been developed and tested over the last few decades (Airo, Olkinuora, & Sala, 2000; Batty, Howard, Garner, Turner, & White, 2002; Buekers, Bierens, Kingma, & Marres, 1995; Cheyne, Hanson, Genereux, Stevens, & Hillman, 2003; Granqvist, 2003; Masuda et al., 1993; Popolo, Rogge-Miller, Svec, & Titze, 2002; Ryu, Komiyama, Kannae, & Watanabe, 1983; Szabo, Hammarberg, Håkansson, & Södersten, 2001). Current models measure the frequency (F0), the intensity (SPL) and the duration of speech occurrences, generally using an accelerometer or a contact microphone attached to the base of the neck. Some devices, such as the VoxLog (Sonvox AB, Umeå, Sweden), also measure the background noise level in order to evaluate its impact on voice use. Growing attention has been focused on evaluating patterns of vocal behavior because vocal load is considered to play a major role in the etiology of many common voice disorders; long-term ambulatory monitoring allows for the characterization of these patterns and provides data on what constitutes a normal level of daily voice use (Hillman & Mehta, 2011).

Teachers have been thoroughly investigated as professional voice users, that is, individuals who work in professions in which the voice is the primary tool (Vilkman, 2000). Professional voice users have a higher incidence of and

increased risk for voice disorders (Epstein, Remacle, & Morsomme, 2011). Vocal load has been studied in teachers in particular, because they have one of the most vocally demanding professions. Extended vocal loading is assumed to be one cause of the higher prevalence of voice disorders in teachers than the general population (Smith et al., 1997; Villanueva-Reyes, 2011). An increasing number of publications have investigated teachers' voice use in terms of F0, SPL and phonation time (Bottalico, 2010; Gaskill et al., 2012; Hunter & Titze, 2010; Lindstrom et al., 2011; Morrow & Connor, 2011a, 2011b; Sodersten et al., 2002; Titze et al., 2007). An overall picture exists of teachers' voice demands in general, but few studies have compared specific groups of teachers to determine whether some are more at risk than others.

To date, we have found three publications that report comparisons between specific groups of teachers (Buekers et al., 1995; Masuda et al., 1993; Morrow & Connor, 2011a). Masuda et al. (1993) developed a phonation time and intensity accumulator that picks up the vibrations of the vocal folds with a contact microphone attached to the front of the neck. The vocal behavior of 6 kindergarten and 7 elementary school teachers was measured for 1 or 2 days. In kindergarten teachers, the phonation time per 8 hours was 95 min ( $\approx 20\%$ ) and the phonation time  $\geq 80$  dB was 51 min ( $\approx 11\%$ ). In elementary school teachers, the phonation time per 8 hours was 104 min ( $\approx 22\%$ ) and the phonation time  $\geq 80$  dB was 50 min ( $\approx 10\%$ ). These results showed slightly but non-significantly longer phonation time for elementary school teachers than for kindergarten teachers. Buekers et al. (1995) designed a speaking time and SPL accumulator that records the voice with a head-mounted microphone. Vocal load profiles over one day at work were obtained for different occupations, including 6 kindergarten teachers, 8 primary school teachers, 4 college teachers, 6 high school teachers and 6 special education teachers. The results showed that vocal load was greater in teachers than in other workers. Note that speaking time and phonation time are two different measures: speaking time includes voiced and



## Etude 1

unvoiced segments of speech, while phonation time includes only moments when the vocal folds are vibrating. Finally, Morrow and Connor (2011a) compared voice-use profiles of 5 elementary classroom and 7 elementary music teachers. Participant's voice use was measured using the Ambulatory Phonation Monitor (APM) over five working days. Results showed significantly higher values in music teachers than in classroom teachers for phonation time, F0 mode, F0 average, SPL, cycle dose and distance dose traveled by the vocal folds.

The present study focuses on 12 kindergarten and 20 elementary school teachers without voice problems. The purpose is to provide quantitative data on daily voice use to determine whether kindergarten and elementary school teachers engage in different vocal loading behaviors. Vocal loading was accumulated in all teachers for one workweek (5 days) in their professional and non-professional environments. The following questions are examined:

- (1) Is professional vocal load different in kindergarten and elementary school teachers?
- (2) Is non-professional vocal load different in kindergarten and elementary school teachers?
- (3) What are the differences between professional and non-professional vocal load in both groups?

These questions are answered based on a sample of Belgian French-speaking teachers. In Belgium, one year has 181 to 183 days of lessons over 37 weeks, ranging from early September to late June. One school week includes four full days (Monday, Tuesday, Thursday, Friday) and one half day (Wednesday morning). A full-time schedule of teaching and educational activities comprises 24 50-minute periods per week for kindergarten teachers and 26 50-minute periods per week for elementary school teachers, excluding meetings with pedagogical staff, before- and after-school daycare, preparation of lessons and contacts with parents. Kindergarten is for children from 2<sup>1/2</sup> to 5

years old, and elementary school is for children from 6 to 12 years old. Both kindergarten and elementary school teachers' training takes place over three years and generally does not include voice training. In the French Community of Belgium, the proportion of females is 97 % for kindergarten teachers and 80 % for elementary school teachers (Etnic, 2011). This study examines female teachers because they are twice as likely as males to report voice problems (Russell et al., 1998) and to seek phoniatric care (Fritzell, 1996).

## METHOD

### Subjects

The sample included 32 teachers who had no voice problems at the time of the study. None of the subjects had a history of lesion or surgery of the vocal folds. One teacher had had speech therapy in the past to improve her voice use. She was included in the sample because she had a normal voice at the time of the study. Thirty-three participants were recruited, but one of them dropped out during the testing. The kindergarten teacher group included 12 females aged from 32 to 49 years ( $M = 39$ ;  $SD = 5$ ) and the elementary school teacher group included 20 females aged from 25 to 58 years ( $M = 39$ ;  $SD = 9$ ). The composition of the two groups was homogeneous concerning age (Mann-Whitney  $U = 110.5$ ,  $p = 0.72$ ) and average duration of employment (Mann-Whitney  $U = 98.5$ ,  $p = 0.41$ ). Concerning class size, teachers indicated each day if they had 0–9 students, 10–14 students, 15–19 students, 20–25 students, or more than 25 students. Background information collected with a questionnaire is presented in Table 1.

## Etude 1

The participants were selected from five public schools in the Province of Liège, in the French Community of Belgium. We selected three regular education schools located in the city of Liège and two regular education schools located in rural areas. All five schools taught both kindergarten and elementary levels. The same proportion of kindergarten teachers and elementary school teachers was recruited in each school when possible, in order to control for student populations and environmental factors in the comparisons of the two groups. After obtaining approval from the local research ethics committee and authorizations from the schools' principals, the researcher met individually with each teacher to explain the test's objectives and procedures. Each participant signed a consent form and completed some questionnaires before being enrolled in the study.

In addition to the anamnestic questionnaire, participants completed the French version of the voice handicap index (VHI) (Woisard, Bodin, & Puech, 2004), initially developed by Jacobson et al. (1997). The VHI is a 30-items questionnaire to assess patients' judgment of the relative impact of their voice disorder on their daily life. Each item is scored on an equal-appearing 5-point scale from 0 (never) to 4 (always). The items are equally distributed over three subscales: functional, physical, and emotional. Low scores indicate few complaints and high scores indicate many complaints. The maximum total score is 120 points and the maximum score per subscale is 40 points. The Mann-Whitney  $U$  test showed similar results in both groups for the total score ( $U = 101.5, p = 0.48$ ), the functional score ( $U = 114.5, p = 0.83$ ), the physical score ( $U = 106, p = 0.60$ ) and the emotional score ( $U = 86.5, p = 0.19$ ). VHI scores for both groups are presented in Table 1.

Table 1. Description of the participants

Measure	Kindergarten teachers ( <i>n</i> = 12)	Elementary school teachers ( <i>n</i> = 20)
Average duration of employment, y (SD)	16 (6)	14 (7)
Class size < 9 students (%)	0 %	0 %
Class size 10–14 students (%)	38.3 %	6.3 %
Class size 15–19 students (%)	31.7%	50.5%
Class size 20–25 students (%)	21.7 %	28.4 %
Class size > 25 students (%)	8.3 %	14.8 %
Number of smokers (%)	8.3 %	20 %
Teachers with previous voice problems (%)	33.3 %	25 %
Total score, VHI (SD)	9.7 (10.3)	12.4 (11.8)
Functional score, VHI (SD)	2.9 (3.9)	2.9 (3.0)
Emotional score, VHI (SD)	1.3 (2.7)	1.9 (3.5)
Physical score, VHI (SD)	4.7 (5.3)	7.6 (6.5)

Abbreviations: SD, standard deviation; VHI, voice handicap index

### Voice dosimeter

We used the Ambulatory Phonation Monitor (APM), Model 3200 (KayPENTAX, Montvale, NJ), a commercially available voice dosimeter, to measure parameters of vocal load over an entire day of normal activities. The parameters collected were the moments of phonation, the amount of time spent phonating, and the F0 and SPL of voice occurrences. The APM is a PC-compatible hardware and software system. The portable 45 x 95 x 158 millimeter hardware module (microprocessor) is worn in a waist pack. The transducer is an 8.4 x 5.6 x 3.8 millimeter accelerometer mounted on a silicone

## Etude 1

pad. The accelerometer is attached to the base of the neck with medical glue (Secure Silicone Adhesive, Factor II, Lakeside, AZ) and removed at the end of the day with adhesive remover wipes (UNI-SOLVE, Smith & Nephew, Largo, FL). The accelerometer detects skin vibrations associated with phonation. Data are extracted 20 times per second throughout the day and stored in the microprocessor's memory.

For the present study, we configured the APM software in order to average data every minute. The frequency range of the data analyzed extended from 50 to 500 Hz. The intensity range was from 30 to 130 dB SPL. These are the default ranges of the APM software. Note that the APM collects only extracted voice parameters and not actual speech samples. The advantage is the protection of subject confidentiality and the drawback is that an acoustic speech signal is not available for further analysis.

Vocal loading parameters analyzed in the present study were *F0 average*, *F0 mode*, *SPL average*, *time dose*, *cycle dose* and *distance dose*. *F0* is determined by the number of vocal fold cycles per second, expressed in Hertz. *F0 average* is the average *F0* over the duration of monitoring and *F0 mode* is the *F0* at which the most phonation occurred over the duration of monitoring, which is automatically calculated by the APM (KayPENTAX, 2009). *SPL average* refers to the average sound pressure level of voice over the duration of monitoring, which is also automatically calculated by the APM (KayPENTAX, 2009). The *time dose* ( $D_t$ ) accumulates the total time the vocal folds vibrate during speech (Titze et al., 2003). In this study, the time dose is expressed as a percentage ( $D_{t\%}$ ) and corresponds to the ratio of the time dose to the monitoring period. There are no direct methods for measuring *cycle dose* ( $D_c$ ) and *distance dose* ( $D_d$ ), which are automatically calculated by the software from formulas given by Svec, Popolo, and Titze (2003).  $D_c$  is an approximation of the total number of glottal cycles over time, calculated from the formula:

$$D_c = \int_0^{t_m} k_v F_0 dt \text{ cycles}$$

where  $t_m$  is the total duration exam,  $k_v$  is the voicing detection (1 for voicing, 0 for non-voicing), and  $F_0$  the fundamental frequency.

$D_d$  is an approximation of “how far” the vocal folds traveled during monitoring. This dose quantifies the total distance accumulated by the vocal folds in a cyclic path during vibration, following the formula:

$$D_d = 4 \int_0^{t_m} k_v A F_0 dt \text{ meters}$$

where  $A$  is the amplitude of the vocal folds.

According to Svec, Popolo, and Titze (2003), these doses measure the vocal load and can be used to study the effects of vocal fold tissue exposure to vibration during phonation.

## Procedure

All participants were monitored for five full teaching days in a single workweek (from Monday to Friday) to determine the average vocal load over a prolonged period for the two groups of teachers. In some cases (teacher on sick leave, problem with the APM, public transit strike), the five days of recording were not consecutive and the day corresponding to the missed day was recorded the next week, in order to obtain five full days of collected data. The data analyzed in this study were collected between January 2011 and May 2012. A total of 160 days ( $\approx 1513$  hours) of collected data were analyzed. Table 2 shows the average duration of monitoring per week. Following the recommendations of Nix, Svec, Laukkanen, and Titze (2007) on voice dosimetry in teachers, the same researcher, who was familiar and visible to school officials and teachers, recruited the subjects and gathered the data.

## Etude 1

The APM was installed and calibrated according to the APM software instruction manual (KayPENTAX, 2009). First of all, the APM software was installed on the laptop used for the calibration and analysis of the collected data. At the onset of each workday, the APM was calibrated for SPL measurement in a quiet room, within each participant's school. The following steps were completed for the calibration process: (1) the APM hardware (microprocessor) was connected to the laptop, (2) a new file was set up for each recording, (3) the accelerometer was attached to the wearer's neck and connected to the microprocessor, (4) the SPL was calibrated while the participant produced the vowel /a/ from the softest to the loudest intensity for about 10 seconds using the calibration microphone connected to the microprocessor and kept at 15 cm from the lips with a distance guide. Some participants failed to produce extremely soft or loud intensity levels, even after several trials. In these cases, we recalibrated until the software validated the calibration. Then, (5) once the calibration was completed, the monitoring started and the microprocessor was disconnected from the laptop, and (6) the microprocessor was placed in the pack attached around the waist.

The teacher then proceeded with her normal professional and non-professional activities and was instructed to use her voice as usual. Participants were asked to wear the APM as long as possible after work in order to allow comparisons between professional and non-professional voice use. Some participants quickly removed the APM after work (e.g., to play a sport). Consequently, the weekly average duration of non-professional monitoring (18 hours per participant) was shorter than the average duration of professional monitoring (29 hours per participant).

To stop the monitoring, the participant had to unplug the accelerometer cable from the microprocessor and remove the accelerometer from her neck. The next day, the collected data were downloaded onto the laptop by the researcher,

before the APM was calibrated again. This procedure was repeated each day of the week. In order to compare professional and non-professional voice use, participants were asked to maintain a diary of their activities for the entire monitoring period. Teachers also received a loan form and an instruction manual for the APM developed on the basis of Popolo et al. (2004), Nix et al. (2007) and the APM software instruction manual (KayPENTAX, 2009).

Table 2. Average duration of monitoring (hr : min) per week per participant (standard deviation in parentheses)

	Kindergarten	Elementary	
	teachers ( <i>n</i> = 12)	school teachers ( <i>n</i> = 20)	All teachers ( <i>N</i> = 32)
Professional environment	28 : 34 (03 : 10)	29 : 26 (02 : 47)	29 : 07 (02 : 55)
Non-professional environment	22 : 36 (07 : 17)	15 : 29 (06 : 08)	18 : 09 (07 : 21)
Total	51 : 10 (07 : 20)	44 : 55 (06 : 36)	47 : 16 (07 : 26)

## Statistics

Once the data from the APM were downloaded, we manually separated the professional and non-professional voice use for each day of recording on the basis of the diary completed by the participant. Professional voice use concerned all time spent at school, including classical teaching periods and all school-related activities (e.g., meetings, before- and after-school daycare). The separated data from professional and non-professional voice use were then transferred to Microsoft Excel files. Because the duration of monitoring differed



## Etude 1

for each day, the F0 mode, F0 average, SPL average,  $D_c$  and  $D_d$  were normalized to the time dose  $D_t$  according to this formula:

Parameter normalized =

$$\frac{(Value_{param}^{D1} \cdot D_t D1) + (Value_{param}^{D2} \cdot D_t D2) + (Value_{param}^{D3} \cdot D_t D3) + (Value_{param}^{D4} \cdot D_t D4) + (Value_{param}^{D5} \cdot D_t D5)}{(D_t D1 + D_t D2 + D_t D3 + D_t D4 + D_t D5)}$$

where  $Value_{param}$  is the value of the parameter considered and D1, D2, D3, D4, and D5 represent the five days of monitoring. The normalized parameters were used for the statistical analysis.

To compare professional and non-professional voice use for kindergarten and elementary school teachers, a repeated measures analysis of variance (ANOVA) was performed (2 environments X 2 groups). We tested the within-subjects effect (main effect of environment), the between-subjects effect (main effect of group), and the interaction between environment and group. The significance level was set at  $p < .05$ .

A normality test was performed to check if the assumptions in the ANOVA were met. The results showed that all the parameters followed a normal distribution, except for  $D_c$  and  $D_d$ . Before performing the ANOVA, these doses were normally distributed following a square root transformation for  $D_c$  and a logarithmic transformation for  $D_d$ . For the sake of clarity, means for the raw data values are presented in the figures. All calculations were conducted using the statistical software Statistica/Win (version 10; StatSoft Inc., Tulsa, OK).

## RESULTS

For each parameter, Figure 1 depicts the mean values and standard errors of the mean in the professional and non-professional environments for the two groups of teachers.

Concerning the fundamental frequency, the repeated measures ANOVAs showed a significant main effect of environment for F0 average,  $F(1, 30) = 68.05, p < .0001$ , partial  $\eta^2 = .69$ , and for F0 mode,  $F(1, 30) = 33.99, p < .0001$ , partial  $\eta^2 = .53$ . Both kindergarten and elementary school teachers spoke in a higher voice in the professional environment. The results demonstrated no main effect of group for F0 average,  $F(1, 30) = 2.99, p = 0.09$ , partial  $\eta^2 = .09$ , or F0 mode,  $F(1, 30) = 2.60, p = 0.12$ , partial  $\eta^2 = .08$ . The interaction between environment and group was significant neither for F0 average,  $F(1, 30) = 2.04, p = 0.16$ , partial  $\eta^2 = .06$ , nor for F0 mode,  $F(1, 30) = 0.30, p = 0.59$ , partial  $\eta^2 = .01$ .

The repeated measures ANOVA on SPL average showed that teachers spoke significantly louder in the professional environment,  $F(1, 30) = 106.82, p < .0001$ , partial  $\eta^2 = .78$ . The main effect of group was not significant,  $F(1, 30) = 0.34, p = 0.56$ , partial  $\eta^2 = .01$ , nor was the interaction between environment and group,  $F(1, 30) = 1.73, p = 0.20$ , partial  $\eta^2 = .05$ .

The repeated measures ANOVA on  $D_{t\%}$ ,  $F(1, 30) = 116.16, p < .0001$ , partial  $\eta^2 = .79$ , demonstrated a significant main effect of environment. Both kindergarten and elementary school teachers spoke more in the professional environment. The results revealed no main effect of group,  $F(1, 30) = 1.50, p = .23$ , partial  $\eta^2 = .05$ , or interaction between environment and group,  $F(1, 30) = 0.26, p = .62$ , partial  $\eta^2 = .008$ .

## Etude 1

The repeated measures ANOVA performed on  $D_c$  revealed a main effect of environment,  $F(1, 30) = 304.99$ ,  $p < .0001$ , partial  $\eta^2 = .91$ .  $D_c$  was higher at school than in the non-professional environment. Kindergarten teachers had a significantly higher  $D_c$  than elementary school teachers,  $F(1, 30) = 6.21$ ,  $p = 0.018$ , partial  $\eta^2 = .17$ . There was no interaction between environment and group,  $F(1, 30) = 0.62$ ,  $p = 0.44$ , partial  $\eta^2 = .02$ .

Finally, the repeated measures ANOVA on  $D_d$  demonstrated a significantly higher value in the professional environment than in the non-professional environment,  $F(1, 30) = 254.12$ ,  $p < .0001$ , partial  $\eta^2 = .89$ . The significant main effect of group,  $F(1, 30) = 5.55$ ,  $p = 0.02$ , partial  $\eta^2 = .16$ , showed that  $D_d$  was higher in kindergarten teachers than in elementary school teachers. The interaction between environment and group was not significant,  $F(1, 30) = 1.06$ ,  $p = 0.31$ , partial  $\eta^2 = .03$ .

## PARTIE EXPERIMENTALE

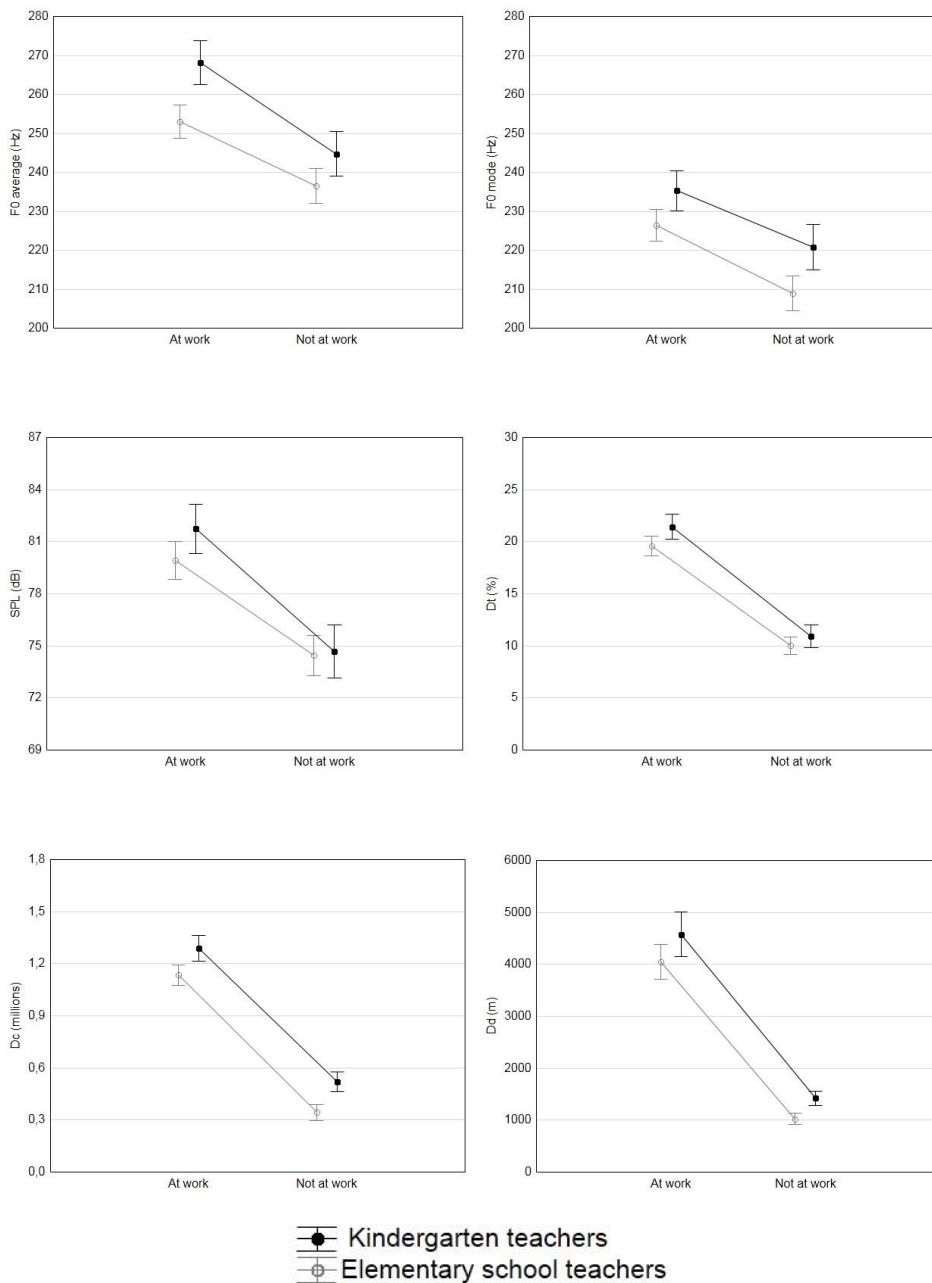


Figure 1. Means for the vocal loading related parameters in the two environments in kindergarten teachers (in black) and elementary school teachers (in gray). Error bars represent standard errors of the mean.

## **DISCUSSION**

### **Methodological aspects**

This study determined voice load profiles for 12 kindergarten and 20 elementary school teachers in their professional and non-professional environments. As in the studies by Morrow and Connor (2011a, 2011b) and Gaskill et al. (2012), the APM was calibrated at the onset of each day of data collection. An average of 47 hours of data were collected over five days of monitoring, including both professional and non-professional environments (see Table 2). In previous voice dosimetry studies, the duration of monitoring ranged from 1 day (Buekers et al., 1995; Lindstrom et al., 2010; Sala et al., 2002; Sodersten et al., 2002; Szabo et al., 2001) to 14 days (Carroll et al., 2006; Gaskill et al., 2012; Hunter & Titze, 2010; Titze et al., 2007).

Continuing dosimetry on weekends would have given a more complete view of the teachers' non-professional voice use but this was not done for practical reasons. The APM needs to be calibrated by a researcher before each recording and participants were not willing to agree to a schedule and undergo calibration on weekends, especially as we did not offer them any financial compensation for their participation in the experiment.

The advantages of the accelerometer for long-term monitoring have been described in previous publications (Cheyne et al., 2003; Hillman, Heaton, Masaki, Zeitels, & Cheyne, 2006; Lindstrom, Ren, Li, & Wayne, 2009; Popolo, Svec, & Titze, 2005; Svec, Titze, et al., 2003). In the present work, we encountered some difficulties with the attachment of the accelerometer, which sometimes detached from the skin during the day. Several participants experienced skin irritation and redness due to the glue where the accelerometer

was attached. One participant dropped out because of an allergic reaction to the glue. Similar observations have been made about the National Center for Voice and Speech voice dosimeter (Hunter, 2012).

### **Comparisons between kindergarten and elementary school teachers**

The first question of this study was whether professional voice use was different in kindergarten and elementary school teachers. Figure 1 shows that all vocal loading related parameters were slightly higher for kindergarten teachers than for elementary school teachers. Statistical analyses showed that the differences between the two groups were significant for  $D_c$  and  $D_d$ .

Concerning the professional  $F_0$ , the slightly higher values in kindergarten teachers (average = 268 Hz, mode = 235 Hz) versus elementary school teachers (average = 253 Hz, mode = 226 Hz) might be due to acoustic convergence behavior or accommodation. Convergence is a tendency of talkers to imitate various features of one another's speech so that they are more similar (Ward & Litman, 2007). Kindergarten teachers may possibly use a higher  $F_0$  at work than elementary school teachers because they are surrounded by younger children speaking at a higher pitch.

Similarly to the present  $F_0$  values, two Swedish studies measured a mean  $F_0$  of 252 Hz in 9 preschool female teachers (Lindstrom et al., 2010) and of 247 Hz (median = 244 Hz) in 10 preschool female teachers (Sodersten et al., 2002). In 36 Italian female primary school teachers, the mean  $F_0$  at work was 240 Hz (Bottalico & Astolfi, 2012). In the US, 5 female elementary classroom teachers had a mean  $F_0$  of 236 Hz (mode = 207 Hz) (Morrow & Connor, 2011a). A larger study showed slightly lower  $F_0$  values in 45 female American teachers (mode = 194 Hz, median = 226 Hz) (Hunter & Titze, 2010). It seems that the

## Etude 1

professional F0 values monitored in American teachers are lower than in European teachers. This may reflect cross-cultural and cross-linguistic differences, which would be interesting to investigate in future research using voice dosimetry.

In terms of professional voice SPL, kindergarten teachers spoke slightly louder (81.7 dB SPL) than elementary school teachers (79.9 dB SPL), with a larger standard deviation for elementary school teachers (5.5 dB SPL versus 3.7 dB SPL). These data are similar to other SPL data collected with the APM. Indeed, Morrow and Connor (2011a) observed a voice intensity of 77.2 dB SPL (SD = 4) in elementary classroom teachers and 82.9 dB SPL (SD = 5.7) in elementary music teachers. In their study of two female elementary school teachers, Gaskill et al. (2012) measured a mean voice intensity of 80 to 82 dB SPL in the teacher with a history of vocal complaints and of 74 dB SPL in the teacher without a history of voice problems.

In the present study of French-speaking females, professional  $D_{t\%}$  was 1.8 percentage points higher for kindergarten teachers (21.4%) than for elementary school teachers (19.6%). In a Japanese study (Masuda et al., 1993), the converse trend was observed: the professional  $D_{t\%}$  was lower in 6 kindergarten female teachers (20%) than in 3 male and 4 female elementary school teachers (22%). In Sweden, 10 female preschool teachers working with children between 1 and 6 years had a professional  $D_{t\%}$  of 16.9% (Sodersten et al., 2002). In Italy, the professional  $D_{t\%}$  was 25.9% in 36 female primary school teachers (Bottalico & Astolfi, 2012). In the US, the professional  $D_{t\%}$  was 108 minutes per day in 7 elementary music teachers ( $\approx 22\%$ ) and 77 minutes in 5 elementary classroom teachers ( $\approx 16\%$ ) (Morrow & Connor, 2011a). Larger studies covering different school grades and subjects taught reported a professional  $D_{t\%}$  of 23% in 31 American teachers (26 females and 5 males), and 29.9% in 57 American teachers (45 females and 12 males), with females

reaching 30.7% (Hunter & Titze, 2010; Titze et al., 2007). Across countries, languages, cultures, school grades and subjects taught, research has found a professional  $D_{r\%}$  in teachers of between 16% and 30%. The results of the present study fall within this range.

Vocal doses, such as  $D_{t\%}$ ,  $D_c$  and  $D_d$ , are of particular interest because they illustrate the work done by the vocal folds. These doses can be used to study the effects of vocal fold tissue exposure to vibration (Svec, Popolo, et al., 2003). In the present study,  $D_d$  and  $D_c$  were significantly higher in kindergarten teachers than in elementary school teachers, suggesting that teaching young children involves more work in terms of oscillatory cycles and distance traveled by the vocal folds. Note that the results for  $D_d$  and  $D_c$  in elementary school teachers in this study are comparable to those found in American elementary school teachers during one working day (Morrow & Connor, 2011a): the present study reports a  $D_d$  of 4 km in Belgium versus 3.7 km in the US, and a  $D_c$  of 1.14 million in Belgium versus 1.06 million in the US. In another American study (Gaskill et al., 2012), the mean daily  $D_d$  ranged between 2.5 and 3.9 km in elementary school female teachers and the mean daily  $D_c$  ranged between 0.5 and 1.3 million. The present study measured higher vocal doses in kindergarten teachers, whose vocal folds traveled 4.6 km and collided with each other more than 1.2 million times per working day.

Greater vocal loading parameters found in kindergarten teachers may be related to high background noise in kindergarten classrooms or daycare centers (Sodersten et al., 2002). These environments are thought to be particularly noisy because children's activities are essentially based on playing or doing arts and crafts, while elementary school involves more independent work related to general instruction in quiet environments. Kindergarten pupils are generally freer to move around and speak than elementary school pupils. The elevated background noise in kindergarten environments may increase the voice SPL



## Etude 1

(Lombard effect). The increased SPL also affects the F0, which is known to rise with SPL (Gramming et al., 1988; A. Remacle, Finck, Roche, & Morsomme, 2012). In other words, speaking in a noisy place could result in higher voice SPL and F0, and consequently in higher  $D_c$  and  $D_d$ . However, the background noise level was not measured in the present study. Future research using devices such as the VoxLog (Sonvox AB, Umeå, Sweden) may help to determine if different background noise levels are the reason for different vocal loading profiles in kindergarten and elementary school teachers.

The second question of this study was whether non-professional vocal loading differed in kindergarten and in elementary school teachers. According to Hunter and Titze (2010), non-professional voice use is important because of its cumulative effects with professional vocal load. These authors point out that non-professional voice use “would not only leave little time for significant vocal rest but also would add more vocal load to an already vocally overloaded voice”. When observing non-professional voice use, the present study showed significantly higher  $D_c$  and  $D_d$  in kindergarten teachers than in elementary school teachers. These doses were already higher for kindergarten teachers in the professional environment, suggesting that more work is done by the vocal folds throughout the day. One explanation for the greater non-professional vocal load in terms of  $D_c$  and  $D_d$  for the kindergarten group would be continuity over time. This phenomenon of continuity throughout the day had already been demonstrated for F0 (accounting for the calculations of  $D_c$  and  $D_d$ ) and SPL (accounting for the calculations of  $D_d$ ). Using acoustic analysis before and after a vocally loaded working day, Laukkanen et al. (2008) showed that female teachers spoke higher and louder after work. Given that kindergarten teachers already used higher  $D_c$  and  $D_d$  at work than elementary school teachers, it seems logical that they would maintain higher values after work. Monitoring on weekends would allow one to discover whether the kindergarten teachers’ higher

vocal doses are also observed on non-working days or if they are exclusively related to professional voice use.

The kindergarten teachers observed in the present study not only had higher vocal doses, which means greater tissue exposure to vibration during phonation, but they also had a higher rate of previous voice problems (33%) than the elementary school teachers (25%). Similarly, Rantala and Vilkmann (1999) reported that teachers with many voice complaints had higher values of the vocal loading index (equivalent to  $D_v$ ) than teachers with few vocal complaints. According to Svec, Titze, et al. (2003), a factor that can contribute to the correlation of the larger number of cycles with the larger number of vocal complaints is the potentially harmful effect of vocal fold collisions. In a Finnish study comparing daycare center teachers and nurses, vocal loading measurements showed that daycare center teachers used their voices more and at higher levels than nurses (Sala et al., 2002). The prevalence of voice disorders in these two occupations showed that 50% of the teachers had at least two vocal symptoms weekly and an abnormal voice quality, versus 27% of the nurses; indirect laryngoscopy revealed organic findings in 29% of the teachers and 7% of the nurses (Sala et al., 2001). These results suggest that occupations with higher vocal loading could result in more voice problems.

Several studies support the hypothesis that teachers working with young children are particularly at risk for voice disorders. Preciado et al. (1998) found a higher rate of voice disorders in kindergarten teachers (36%) than in elementary school teachers (25%). Fritzell (1996) analyzed the population of voice patients seen in Swedish hospitals. The proportion of preschool teachers in the voice clinics (3.1%) was higher than their proportion in the general population (1.4%); similar data were not provided for elementary school teachers. These studies suggest that kindergarten teachers are particularly at risk for developing occupational voice disorders. Higher vocal doses in this group of teachers, as

## Etude 1

measured in the present study, could possibly be related to their higher rate of voice disorders. More research is needed to confirm this hypothesis, including vocal load measures, prevalence of voice problems and propensity to seek phoniatric care for each group of teachers.

### **Comparisons between professional and non-professional voice use**

The third aim of this study is to determine the differences between professional and non-professional voice use in both groups. The results demonstrated significantly greater values for all parameters in the professional environment than in the non-professional environment (see Figure 1). These findings corroborate the results of two American studies that monitored teachers over two weeks (Hunter & Titze, 2010; Titze et al., 2007). In the study by Titze et al. (2007), the distributions of voicing and silent periods were observed in professional and non-professional environments. As in the present study, data were accurately subdivided into at-work and not-at-work voicing based on a daily diary of all the teacher's activities. In the study by Hunter and Titze (2010), F0, SPL, and time dose were calculated per hour and compared in both environments. Weekday data were subdivided into two portions of 6 hours each, representing the most likely periods during which most of the teachers were at work (9:00 a.m. to 3:00 p.m.) and not at work (4:00 p.m. to 10:00 pm and weekends).

In the present study, significantly higher F0 and SPL values were found in the professional environment than in the non-professional environment. In a field study, Sodersten et al. (2002) recorded voice use over a working day in 10 female preschool teachers at daycare centers and analyzed the background noise, SPL, F0 and phonation time. Mean background noise levels were high (76.1 dBA); therefore, the teachers spoke significantly louder and higher when

teaching as compared with a baseline involving a standard reading passage before work. A laboratory study analyzing voice production during realistic environmental noise exposure showed that having to make oneself heard over noise, as in teachers' professional environments, results in higher voice F0 and SPL (Sodersten et al., 2005). These studies support the hypothesis that the higher F0 and SPL found in the professional environments could be due to the loud background noise at school.

In accordance with Hunter and Titze's findings (2010), F0 average and F0 mode were about 1 semitone higher in the professional environment for both kindergarten and elementary school teachers. SPL was 7 dB louder in the professional environment for kindergarten teachers and 5.5 dB louder for elementary school teachers. These SPL differences in the two environments are much more marked than in the study by Hunter and Titze (2010), who found 1 dB of difference between environments. These divergences could be explained by the different techniques used for the subdivision of professional and non-professional voice use, which was based on an accurate subdivision using a diary in this study, whereas it was based on predetermined segments of 6 hours in the study by Hunter and Titze.

Significant differences were also found between teaching and non-teaching vocal doses. In accordance with the American studies (Hunter & Titze, 2010; Titze et al., 2007), the  $D_{t\%}$  found in French-speaking teachers was twice as high in the professional environment as in the non-professional environment (21.4% versus 10.9% for kindergarten teachers and 19.6% versus 10% for elementary school teachers). Hunter and Titze (2010) found that  $D_{t\%}$  was 30.7% at work versus 14.7% not at work in females and 27.4% at work versus 13.7% not at work in males. Titze et al. (2007) found a similar ratio of professional and non-professional  $D_{t\%}$ : 23% at work, 13% after work and 12% on weekends.

## Etude 1

The data for the teachers in this study showed that, on average, the vocal folds vibrated more than 1 million times a day at work, plus an additional half million times after work. The distance traveled by the vocal folds for these teachers was, on average, 4 km at work, plus an additional 1 km after work. Although non-professional voice use in teachers is lower than the professional voice use, it is important to take it into account when evaluating vocal load because of its additional effect. Concerning the clinical implications, these data encourage the reduction of vocal load in teachers who present symptoms of an overloaded voice, not only at work but also in non-professional environments.

The vocal demands posed by after-work activities may depend on teacher's family situation, number of children, and social and leisure activities, which would be interesting to investigate in future research. As testing continues, larger groups of teachers will be compared. It would be interesting to determine vocal loading in other groups of teachers, such as high school teachers, college teachers, and special education teachers. Future research should also measure vocal loading according to gender, age, experience, subject taught, specific school activities, acoustics and ergonomic data in order to identify the most hazardous teaching conditions for the development of voice disorders.

## **CONCLUSION**

This study provided quantitative data on daily voice use by 12 kindergarten and 20 elementary school teachers in order to determine the vocal loading profiles of these two groups. Voice use was accumulated using the APM in all teachers for one workweek, differentiating between professional and non-professional environments. A total of 160 days of vocal dosimetry data were collected and analyzed for the 32 teachers in this study.

The results confirmed that kindergarten and elementary school teachers have a very vocally demanding profession. Comparisons between the two groups indicated that the cycle dose and the distance dose were greater in kindergarten teachers than in elementary school teachers in both professional and non-professional environments. This suggests that teaching young children imposes a greater vocal load in terms of oscillatory cycles and distance traveled by the vocal folds, possibly related to the high background noise levels found in previous studies. Because of their higher vocal load, kindergarten teachers could be more at risk for developing occupational voice disorders than elementary school teachers. Particular attention should be paid to this specific group of teachers who work with young children.

As in previous studies, comparisons between professional and non-professional environments showed significantly greater values for all parameters in the professional environment, meaning that voice demands are higher at work than elsewhere in both groups of teachers.

### **Acknowledgments**

The authors gratefully thank the teachers who took part in the experiment, Marie Simon for the help with data collection, and Dr. Robert E. Hillman and KayPENTAX (Montvale, NJ) for the loan of an APM unit. We thank Professor Philippe Lefèbvre and the ENT department of the CHU of Liège for funding an APM unit.

## **Etude 2**

---

# **Vocal impact of a prolonged reading task at two intensity levels: Objective measurements and subjective self-ratings**

Angélique Remacle<sup>1</sup>, Camille Finck<sup>2</sup>, Anne Roche<sup>1</sup>, and Dominique Morsomme<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of Liège, Belgium

<sup>2</sup>CHU of Liège and University of Mons, Belgium

Published in *Journal of Voice*, 2012, 26(4), 177-186.

Presented at the Occupational Voice Symposium (Oral Communication, London, UK, 29-03-2011)

Presented at the 40th Annual Symposium: Care of the professional Voice (Poster, Philadelphia, US, 02-06-2011)

**ABSTRACT**

**Objectives:** The objectives of this study are to evaluate the impact on voice of both duration and intensity level of 2 hours of continuous oral reading. Voice modifications accompanying changes in intensity level during prolonged reading tasks are analyzed.

**Methods:** Fifty normophonic women undergo two sessions of voice loading in which the required intensity level of voice varied between 60–65 dB(A) for the first session and 70–75 dB(A) for the second session. The effects of loading on objective data (average fundamental frequency [F0], jitter%, shimmer%, noise-to-harmonic ratio, maximum phonation time, lowest frequency [F-Low], highest frequency [F-High], frequency range [Range], lowest intensity [I-Low] level, and highest intensity level) and self-ratings (voice quality, phonation effort, vocal fatigue, and laryngeal discomfort) are assessed every 30 minutes during the loading tasks.

**Results:** Results indicate that average F0, F-Low, I-Low, maximum phonation time, feeling of phonation effort, vocal fatigue, and laryngeal discomfort increase during prolonged reading, whereas shimmer% and self-rating of voice quality decrease. Average F0, F-High, and Range are the only parameters influenced by the required intensity of vocal load; they are significantly higher in the 70- to 75-dB session compared with the 60- to 65-dB session. Concerning the subjective self-ratings, similar results for the four ratings used suggest that only one would suffice in future studies.

**Conclusions:** These results confirm the importance of both duration and intensity level as loading factors, even if intensity level affects fewer variables than duration.



## INTRODUCTION

Vocal load is the acoustic vocal power integrated over time (Titze, 2001), depending on the amount of voicing. The duration and intensity level of the voice are two known loading factors. Effects of vocal load have been examined in several experiments, differing from one to another in terms of loading task and experimental environment. Some studies have observed the effect of vocal load using a natural speech material (Doellinger et al., 2009; Jonsdottir, Laukkanen, et al., 2002; Laukkanen et al., 2008; Lehto et al., 2006, 2008; Lindstrom et al., 2011; Rantala et al., 2002; Sodersten et al., 2002). Other studies have used a loading task as repeated vowel sequence (Jilek et al., 2004) or prolonged loud reading (Akerlund, 1993; Boucher & Ayad, 2010; Chang & Karnell, 2004; Gelfer et al., 1996; Kelchner et al., 2006; Laukkanen et al., 2004; Lauri et al., 1997; Lohscheller et al., 2008; Niebudek-Bogusz et al., 2007; Sihvo, Laippala, & Sala, 2000; Sihvo & Sala, 1996; Stemple et al., 1995; Titze et al., 2003; Vilkmán et al., 1999; Vintturi et al., 2001b). The duration and intensity level of such loading tasks have varied across studies as well as the moment and duration of recordings. Voice samples have been analyzed either throughout the vocal load using audiotape recorders (Rantala et al., 2002; Sodersten et al., 2002; Titze et al., 2003) and dosimeters or at different times before and after loading. Some experiments have taken place in a laboratory environment (Akerlund, 1993; Boucher & Ayad, 2010; Chang & Karnell, 2004; Gelfer et al., 1996; Kelchner et al., 2006; Laukkanen et al., 2004; Lauri et al., 1997; Lohscheller et al., 2008; Niebudek-Bogusz et al., 2007; Sihvo et al., 2000; Sihvo & Sala, 1996; Stemple et al., 1995; Titze et al., 2003; Vilkmán et al., 1999; Vintturi et al., 2001b). Subject's vocal load has also been studied during the working day (Doellinger et al., 2009; Jonsdottir, Laukkanen, et al., 2002; Laukkanen et al., 2008; Lehto et al., 2006, 2008; Lindstrom et al., 2011; Rantala et al., 2002; Sodersten et al., 2002).

The present study has been initiated to improve the understanding of voice duration and intensity level as loading factors. It is part of a larger project that addresses occupational vocal load in teachers. Indeed, teaching is a vocally demanding profession that requires a prolonged use of voice at a high intensity (HI) level, in an elevated background noise (Sodersten et al., 2002). The main loading factors in teaching voice are the duration and intensity level of voice required, which are risk factors for developing an occupational voice disorder (Chen et al., 2010). Therefore, voice problems occur more frequently in teachers compared with the general population (Roy, Merrill, Thibeault, Parsa, et al., 2004; Sliwinska-Kowalska et al., 2006; Vilkman, 2004; Villanueva-Reyes, 2011).

### **Effects of duration as voice loading factor**

The duration of vocalization corresponds to the time dose or voicing time (Svec, Popolo, et al., 2003; Titze et al., 2003). Many studies have investigated the effect of prolonged vocal use, focusing on the duration as a main loading factor. Generally, such studies have analyzed the voice before and after vocal load, either in a laboratory or on field. Given the various methodologies and different intensity levels required for the vocal task, cross-study comparisons are difficult. Videostroboscopic examinations have not shown systematic consistent after vocal load changes in glottis configuration (Gelfer et al., 1996; Kelchner et al., 2006; Niebudek-Bogusz et al., 2007; Stemple et al., 1995). Recent studies using high-speed digital imaging with phonovibrograms have identified vibration behavior changes in healthy voices concerning closing and opening dynamics and more left-right vocal fold asymmetries (Doellinger et al., 2009; Lohscheller et al., 2008). Acoustically, the majority of the studies have demonstrated a raise in fundamental frequency (F0) and intensity of voice, and a decrease in instability values as jitter and shimmer

## Etude 2

(Jonsdottir, Laukkanen, et al., 2002; Kelchner et al., 2006; Laukkanen et al., 2008; Lehto et al., 2006, 2008; Rantala et al., 2002; Sodersten et al., 2002; Stemple et al., 1995; Vilkmán et al., 1999). Jonsdottir, Laukkanen, et al. (2002) and Rantala et al. (2002) have considered these results as a normal adaptation to loading. Subjectively, previous studies have shown a significant increase in self-rated voice symptoms during the working day (Laukkanen et al., 2008; Lehto et al., 2006, 2008) or after a loading task performed in a laboratory (Chang & Karnell, 2004; Kelchner et al., 2006; Laukkanen et al., 2004; Vintturi et al., 2003).

### **Effects of intensity level as voice loading factor**

Voice intensity changes with the amplitude of vocal fold's oscillations, influencing the distance dose and the dissipated energy dose (Svec, Popolo, et al., 2003; Titze et al., 2003). Voice intensity affects the shear stress in the ligament (Titze, 1994) and the medial compression of the vocal folds or *compressive stress* (Gunter, 2004). Mechanical stress and thus injury risk is positively correlated with pressure, proportional to the voice intensity (Gunter, 2004). Factors impacting voice intensity are background noise, room acoustics, number of listeners, and distance between the speaker and listeners (Vilkmán, 2004). Voice intensity generally increases in noisy conditions, known as the Lombard effect (Sodersten et al., 2005; Vilkmán, 2004). Speaking in background noise constitutes a risk factor for vocal load (Aronsson et al., 2007) and for developing occupational voice disorders (Chen et al., 2010; Vilkmán, 2000, 2004). Moreover, an increased vocal intensity is usually associated with an F0 elevation (Gramming et al., 1988). Nevertheless, by investigating preschool teachers in their normal workplace, Linstrom et al. (2011) found no general correlations between noise exposure and both vocal intensity level and average F0. These findings suggest that vocal behavior in relation to noise

exposure is individual. To investigate the effects of intensity level, Aronsson et al. (2007), Sodersten et al. (2005) and Ternström, Bohman, and Södersten (2006) observed the voice production during realistic noise exposure using a method that enables cancellation of the background noise from the speech signal in five different noise conditions. One result is that having to make oneself heard over the noise resulted in increased vocal intensity, F0, and phonation time. Subjectively, women reported less success in making themselves heard and higher effort than men (Sodersten et al., 2005). Both patients with vocal nodules and controls increased their self-ratings of strain as an effect of the increased background noise level (Aronsson et al., 2007).

### **Effects of both duration and intensity level on voice**

Few studies have observed the effect of both intensity level and duration of the loading task. Vintturi et al. (2001b; 2003) studied the changes in voice during a vocal loading test with, among others, a specific emphasis on the speech output level. Neils and Yairi (1987) examined the influence of various levels and durations of noise exposure in six females reading in noise during 45 minutes.

The current work aims to evaluate the impact of both duration and intensity level of vocal load on voice in normophonic women, with no exposure to background noise. The following questions are examined:

- (1) How does the voice vary with the duration of vocal load?
  - (2) How does the voice vary with two different intensity levels of vocal load?
- First, we hypothesize that a prolonged vocal use would modify objective measures and subjective self-ratings of voice. Second, by comparing low and high intensity levels, we expected that objective measures and subjective self-

ratings would be different. Another goal of this study is to examine if there is any difference in the results obtained in the four subjective self-rating scales.

## **METHODS**

### **Subjects**

Fifty females (mean age = 25.4 years, SD = 4.98, range = 21–47) were recruited as subjects. All of them met the following criteria: no laryngeal pathologies established by anamnesis and videolaryngostroboscopic examination, no complaint or history of voice disorders, no voice therapy, no hearing disorders, no upper respiratory infection at the time of the study, no profession or hobby that implied frequent voice use, and no voice training. All subjects were nonsmokers. Eleven of the subjects had some vocal education in their childhood (drama or singing lessons). According to the experimenters' perceptual judgment, subjects had normal voice on the days of the experiment.

On the two days before each testing, subjects were asked to avoid any vocally abusive behavior (singing, loud talking, shouting, and yelling). They received the instructions to sleep and drink normally and not to ingest caffeine, alcohol, or any medication that causes drying of the vocal folds. All subjects provided informed consent but were blind to the study hypothesis. They received an oral and a written explanation of the experimental procedure.

## **Procedure**

### **Loading task**

Subjects' voices were orally loaded by reading a novel of their choice for 2 hours. Each subject underwent two sessions in which the intensity level of reading varied. The first session required a low intensity (LI) level, between 60 and 65 dB(A). The second session required a high intensity (HI) level, between 70 and 75 dB(A). A mean interval of 22 days was kept between the two sessions, with a minimum of 5 days allowing the recovery from the first reading session.

During the loading task, participants were seated in a quiet room (background level < 30 dB(A)) and instructed to read aloud. Voice intensity level was constantly controlled with a digital sound level meter (Velleman, DVM805, China) at a distance of 40 cm from the mouth. The examiner encouraged the participants to maintain the intensity level if it differed from the target level. The relative humidity of ambient air was controlled using a hygrometer (DOSTMANN electronic, P600, Wertheim Reicholzheim, Germany) and kept constant (30%  $\pm$  10%). The reading was filmed. Intensity control and recordings were made by the first and third authors.

### **Evaluation protocol**

For each reading session, serial sets of objective measurements and subject self-ratings were carried out every 30 minutes: (time 0 = T0) before the loading task, (time 1 = T1) after 30 minutes of reading, (time 2 = T2) after 1 hour of reading, (time 3 = T3) after 1 hour and 30 minutes of reading, and (time 4 = T4) after 2 hours of reading. The protocols for the two reading sessions are reported in Table 1. All measurements were repeated using an identical protocol. Every 30 minutes, during the reading task, the researcher advised the participants to drink one glass of water, to ensure that they remain hydrated. For

## Etude 2

each reading session, the entire procedure (loading tasks and evaluations) took 3 hours per subject.

Table 1. Protocols for the two reading sessions

Low intensity session (60-65 dB)	High intensity session (70-75 dB)
Objective measurements and self-rating (LI0)	Objective measurements and self-rating (HI0)
Reading session (30 min)	Reading session (30 min)
Objective measurements and self-rating (LI1)	Objective measurements and self-rating (HI1)
Reading session (30 min)	Reading session (30 min)
Objective measurements and self-rating (LI2)	Objective measurements and self-rating (HI2)
Reading session (30 min)	Reading session (30 min)
Objective measurements and self-rating (LI3)	Objective measurements and self-rating (HI3)
Reading session (30 min)	Reading session (30 min)
Objective measurements and self-rating (LI4)	Objective measurements and self-rating (HI4)

Notes: LI = low intensity session; HI = high intensity session.

### **Objective measurements**

Serial voice quality objective data were obtained by the use of Multi-Dimensional Voice program (MDVP) (Kay Elemetrics, Lincoln Park, NJ): average F0, jitter% (Jitt), shimmer% (Shim), and noise harmonic ratio (NHR). Three samples of the sustained vowel /a/ at a comfortable pitch and intensity level were analyzed and then averaged for a final value. Each production was recorded with a constant mouth-to-microphone distance of 7 cm.

The lowest frequency (F-Low), the highest frequency (F-High), the frequency range (Range), the lowest intensity (I-Low), and the highest intensity (I-High) were collected with the voice range profile program (VRP) (Kay Elemetrics, Lincoln Park, NJ) on the vowel /a/. F-Low, F-High, and Range were recorded during three trials, the subject gliding from a middle range note to the lowest possible note and then to the highest possible note. I-Low and I-High were collected at c1 pitch (262 Hz), which is in the middle of an estimated female frequency range. Subjects were asked to sustain the target pitch at the softest and the loudest possible level three times successively. During the recording session, subjects could observe their performance on the monitor. To motivate participants to perform at their maximum capacity, the investigator provided verbal encouragements and auditory examples if necessary.

Objective measurements involved also the determination of maximum phonation time (MPT), which is a measure of the vocal function in relation to the glottis efficiency and voice quality. Each subject was asked to produce three samples of the prolonged vowel /a/ at comfortable pitch and intensity, as long as possible, in normal voice. The longest phonation time obtained was analyzed.

### **Subjective self-ratings**

To know how the subjects cope with the vocal loading, they were asked to answer the following questions using a 100-mm horizontal visual analog scale (VAS) every 30 minutes:

- (1) How is your voice quality (how does the voice sound)? The extremes on the VAS were 0% for a poor voice quality and 100% for a normal voice quality.
- (2) Do you feel any phonation effort (strain or effort to produce the voice)? The extremes on the VAS were 0% for no vocal effort and 100% for a maximum vocal effort.



## Etude 2

(3) Do you feel any vocal fatigue (tiredness of voice or in neck muscles)? The extremes on the VAS were 0% for no vocal fatigue and 100% for a maximum vocal fatigue.

(4) Do you feel any laryngeal discomfort (pain or dryness in your throat)? The extremes on the VAS were 0% for no laryngeal discomfort and 100% for a maximum laryngeal discomfort.

VAS is a commonly used measurement instrument for self-rating of subjective characteristics related to voice. The continuous aspect of this scale provides more subtle differences than a discrete scale. The statements used in the present study were based on the questionnaires presented in the literature (Aronsson et al., 2007; Chang & Karnell, 2004; Kelchner et al., 2006; Laukkanen et al., 2008; Laukkanen et al., 2004; Lehto et al., 2006, 2008; Sodersten et al., 2005; Vintturi et al., 2003). Before the loading task, subjects were informed that they will have to complete the same questions every 30 minutes. When subjects scored their complaints, they did not have access to their previous ratings.

## Statistics

A two-way repeated-measures analysis of variance (ANOVA 5 durations X 2 intensity levels) where the subjects ( $N = 50$ ) were used as their own controls was carried out to compare data obtained at different times of the reading sessions. When the ANOVA showed significant differences ( $p < 0.05$ ), a post hoc honestly significant difference (HSD) Tukey was computed either on the main significant effects or on the interaction, to compare the means. When necessary, for meeting the assumption of homogeneity of variances and normality, logarithmic transformations normalized raw data before ANOVA. For clarity, means of the raw data values are presented in figures. All calculations were conducted using the statistical software Statistica/Win (version 8.1, StatSoft Inc, Tulsa, OK). Figure 1 shows the results derived from the

objective measurements. Figure 2 shows the results obtained from the subjective self-ratings.

An ANOVA was used to analyze if there were any statistically significant differences in subjective self-ratings at each time, for each reading session. When the ANOVA showed significant differences ( $p < 0.05$ ), a post hoc HSD Tukey was computed.

## RESULTS

### Objective measurements

For F0 (Figure 1A), results from ANOVA revealed a significant main effect of the duration ( $F(4,196) = 12.5, p < 0.0001$ ). Post hoc comparisons showed an increase in F0 between T0 and T1, T2, T3, T4, as well as between T1 and T4. At each time, F0 measurements for HI session were higher than for LI session, as a main effect of the intensity level ( $F(1,49) = 21.9, p < 0.0001$ ). No interaction between duration and intensity ( $F(4,196) = 0.3, p = 0.90$ ) was demonstrated.

Results for Jitt (Figure 1B) showed no significant main effect of the duration ( $F(4,196) = 1.64, p = 0.17$ ), no significant effect of the intensity level ( $F(1,49) = 0.69, p = 0.41$ ), and no interaction between duration and intensity ( $F(4,196) = 0.69, p = 0.60$ ).

Regarding Shim (Figure 1C), a significant main effect of the duration was found ( $F(4,196) = 6.62, p < 0.0001$ ). The post hoc test showed significant differences between T0 and T1, T2, T3, T4. There was no significant main effect

## Etude 2

of the intensity level ( $F(1, 49) = 0.12, p = 0.73$ ). No interaction between duration and intensity ( $F(4,196) = 0.31, p = 0.87$ ) was found.

Concerning the NHR (Figure 1D), there was no significant main effect of the duration ( $F(4,196) = 1.82, p = 0.12$ ) and no significant main effect of the intensity level ( $F(1,49) = 0.10, p = 0.75$ ). No interaction between duration and intensity ( $F(4,196) = 0.05, p = 0.99$ ) was found.

F-Low (Figure 1E) increased significantly as a main effect of the duration ( $F(4,196) = 4.81, p = 0.001$ ). The post hoc test showed a significant increase in F-Low between T0 and T2, T3, T4. There was neither significant main effect of the intensity level ( $F(1,49) = 0.31, p = 0.58$ ) nor interaction between duration and intensity ( $F(4,196) = 0.46, p = 0.76$ ).

For F-High, no main effect of duration was found ( $F(4,196) = 0.74, p = 0.56$ ), but there was a significant main effect of the intensity level ( $F(1,49) = 7.21, p = 0.009$ ). Figure 1F shows that F-High was systematically higher for the HI session than for the LI session. There was no interaction between duration and intensity ( $F(4,196) = 2.08, p = 0.085$ ).

For the frequency Range (Figure 1G), there was no significant main effect of the duration ( $F(4,196) = 0.70, P = 0.59$ ) and no interaction between duration and intensity ( $F(4,196) = 2.30, P = 0.061$ ). At each time, the Range for HI session was higher than for LI session, as a main effect of the intensity level ( $F(1,49) = 12.94, P = 0.007$ ).

Results for I-Low (Figure 1H) demonstrated a significant main effect of the duration ( $F(4,196) = 5.00, P = 0.007$ ). The post hoc test showed a significant rise between T0 and T2, T3, T4 as well as between T1 and T2. No main effect of

the intensity level ( $F(1,49) = 3.60, P = 0.062$ ) was observed. There was no interaction between duration and intensity ( $F(4,196) = 1.3, P = 0.29$ ).

Concerning I-High, we didn't observe any significant main effect of the duration ( $F(4,196) = 0.85, p = 0.49$ ) nor main effect of the intensity level ( $F(1,49) = 2.29, p = 0.14$ ). Figure 1I showed systematically slightly higher values for the HI session, but the statistical tests failed to reveal any significant difference. There was no interaction between duration and intensity ( $F(4,196) = 0.78, p = 0.54$ ).

For MPT (Figure 1J), the ANOVA analysis demonstrated a significant main effect of the duration ( $F(4,196) = 4.37, p < 0.01$ ). The post hoc test showed a significant rise between T1 and T3 as well as between T1 and T4. No main effect of the intensity level effect ( $F(4, 49) = 0.11, p = 0.74$ ) and no interaction between duration and intensity ( $F(4,196) = 0.51, p = 0.72$ ) were observed.

Etude 2

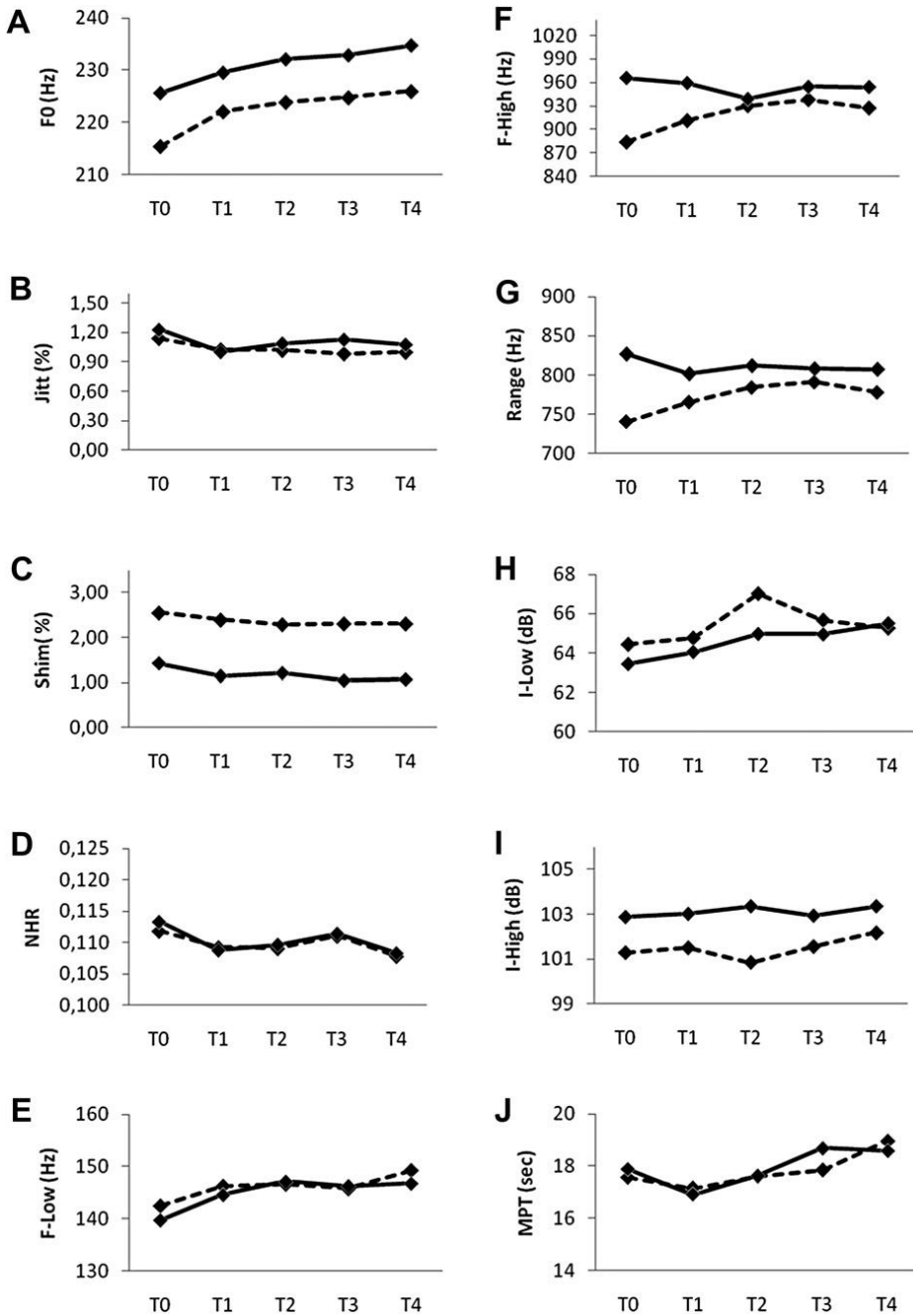


Figure 1(A-I). Results from the objective measurements at each time for the low intensity session (dotted line) and the high intensity session (solid line).

### Subjective self-ratings

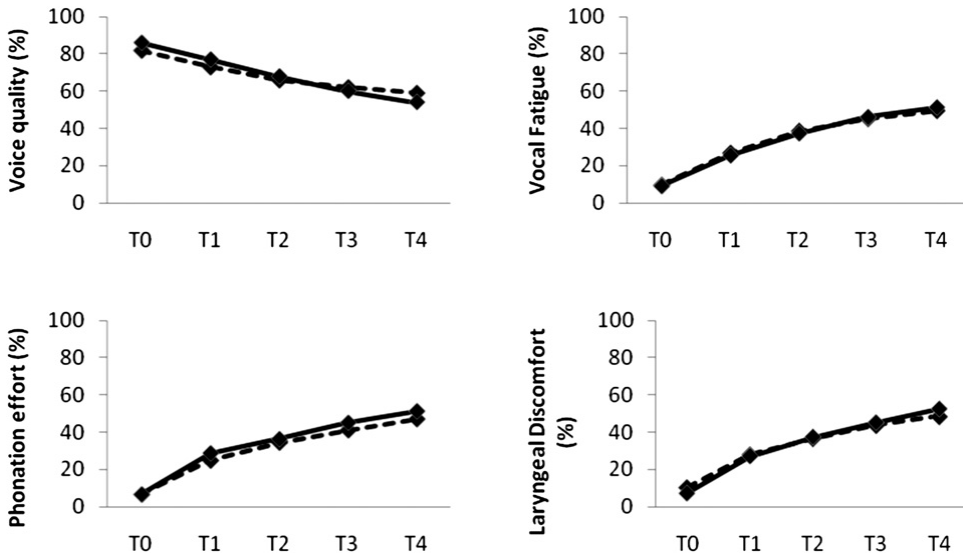


Figure 2. Results from the subjective self-ratings at each time for the low intensity session (dotted line) and the high intensity session (solid line).

Results from repeated-measures ANOVA (Table 2) demonstrated a significant effect of the duration ( $p < 0.0001$ ) for all the subjective self-ratings, but no differences between the two intensity levels of reading. The detailed results from the post hoc test on the main effect of the duration are presented in Table 3. A significant interaction between duration and intensity was found for voice quality (Table 4 for the post hoc). In other words, subjects reported that their voice quality worsened significantly during the reading while phonation effort, vocal fatigue, and laryngeal discomfort increased. From T0 to T2, subjects noted a better voice quality for the HI session than for the LI session, thereafter it was the opposite.

Table 2. Results from the repeated measures ANOVAs for subjective self-ratings

Variables	Duration effect		Intensity level effect		Interaction effect	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Voice quality	55.66	<.0001*	0.064	0.08	4.88	<.001*
Phonation effort	98.56	<.0001*	1.84	0.18	0.59	0.67
Vocal fatigue	130.55	<.0001*	0.0005	0.98	0.47	0.75
Laryngeal discomfort	93.19	<.0001*	0.012	0.91	1.44	0.22

Notes: degree of freedom for the duration effect = (4, 196); degree of freedom for the intensity level effect = (1, 49); degree of freedom for the interaction between duration and intensity level = (4, 196). *F* = *F* value from the ANOVA; *p* = *p* value from the repeated measures ANOVA where  $p < 0.05$  indicates statistical significance, shown by an asterisk.

Table 3. Results from the HSD Tukey post hoc test for subjective self-rating of voice quality

	Time (a)	Time (b)	Mean		Mean	
			difference (b-a)	<i>p</i>	difference (b-a)	<i>p</i>
Voice	0	1	-9	<.0001*	-9	0.0001*
Quality	0	2	-16	<.0001*	-18	<.0001*
	0	3	-20	<.0001*	-26	<.0001*
	0	4	-23	<.0001*	-32	<.0001*
	1	2	-7	0.043*	-9	0.0001*
	1	3	-11	<.0001*	-17	<.0001*
	1	4	-14	<.0001*	-23	<.0001*
	2	3	-4	0.606	-8	0.001*
	2	4	-7	0.009*	-14	<.0001*
	3	4	-3	0.811	-6	0.098

Note: Time 0 = before the loading task, Time 1 = after 30 minutes, Time 2 = after 1 hour, Time 3 = after 1h30, Time 4 = after 2 hours. Columns *p* represent *p*-values from the HSD Tukey post hoc test, where  $p < 0.05$  indicates statistical significance, shown by an asterisk.



Etude 2

Table 4. Results from the HSD Tukey post hoc for subjective self-ratings of phonation effort, vocal fatigue and laryngeal discomfort

Variables	Time (a)	Time (b)	<i>p</i>	LI session	HI session
				Mean difference (b-a)	Mean difference (b-a)
Phonation effort	0	1	<.0001*	18	22
	0	2	<.0001*	27	30
	0	3	<.0001*	34	38
	0	4	<.0001*	40	45
	1	2	0.024*	9	8
	1	3	<.0001*	16	16
	1	4	<.0001*	22	23
	2	3	0.0001*	7	8
	2	4	<.0001*	13	15
	3	4	0.079	6	7
Vocal fatigue	0	1	<.0001*	17	17
	0	2	<.0001*	29	28
	0	3	<.0001*	35	37
	0	4	<.0001*	39	42
	1	2	<.0001*	12	11
	1	3	<.0001*	18	20
	1	4	<.0001*	22	25
	2	3	0.002*	6	9
	2	4	<.0001*	10	14
	3	4	0.134	4	5
Laryngeal discomfort	0	1	<.0001*	17	20
	0	2	<.0001*	26	30
	0	3	<.0001*	33	38

0	4	<.0001*	38	45
1	2	0.0007*	9	10
1	3	<.0001*	16	18
1	4	<.0001*	21	25
2	3	0.018*	7	8
2	4	<.0001*	12	15
3	4	0.087	5	7

Note: Time 0 = before the loading task, Time 1 = after 30 minutes, Time 2 = after 1 hour, Time 3 = after 1h30, Time 4 = after 2 hours. Column  $p$  represents  $p$ -values from the HSD Tuckey post hoc test, where  $p < 0.05$  indicates statistical significance, shown by an asterisk.

The simple ANOVA (Table 5) did not show any significant difference between the four self-rating measurements, excepted at T0 in the LI session ( $F(3,196) = 4.95$ ,  $p = 0.002$ ). The post hoc test demonstrated a significant difference between voice quality and phonation effort ( $p = 0.0012$ ), as well as between voice quality and vocal fatigue ( $p = 0.032$ ).

Table 5. Results from the simple ANOVA for the differences between the subjective self-ratings of voice quality, phonation effort, vocal fatigue and laryngeal discomfort

Time	Low intensity session		High intensity session	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
T0	4.95	0.002*	2.35	0.074
T1	0.27	0.844	0.93	0.427
T2	0.56	0.642	0.73	0.532
T3	1.06	0.367	0.71	0.547
T4	1.20	0.312	0.64	0.590

Notes: degree of freedom = (3, 196). *F* = *F* value from the ANOVA; *p* = *p* value from the ANOVA where  $p < 0.05$  indicates statistical significance, shown by an asterisk.

## DISCUSSION

This study addresses how objective measurements and subjective self-ratings reflect effects of duration and intensity level as loading factors. To the best of our knowledge, this study is the first one to analyze the voice impact of a prolonged 2-hour reading task at two controlled different intensity levels in the same group of subjects. Neils and Yairi (1987) used a similar design where six subjects completed a 45-minute reading task in three different background noise levels (50 dB(A), 70 dB(A), and 90 dB(A)), presented into earphones to induce different levels of vocal effort and vocal fatigue. Unfortunately, voice intensity was not controlled during the reading. Voices were analyzed perceptually, acoustically, and aerodynamically. No significant change was found, either because of the loading task duration or the background noise level. However, the results reflected a wide range of variations from subject to subject. Vinturri et al.

(2001b; 2003) carried out an objective analysis on 20 females reading at LI level (<65 dB SPL) and 20 other females reading at HI level (>65 dB SPL). Each subject participated only once in the experiment. As far as the objective analysis is concerned (Vintturi et al., 2001b), inverse-filtered data, Voice Range Profile, and the singer's formant were analyzed during a 45-minute vocal loading session. The results showed that the loading task at HI is associated with more hyperfunctional changes than LI. As far as the subjective self-rating is concerned (Vintturi et al., 2003), the loading-related symptoms were observed during five sessions of 45-minute reading. Vintturi et al.'s results (2003) demonstrated that most symptoms increased significantly to a peak mean value after three or four sessions with no clear effect of the output level. Compared with other studies on duration and intensity level effects (Neils & Yairi, 1987; Vintturi et al., 2001b; Vintturi et al., 2003), the advantages of the current investigation are the constantly controlled voice level and the quite large group of subjects ( $N=50$ ) implicated in both intensity level sessions. The fact that each subject was implicated in both sessions reduced the intersubject differences when studying the intensity level loading factor. As acoustic measures (Jitt, Shim, and NHR) are known to vary with intensity and frequency (Gelfer, 1995), and between subjects, it seems essential to use subjects as their own control for studying the intensity level effect. Another innovation in the present study design is the analysis of Jitt, Shim, NHR, and MPT, which were not included in previous investigations on the intensity level effects of vocal load (Aronsson et al., 2007; Neils & Yairi, 1987; Sodersten et al., 2005; Ternström et al., 2006; Vintturi et al., 2001b; Vintturi et al., 2003).

In the literature, reading tasks last from a few seconds to a few hours, between 60 dB and 80 dB measured at different distances from the mouth (Gelfer et al., 1996; Jilek et al., 2004; Kelchner et al., 2006; Lohscheller et al., 2008; Stemple et al., 1995). Niebudek-Bogusz et al. (2007) fail to demonstrate any significant videolaryngostroboscopic changes after a 30-minute reading

## Etude 2

through white noise at 80 dB SPL, as well as Gelfer et al. (1996) after 1 hour at 60–70 dB. Gelfer et al. (1996) report that “loud reading for 15 minutes or even 1 hour is not enough to induce notable laryngeal alterations in most subjects” and that “2 hours of loud reading may be the minimum required to induce laryngeal changes.” However, Niebudek-Bogusz et al. (2007) do demonstrate significant acoustical changes after 30 minutes through white noise at 80 dB SPL, as well as Laukkanen et al. (2004) after 5 minutes at 70 dB. In the current investigation, 2 hours of duration was chosen, based on different studies that demonstrated effects of vocal load using the same duration (Chang & Karnell, 2004; Lohscheller et al., 2008; Stemple et al., 1995). Concerning the intensity level of the reading, Vilkmann et al. (1999; 2001b) and Vintturi et al. (2003) report two different intensity levels of reading: <65 and >65 dB at a distance of 2 m. In the present study, 60–65 dB and 70–75 dB at a distance of 40 cm from the mouth were chosen to have a clear and controlled difference between the two sessions.

This investigation focuses on female subjects because they are known to be more sensitive to vocal load than males (Sodersten et al., 2005; Vintturi et al., 2001a), and have a higher prevalence of voice disorders (Roy, Merrill, Thibeault, Parsa, et al., 2004; Villanueva-Reyes, 2011). The prolonged reading task took place in controlled laboratory conditions, despite of the fact that these experimental conditions do not reflect the real-life vocal use. For the HI reading session, subjects are asked to raise their vocal intensity level without any rational reason, although in real-life situations, vocal intensity generally increases as a consequence of the environmental noise. Aronsson et al. (2007), Sodersten et al. (2005) and Ternström et al. (2006) analyze the speaker’s voice during vocal exposure to background noise that represents more realistic conditions. Nevertheless, these studies did not address the voice duration. Despite the artificial setting of voice use, the advantage of the experimental conditions used in the current investigation for studying vocal load is that factors such as loading material, duration of phonation, intensity level of voice, room acoustic,

background noise, and humidity were controlled. The question of how to generalize the results to real-life situations remains a challenge. The following discussion of our observations is organized according to the two issues studied, namely: (1) how does the voice vary with the duration of vocal load, and (2) how does the voice vary with two different intensity levels of vocal load? Thereafter, the similarity between the subjective self-ratings is discussed.

### **Effects of duration**

The first hypothesis of this experiment is that voice should be modified during prolonged reading, as a duration effect of vocal load. This supposition follows from previous studies reporting objective and subjective changes in voice after a prolonged vocal use. Results for both intensity level sessions show expected modifications of objective measurements and subjective self-ratings. F0, F-Low, I-Low, MPT, feeling of phonation effort, vocal fatigue, and laryngeal discomfort significantly increase during prolonged oral reading, whereas Shim and self-rating of voice quality significantly decrease. Jitt, NHR, F-High, Range, and I-High do not statistically change during the reading task.

A significant rise in F0 is reported as a result of the vocal load in both laboratory (Kelchner et al., 2006; Stemple et al., 1995; Vilkmán et al., 1999) and field conditions (Jonsdóttir, Laukkanen, et al., 2002; Laukkanen et al., 2008; Lehto et al., 2006, 2008; Rantala et al., 2002; Sodersten et al., 2002). This may indicate an adaptation to loading, as suggested by Jonsdóttir et al. (2002) and Rantala et al. (2002). In their study, using electromyography to observe the effects of vocal load on laryngeal muscles, Boucher and Ayad (2010) show that variation of F0 does not consistently reflect fatigue in laryngeal structures. In the current investigation, a significant increase in F0 can be already noted after 30 minutes, while subjects report phonation effort, vocal fatigue, and laryngeal

## Etude 2

discomfort values remaining quite low (between 25% and 29%). Thereafter, F0 continues to rise significantly over time. After 2 hours of reading, subjects estimate their phonation effort, vocal fatigue, and laryngeal discomfort between 47% and 52%. Subjects' ratings indicate a shift in the voice self-perception, but they do not note high values on the VAS. For this reason, the hypothesis that F0 rise reflects an adequate physiological adaptation of the vocal apparatus to loading (Jonsdottir, Laukkanen, et al., 2002; Rantala et al., 2002) rather than a sign of vocal fatigue (Lehto et al., 2006) is supported.

To date, few studies have investigated vocal load effects on F-Low, F-High, and Range. Similar to the present study, Stemple et al. (1995) show no significant change in the frequency range after a 2-hour reading task at 75–80 dB on a series of 10 subjects. However, the lowest and the highest pitch values tend to rise posttest, while subjects complain of the difficulty in producing the lowest pitch. In the present study, the increased F-Low after 1 hour may suggest some effect of the long duration.

When looking at Jitt, Shim, and NHR mean values, we can see that Jitt varies between 0.98% and 1.23% (MDVP standards:  $0.633\% \pm 0.351\%$ ). The overall Jitt values are not within MDVP normal limits, perhaps because MDVP standards do not concern a French-speaking population. It does not mean that a pathology is present. Shim varies between 1.04% and 2.55% (MDVP standards:  $1.997\% \pm 0.791\%$ ). NHR varies between 0.108 and 0.113 (MDVP standards:  $0.112 \pm 0.009$ ). Shim and NHR mean values in both intensity level sessions are within normal limit values, which was expectable given that the subjects of the study are normophonic. The repeated measures ANOVA shows that frequency instability (Jitt) and NHR do not change while intensity instability (Shim) significantly decreases as a consequence of the vocal load. Stemple et al. (1995) demonstrate a significant decrease in Jitt after a 2-hour reading task in normophonic women. Laukkanen et al. (2008) also report a significant drop in

Jitt and Shim values after a working day, in female teachers. More intensity stability in Laukkanen et al. (2008) and in the present study, as well as more frequency stability in Laukkanen et al. (2008) and Stemple et al. (1995) studies, seem to reflect adequate adaptations to loading. Conversely, Niebudek-Bogusz et al. (2007) show a significantly increased Jitter in dysphonic teachers after a 30-minute loud reading. Furthermore, Shimmer increases significantly in the hyperfunctional group of dysphonic teachers after the reading task. These results show that the effects of vocal load differ from dysphonic to normophonic subjects. Vocal stability in dysphonic subjects is more affected by the vocal load, suggesting that they are less prone to have a healthy adaptation to vocal load.

In terms of intensity measures, I-Low significantly increases in both LI and HI reading sessions, whereas I-High remains unchanged. In 40 female subjects, Vintturi et al. (2001b) report that the I-Low of the VRP rises significantly at 262 and 330 Hz after a 45-minute reading. In a study by Akerlund (1993), the lower phonetogram contour significantly rises in female and male dysphonic patients after reading in a 80-dB-SPL white noise for 15 minutes, although no significant movement of the upper contour is noted. Sihvo and Sala (1996) observe the phonetogram of 10 females through five sessions of 45-minute reading during 1 day. Results show a significant increase in both fortissimo and pianissimo curves during the loading. The aforementioned studies agree that the lowest intensity rises as an effect of vocal load. The increased I-Low in the present study after 1 hour suggests some effect of the long duration. The explanation can be a modification of the viscoelastic characteristics of the vocal folds that become stiffer and drier after prolonged vocal use, resulting in an increased subglottal pressure.

In the present study, I-High does not change significantly suggesting no effect of the duration. Vilkmann et al. (1999) note that females are able to



## Etude 2

produce the highest intensity value during the last loading sample of the day. Their interpretation is that there is no true laryngeal or respiratory muscle weakness because of fatigue after a prolonged (5 X 45-minute) reading task.

As far as MPT is concerned, we observe an increase from T1. The increased MPT through the time may represent an adaptation of the voice to the duration. Another explanation could be that subjects improve their performance on the task because of a training effect. To better explain the evolution of MPT, aerodynamic measurements should have been obtained. Unfortunately, it was impossible to collect aerodynamic data at the time of our study. Stemple et al. (1995) and Kelchner et al. (2006) do not show any significant modification in MPT after a 2-hour reading task at 75–80 dB, neither in normal women nor in normal adolescent males.

Finally, subjects' self-rating of voice significantly worsens throughout the reading task. These results are in agreement with previous investigations. In the present study, the voice quality already decreases after 30 minutes of reading. Kelchner et al. (2006) observe a worsening of the voice quality after a 2-hour reading task in peripubescent boys. Lehto et al. (2006, 2008) also report a lower voice quality (increased perceived hoarseness) after 1 working day in customer advisors. In agreement with Chang and Karnell (2004), the current work demonstrates an increased phonatory effort after a 2-hour reading task. In the present study, vocal fatigue increases through time (already after 30 minutes). Laukkanen et al. (2004) show an increased tiredness in the throat after 45 minutes of reading at 70 dB. On field, more vocal fatigue is reported after 1 working day in customer advisors (Lehto et al., 2006, 2008) and more tiredness in the throat in female teachers. Our results demonstrate an increased laryngeal discomfort (including pain) through the reading task, already after 30 minutes. Laukkanen et al. (2004) also find an increased feeling of pain in the throat after a 45-minute reading task.

### **Effects of intensity level**

The second hypothesis of this research is that the intensity level of vocal load would have an effect on the observed parameters. Our results reveal that F0, F-High, and Range are the only parameters influenced by the required intensity of the reading task. One explanation is that speaking loudly does not necessarily imply a wrong usage of voice or a degradation of subjective sensations, especially in normophonic subjects. Another explanation is that aerodynamic measures would be more adequate to demonstrate the influence of the intensity level of voice as loading factor. This is because voice intensity is regulated by means of subglottal pressure and transglottal airflow rate that influence vibrational amplitude of the vocal folds and laryngeal tension.

F0 and F-High are significantly higher in the HI session compared with the LI session. Even if an increased F0 is a well-known strategy to cope with the vocal load, it is not without risks for vocal health because of the mechanical stress applied to the vocal folds (Titze, 1994). The higher the number of vocal folds oscillatory cycles over time (cycle dose), the greater the number of compressive and collisional stresses that the vocal folds' cover needs to endure. Otherwise, the distance dose and the energy dissipation dose are most likely to be large with a higher intensity level. Svec et al. (2003) suggest that the heat dissipated in the vocal folds probably does not play an important role in tissue damage, but they consider the dose of vibrations as hazardous.

Comparison of the two reading sessions demonstrates systematic higher F0 and F-High as well as an improved Range in the HI condition, even before the reading task (T0). The difference in F0 because of the intensity is well predicted from other studies looking at the relationship between F0 and intensity (Gramming et al., 1988; Sodersten et al., 2005). Surprisingly, there is no consistency across the two baselines sessions. The fact that this discrepancy is

## Etude 2

great in T0 already is somewhat problematic. It is possible that (1) subjects increased the intensity and consequently the F0 of voice before starting the HI reading task that could be their own strategy for getting ready to perform the task at HI, or (2) the pattern was caused by chance. Aerodynamic measurements would again give us some insight to explain this observation. The improved performances in F-High and Range for the HI session in T0 can be the result of an effect of learning. In fact, subjects systematically underwent the LI session before the HI to preserve a progression order of vocal intensity. We wanted to be sure those subjects were able to perform the 60–65 dB reading task before doing the 70–75 dB one.

Subjectively, subjects do not report more complaints in the HI than in the LI session. One possible explanation is that subjects did not have access to their previous ratings when they scored their complaints. According to Vintturi et al. (2003), the output level of vocal load has no clear effect on subjective symptoms during five sessions of 45-minute reading. The reason for this might be that the difference between the two output level groups (<65 dB SPL and >65 dB SPL) in their study is not very large. In Aronsson et al. (2007), Sodersten et al. (2005) and Ternstrom et al. (2006), different aspects of voice production during realistic noise exposure were investigated. Authors used a method that enables cancellation of the background noise from the speech signal, allowing acoustic analysis of the speaker's voice during vocal load against background noise. Using this method, 23 normal subjects completed an 80- to 110-seconds reading task in realistic environmental noise, in five different noise conditions. The differences between the reading conditions are closer controlled. Results show that subjects who have to make themselves heard over the noise raise their intensity level and experience more effort level and fatigue in elevated background noise conditions. In the present study, the differences between the two intensity levels are distinct and continually controlled.

### **Similarity of the subjective self-ratings**

In the present study, we used four subjective self-ratings based on the questionnaires presented in the literature: voice quality, phonation effort, vocal fatigue, and laryngeal discomfort. An ANOVA was computed to determine how similar the results were for all the self-ratings. Results show a difference at LI0, between voice quality and phonation effort, as well as between voice quality and vocal fatigue. These differences concern only a minor part of the self-ratings, realized at LI0, which is the first time the subjects completed the VAS, before the reading task. Thereafter, the subjects do not report different results at the four VAS, that may suggest that one self-rating would suffice in the future for studying the impact of vocal loading.

### **Clinical implications**

In terms of security level of voice, it is not possible to recommend a benchmark for safe vocal use on the basis of these results. Further studies are necessary to establish safety standards concerning the duration and intensity level loading factors to avoid overloading. Nevertheless, the present study supports the recommendation not to have a prolonged voice use and a high intensity level, at the risk of developing loading related impairments such as vocal nodules or polyps. Indeed, duration and intensity level may be phonotraumatic because they both raise the F0, and thus the repeated vibrations of the vocal folds. The high-velocity impact between vocal folds during speech could induce mechanical stress related to structural disruptions of the basement membrane of the vocal folds (Gunter, 2004; Titze, 1994). Additionally, computational models predict that mechanical stress level and thus injury risk is positively correlated with driving force that is proportional to voice intensity (Gunter, 2004).

## **CONCLUSION**

The present study aims to evaluate the impact of both duration and intensity level of vocal load on voice. Our results confirm the importance of both factors in vocal load, even if intensity level affects fewer variables than duration. The significant effects of duration are an increase in F0, F-Low, I-Low, MPT, feeling of phonation effort, vocal fatigue, and laryngeal discomfort, as well as a decrease in Shim and self-rating of voice quality. Increased F0, improved MPT, and decreased Shim seem to reflect an adaptation to the duration, whereas increased F-Low and I-Low after 1 hour, as well as worsening of self-ratings, suggest an effect because of the long duration. Concerning intensity level, F0 and F-High are significantly higher and the frequency range larger in the HI session compared with the LI session. These results support the recommendation not to have a prolonged voice use and a high intensity level at the risk of developing loading related impairments because of mechanical stress on the vocal folds. Nevertheless, aerodynamic measurements would be required to better explain and support these results. Moreover, an analysis of the postural and respiratory adaptation to vocal load would be of great interest, as well as perceptual analysis. In future research, it would be pertinent to examine the recovery time after such vocal loading tasks; it is possible that if the intensity level is higher, the recovery time after vocal load could be longer.

## **Acknowledgments**

The authors gratefully acknowledge the subjects of the experiments, Professor Ruth Epstein for revising the English language, Professor Etienne Quertemont for statistical advice and Dr Lionel Lejeune for assistance with the videolaryngostroboscopy.

## **Etude 3**

---

### **Vocal impact of a prolonged reading task at two intensity levels: Perceptual evaluation**

Angélique Remacle<sup>1</sup>, Camille Finck<sup>2</sup>, Jean Schoentgen<sup>3</sup>, Agnès Bodson<sup>1</sup>, and  
Dominique Morsomme<sup>1</sup>

<sup>1</sup> University of Liège, Belgium

<sup>2</sup> CHU of Liège and University of Mons, Belgium

<sup>3</sup> University of Bruxelles, Belgium

Accepted for an oral presentation at the 42nd Annual Symposium: Care of the  
professional Voice (Oral presentation, Philadelphia, US, 01-06-2013)

## **ABSTRACT**

**Objectives:** To evaluate the impact on voice of both duration and intensity level of 2 hours of continuous oral reading.

**Methods:** Fifty normophonic women underwent two sessions of voice loading in which the required intensity level varied: 60-65 dB(A) for the first session, and 70-75 dB(A) for the second session. Objective measurements and subjective self-ratings were presented in an earlier study<sup>13</sup>. The results of perceptual assessment based on pairwise comparisons are presented here. Ten expert judges evaluated the pressedness and breathiness of one sentence recorded before and after each loading session. Pairs of stimuli were presented randomly to the judges, who were asked to designate the most pressed sample at a first session and the breathiest sample at a second session. Each pair of stimuli was presented twice in order to evaluate the judges' reliability.

**Results:** Inter- and intra-judges reliability was poor to fair. Concerning the effect of duration of vocal loading, results showed a significant decrease in breathiness but no change in pressedness after reading in both sessions. The decreased breathiness represents a voice improvement, which could be interpreted as an adaptation of voice to loading. When comparing the two intensity levels, no difference was found for breathiness and pressedness after vocal loading.

**Conclusions:** Like objective measurements and self-ratings, perceptual assessments suggest that the duration of vocal loading has more effects on voice than its intensity level.

---

<sup>13</sup> Etude 2.

## INTRODUCTION

Vocal load corresponds to the quantity of speech in terms of duration, intensity, and frequency (F0). Prolonged use of the voice has been identified as a risk factor for dysphonia, mainly when intensity and F0 are high (Chen et al., 2010; Stone & Scharf, 1973). The consequences of vocal load can be studied in the laboratory and in the field. The advantage of field studies is that vocal load is applied to connected speech produced in a natural environment. In the laboratory, such tasks as prolonged reading or vowel repetition are less representative of the kinds of spontaneous voice use encountered in daily life. Nevertheless, they have the advantage of allowing precise control of the duration and intensity of vocal load, as well as of factors that influence it, such as background noise, acoustics, and humidity.

This study is part of a research project assessing the effects of vocal load by means of a reading task conducted in the laboratory. The project's objective is to improve our understanding of duration and intensity as loading factors. Fifty female speakers underwent two vocal load sessions. The first session consisted in two hours of reading at low intensity (LI) level, between 60 and 65 dB(A). The second session comprised two hours of reading at high intensity (HI) level, between 70 and 75 dB(A). We wanted to answer the following questions: (1) Does the voice vary during vocal loading? (2) Can differences be observed between the two vocal load sessions as a function of vocal intensity?

In our previous study<sup>14</sup>, objective measurements (F0, jitter%, shimmer%, noise harmonic ratio, maximum phonation time, minimum intensity, maximum intensity, minimum frequency, maximum frequency) and subjective self-ratings (feelings of voice quality, effort, fatigue, and laryngeal discomfort) were taken

---

<sup>14</sup> Etude 2



### Etude 3

before vocal loading and every 30 minutes during vocal loading. The results showed an increase in F0, minimum frequency, minimum intensity, maximum phonation time, and feelings of phonation effort, fatigue, and laryngeal discomfort during vocal loading, along with a decrease in shimmer% and self-rated voice quality. The effect of vocal load intensity affected few variables. Only F0, maximum frequency and, consequently, frequency range were higher for the HI loading task than for the LI loading task. To complement the objective measures and subjective self-ratings reported in the previous study, the current study presents a perceptual evaluation before (PRE) and after (POST) vocal loading sessions. The perceptual analysis covered the same voice samples collected in the first study.

The present study is therefore based on perception, namely the interpretation of the environment on the basis of information from the senses (Brin et al., 2004). Perceptual voice evaluation consists in assessing the signal perceived through an auditory input modality. Although it is sensitive to numerous sources of errors and bias, perceptual analysis has advantages to be convenient, inexpensive, and useful, in both clinical and research settings (Kent, 1996). Indeed, testing “by ear” is the first and most accessible modality for assessing the voice. Listening is generally what determines clinical decisions in speech pathology and what enables therapeutic teams, as well as patients and their families, to assess the effectiveness of a treatment, since it is a good way of quickly determining sound quality. However, it can be a difficult skill to master due to its subjective nature and its potential lack of sensitivity and reproducibility over time. Several studies have shown evidence of unreliability due to intra- or inter-rater variability (Bele, 2005; Kreiman & Gerratt, 2000; Kreiman, Gerratt, Kempster, Erman, & Berke, 1993; Kreiman, Gerratt, Precoda, & Berke, 1992). This unreliability may be explained by factors related to the judge, to the task, or to the interaction between the two (Kreiman et al., 1993).

Judge-related unreliability is explained by the facts that judges use different strategies and that most perceptual analysis tasks require a comparison of stimuli with internal standards specific to each listener (Kreiman et al., 1993). Listeners develop individual, variable, and unstable internal standards, based on their own experience with voices (Eadie & Baylor, 2006; Kreiman et al., 1992). These internal standards are related to the concept of prototype, as defined in psychology. Task-related unreliability depends on the type of scale, its resolution, the voice samples, or the effects of context (Kreiman et al., 1993). The listening context can definitely influence listeners' internal standards. A given sample may sound rougher if it is presented after a very non-rough sample than after a very rough sample, just as an identical amount of light will be perceived as more intense if one is coming from a dark environment than if one is coming from a well-lit place. Both these examples illustrate the fact that context modifies internal standards and influences perception.

In this study, the perceptual analysis was done by ear by expert judges. We asked the judges to focus on the *pressed* and *breathy* features of the voice to determine whether they varied during vocal loading and as a function of the intensity of the load. The breathy characteristic of vocal quality is mainly evaluated in clinics with the B ("Breathiness") subscale of Hirano's GRBAS scale (1981b), while the pressed feature is close to its S ("Strain") subscale. Pressed and breathy voice are two ends of the same continuum (Titze, 2000). Glottal adduction affects mode of phonation and thus the degree of breathiness and pressedness perceived in the voice (Sundberg, Thalen, Alku, & Vilkmán, 2004). Pressed voice is a mode of phonation characterized by excessive adduction of the vocal folds (hyperadduction). At the opposite end, breathy voice is characterized by a lack of adduction (hypoadduction). There is no consensus in the literature regarding the effect of vocal load on glottal adduction. Some studies suggest that adduction increases (Lauri et al., 1997; Vilkmán et al.,

### Etude 3

1999; Vintturi et al., 2001b), whereas others tend to show the opposite (Gelfer et al., 1996; Solomon & DiMattia, 2000; Stemple et al., 1995).

In this paper, we will first examine the *pressed* feature since several authors have interpreted changes in their acoustic and aerodynamic measurements and changes detected in inverse filtering as signs of a more pressed, hyperfunctional voice further to vocal loading (Lauri et al., 1997; Vilkmann et al., 1999; Vintturi et al., 2001b). Subjectively speaking, a feeling of increased vocal effort has been described after prolonged voice use (Chang & Karnell, 2004; A. Remacle, Morsomme, Berru , & Finck, 2012; Stemple et al., 1995). Chang and Karnell (2004) established a link between the vocal effort experienced and the increase in subglottal pressure. Subglottal pressure has been shown to increase following sustained vocal activity (Chang & Karnell, 2004; Solomon & DiMattia, 2000; Vintturi et al., 2001b). Since subglottal pressure regulates vocal intensity, which itself is related to F0, vocal load leads to an increase in vocal intensity and F0. Several authors have observed this kind of increase in intensity and F0 after vocal loading (Jonsdottir, Laukkanen, et al., 2002; Laukkanen et al., 2008; Vilkmann et al., 1999). The increase in subglottal pressure, intensity, F0, phonation effort, and the suspicion of hyperfunctioning and more pressed vocal functioning led us to explore the pressed parameter of the voice by means of a perceptual analysis to determine whether it increases following vocal load.

It has been shown that, when the sound pressure level of voice is increased following exposure to background noise, vocal behavior becomes hyperfunctional and the voice is perceived as being more pressed (Sodersten et al., 2005). Vinturri et al. (2001b; 2003) showed more hyperfunctional changes after 45 minutes of vocal loading at high intensity (>65 dB) than at low intensity

(<65 dB). In our earlier study<sup>15</sup>, we observed a higher F0 after the HI session than after the LI session. We therefore hypothesized that the voice would be more pressed after the HI session than after the LI session.

We will then examine the impact of vocal loading on the breathiness of the voice. Although few studies have examined the laryngeal effects of vocal loading, some describe glottal chink following prolonged voice use. For example, Stemple et al. (1995) observed anterior glottal chink in 6 out of 10 women after two hours of reading at 75 to 80 dB. Solomon and DiMattia (2000) described spindle-shaped vibratory closure patterns in three out of four women after two hours of reading at 75 to 80 dB SPL. Gelfer et al. (1996) noted a greater amplitude of glottal opening after one hour of reading in a group of untrained female singers, but not in trained singers. The lack of adduction of the vocal folds is characterized by a perception of breathiness (Sodersten & Lindestad, 1990). The glottal chink that certain studies have observed after vocal load led us to explore the *breathy* parameter of voice via a perceptual analysis in order to determine whether it would increase following prolonged voice use. We also checked whether perceived breathiness would vary as a function of the intensity of vocal loading. In point of fact, glottal leakage and perceived breathiness have been found to decrease when vocal intensity is increased (Södersten & Hammarberg, 1993; Sodersten, Hertegard, & Hammarberg, 1995; Sodersten & Lindestad, 1990).

To sum up, the questions we sought to answer by means of perceptual analysis are the following:

- (1) Is the voice more *pressed* after vocal loading?
- (2) Is the voice more *pressed* when vocal load intensity is higher?

---

<sup>15</sup> Etude 2

## Etude 3

(3) Is the voice *breathier* after vocal loading?

(4) Is the voice *breathier* when vocal load intensity is higher?

## MATERIALS AND METHOD

### Vocal load

#### Subjects

Fifty women (mean age = 25.4 years, SD = 4.98, range = 21–47 years) underwent two sessions of vocal loading. A videolaryngostroboscopic examination (EndoSTROB Stroboscop; Xion GmbH, Berlin, Germany) and an in-depth anamnesis ruled out all vocal pathologies. The exclusion criteria in choosing participants were as follows: smoking, history of voice problems, voice rehabilitation in the past or present, hearing disorders, upper respiratory infection at the time of the study, and professional or recreational activity involving frequent use of the voice (e.g., singing, theater). The participants were described in more detail in our earlier study.

#### Loading task

The vocal loading task consisted in reading a novel aloud for two hours. Each speaker underwent two vocal loading sessions separated by a minimum of five days, to ensure voice recovery between the two sessions. Using a decibel meter (DVM805; Velleman, China) placed at a distance of 40 cm from the lips, vocal intensity was constantly monitored to ensure that it was always between 60 and 65 dB(A) in the first session and 70 and 75 dB(A) in the second session. The examiner encouraged the participants to maintain the intensity level if it

differed from the target level. While reading, the participants were seated in a quiet room (ambient noise < 30 dB(A)). Relative humidity was monitored with a hygrometer (P600; Dostmann Electronic, Wertheim-Reicholzheim, Germany) and maintained at 30% ± 10%. Every 30 minutes, participants were encouraged to drink a glass of water. In both reading sessions, there were breaks every 30 minutes so the objective measurements and subjective self-ratings presented in the previous study could be gathered. Each session (vocal loading plus evaluations) lasted three hours per participant.

### **Recording equipment and procedures**

The voice samples (reading of a phonetically balanced text) were acquired in a soundproof booth (213 X 194 X 219 cm), in the ENT department at Liège University Hospital. Recordings were made with Computer Speech Lab software (Kay Elemetrics, Lincoln Park, NJ) and a head-worn microphone with a frequency range of 20 to 20,000 Hz (AKG C420; Harman, Stamford, CT), placed at a distance of 7 cm from the lips. The perceptual analysis was done on voice samples collected PRE and POST two hours of vocal loading at LI and HI levels.

### **Perceptual evaluation**

#### **Voice samples**

The voice material used for the perceptual judgment task was the sentence “*A cet instant, Vick sortit contempler le jour naissant*”. This was the second sentence from the reading of a phonetically balanced text<sup>16</sup>, at a comfortable frequency and intensity. The sentence was selected and segmented

---

<sup>16</sup> Texte fourni dans l’annexe 4.

### Etude 3

with PRAAT freeware, designed by Paul Boersma and David Weenink (Phonetic Sciences, University of Amsterdam, The Netherlands).

The voice samples of the 50 speakers were then classified into four different files:

- 1) PRE LI session samples ( $n = 50$ )
- 2) POST LI session samples ( $n = 50$ )
- 3) PRE HI session samples ( $n = 50$ )
- 4) POST HI session samples ( $n = 50$ )

#### **Perceptual judgment task**

A variety of perceptual analysis methods exist. The most widely used are equal interval scales (Kreiman et al., 1993), of which Hirano's GRBAS scale is the best known. Despite the widespread use of these perceptual analysis scales in the clinical setting, their main weakness is the lack of intra- and interrater reliability caused by the variability of internal standards. According to Teston (2004), interrater reliability is enhanced if the perceptual evaluation is done in comparative mode, with an instant transition between the samples to be judged. The stimulus to be judged can be compared with an explicit external standard (anchored scale) or two voice samples can be compared (pairwise comparison). In 2005, Kacha, Grenez, and Schoentgen showed that the pairwise comparison method allowed for enhanced intra- and interrater reliability compared to the GRBAS scale, for both novice and expert judges. When they use pairwise judgment, the judges do not need to refer to their internal standards since they are comparing two voice samples with each other, and thus the first sample heard is the referent with which the second is compared (Kreiman et al., 1992). We therefore opted for this perceptual analysis method to optimize judgment reliability. Furthermore, pairwise comparisons are particularly appropriate for our objective of comparing a subject with herself PRE and POST vocal loading.

The voice samples were presented and the scores were calculated with Pairwise software<sup>17</sup>, developed by Ali Alpan (L.I.S.T., Faculty of Applied Sciences, University of Brussels). This software creates two-by-two comparisons between the samples entered in it so that each speaker is compared with herself for each perceptual judgment task. The randomized order of presentation was different for all judges. Table 1 presents the six pairwise comparison tasks presented on the basis of the four files created previously.

Table 1. Description of the six pairwise comparison tasks

Task	Samples compared	Parameter evaluated	Number of pairs compared
1	PRE LI session - POST LI session	pressedness	50
2	PRE LI session - POST LI session	breathiness	50
3	PRE HI session - POST HI session	pressedness	50
4	PRE HI session - POST HI session	breathiness	50
5	POST LI session - POST HI session	pressedness	50
6	POST LI session - POST HI session	breathiness	50

For the tasks concerning pressedness (1, 3, and 5), the judges were asked to answer the question “In your opinion, which voice is more pressed?” For the tasks concerning breathiness (2, 4, and 6), they were asked to answer the question “In your opinion, which voice is breathier?” Thus, the objective was to

<sup>17</sup> L’interface du logiciel est présentée dans l’annexe 5.



### Etude 3

determine in which sample the pressed and breathy parameters were more evident and not to quantify these parameters in the samples to be judged. The judges could listen to the voice samples as many times as they wanted before clicking on the button corresponding to their answer. It is important to point out that the judges were required to choose between the two sounds played; they were not given the possibility of answering that the voices were similar in the aspect to be evaluated or that they did not perceive that aspect in either sample. Thus, they had to make a forced choice.

The programming was done by the experimenter before administering each task, for a total of six times. Once the perceptual judgment task was over, the software generated a results file including the judge's answers for each comparison and the order in which the series of items was presented.

All the tasks were performed on a 13-inch MacBook Pro portable computer. Samples were presented over professional headphones with a frequency range of 18 to 18,000 Hz (Sennheiser HD 202; Sennheiser Electronic GmbH & Co. KG, Wedemark, Germany). The intensity was set at a comfortable level for each judge. The listening sessions were administered individually, in a quiet room (in the judge's home or workplace). The experimenter was always present to give instructions, make sure they were properly understood, program tasks, and save the results.

Before each session, the judge was given a written explanation of the task and a definition of the parameters to be evaluated.<sup>18</sup> The vocal parameters under study were precisely defined by means of physiological and acoustic

---

<sup>18</sup> Voir annexes 6 et 7.

features in order to fine-tune the judges' perceptual reality and control for some degree of subjectivity.

Pressed voice was defined as follows: "By pressed voice, we mean a voice that is moving toward hyperfunction. On a continuum, a pressed voice is the opposite of a breathy or asthenic voice. In fact, on the GRBAS scale, a breathy voice is associated with a lack of vocal folds adduction and an asthenic voice is associated with a soft or weak voice. Pressed voice, on the other hand, corresponds to a hyperfunctional voice. The extreme form of pressed voice is ventricular fold phonation. From a physiological point of view, pressed voice is characterized by hypertension of the laryngeal muscles. The long period when the glottis is closed and its abrupt closure are generally accompanied by significant subglottal pressure. Consequently, phonation becomes generally more strident and more intense, while the energy of the voice harmonics increases."

Breathy voice was defined as follows: "Breathy voice is a characteristic of voice quality that is usually clinically evaluated using the GRBAS scale. The perceived breathiness of the voice corresponds to an escape of air from the larynx, caused by the incomplete closure of the vocal folds. The glottis is then expanded, which results in excessive air flow during phonation, and occasionally a dull voice due to reduced timbre."

The total duration of the test (6 tasks) ranged from 45 minutes to 2 hours, depending on the judge. Judges were encouraged to proceed at their own pace and to request a break at the first signs of lack of attention or fatigue. In addition, they were given a two- or three-minute break each time the task was changed, that is, approximately every 15 minutes.

## Etude 3

To assess the agreement among the different judges (interrater reliability), the same tasks composed of the same voice samples were administered to all of them. As well, to evaluate intrarater reliability, a retest was realized after 7 to 14 days. Each judge therefore completed two listening sessions (test and retest), composed of all the tasks. This procedure enabled us to assess the stability of judgments over time.

### **Judges**

Our jury was made up of 10 expert judges aged 25 to 60 years old (mean = 37.4 years). The expert judges were people with theoretical knowledge and regular practical experience in perceptual voice analysis. Of these 10 judges, eight were speech therapists and two were otorhinolaryngologists specializing in voice disorders. All were French speakers, none had hearing problems, and all were naive regarding the study hypotheses. Table 2 describes the judges.

Table 2. Description of the judges

Judge	Sex	Age, years	Profession (years of practice)	Musical experience (years of practice)
J1	F	25	speech therapist (1)	solfege lessons (12) violin (12) singing (10) piano (5)
J2	F	26	speech therapist (2)	singing (6)
J3	F	26	speech therapist (2)	solfege lessons(6) piano (5) singing (3)
J4	F	31	speech therapist (3)	piano (27) singing (5) choir master (2) cello (2)
J5	F	37	speech therapist (12)	solfege lessons (2)
J6	F	44	speech therapist (4) classical singer (20)	singing (20) solfege lessons (6) guitar (5) piano (2)
J7	F	45	speech therapist (20)	flute (25) singing (15)
J8	F	60	speech therapist (37)	solfege lessons (4) piano (4) guitar (1) singing (1)
J9	M	29	otorhinolaryngologist (5)	flute (20) solfege lessons (6) singing (1)

J10	F	51	otorhinolaryngologist (27)	singing (6) piano (2)
-----	---	----	----------------------------	--------------------------

**Statistical analyses**

For the six tasks, each judge’s results were entered in an Excel spreadsheet. All data were processed with Statistica software (version 10, StatSoft Inc., Tulsa, OK). Cohen’s kappa coefficient was used to measure intrarater reliability, that is, to calculate the agreement between perceptual judgments made at the test and retest sessions. Cohen’s kappa allows one to measure the agreement between two qualitative variables (test and retest) with the same modalities. Fleiss’s kappa coefficient was used to test interrater reliability, that is, to calculate the agreement between perceptual judgments made by different judges. It allows one to measure the agreement among several judges who are making a qualitative evaluation with the same modalities. The value of kappa always falls between  $-1$  and  $1$ . To interpret it, we used the classification established by Landis and Koch (1977) (see Table 3).

Table 3. Strength of the agreement according to the Kappa statistic

Kappa Statistic	Strength of Agreement
$< 0.00$	Poor
$0.00 - 0.20$	Slight
$0.21 - 0.40$	Fair
$0.41 - 0.60$	Moderate
$0.61 - 0.80$	Substantial
$0.81 - 1.00$	Almost Perfect

Note: color codes allow the interpretation of Kappa values.

Finally, to determine whether the duration and intensity of vocal loading had an impact, the judges' responses to each of the test tasks were analyzed. For each task, the averages of the responses by the 10 judges were calculated for the two possible choices, then transformed into percentages. This mean (as a percentage) was then compared to a standard of 50%. Our aim was to determine whether there was a difference between the judges' mean responses and an identical distribution between the two possible choices (i.e., the chance level of 50% for each choice). The comparison of the mean to a standard tests the null hypothesis that the mean equals 50%. The significance level was set at  $p < .05$ .

## **RESULTS**

### **Intrarater reliability**

To determine the judges' consistency between the test and retest sessions, we analyzed intrarater agreement with Cohen's kappa. Results indicated that the agreement between the responses given by the judges at test and retest was poor to fair. For each task, the value of Cohen's kappa is presented for the 10 judges in Table 4.

Table 4. Values of Cohen's Kappa

	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10
Task 1	-0,200	0,240	0,320	-0,040	0,080	0,160	-0,160	0,040	-0,120	0,120
Task 2	0,000	0,040	-0,040	0,000	0,240	0,400	0,000	-0,240	0,160	0,040
Task 3	-0,080	-0,040	0,080	0,280	-0,040	-0,360	-0,120	-0,040	0,040	-0,080
Task 4	0,000	-0,120	0,040	0,000	0,080	0,240	-0,120	0,080	0,040	0,080
Task 5	0,160	0,000	0,320	0,120	-0,040	0,160	-0,080	0,200	0,040	0,000
Task 6	0,040	-0,160	0,040	0,080	0,240	0,320	-0,240	-0,200	-0,160	-0,080

Note: the color codes come from Table 3 and make it possible to interpret the values of kappa.

### Interrater reliability

We then tested the judges' ability to make coherent perceptual judgments. To do this, we analyzed the interrater reliability for each of the listening tasks with Fleiss's kappa. Results indicated poor agreement for two tasks and fair agreement for four. None of the tasks stood out from the others by triggering greater interrater reliability. Table 5 presents the values for Fleiss's kappa for each task.

Table 5. Values of Fleiss's kappa

	Values of Fleiss's kappa
Task 1	0.010
Task 2	-0.028
Task 3	0.003
Task 4	0.040
Task 5	-0.011
Task 6	0.043

Note: The color codes come from Table 3 and make it possible to interpret the values of kappa.

### Effect of vocal load duration

For **task 1**, 52.8% of the voice samples were judged to be more pressed PRE LI session than POST LI session (see Figure 1). The null hypothesis tested is that PRE LI session pressedness equals 50%. The acceptance of this



### Etude 3

hypothesis ( $p = .240$ ) means that there is no significant difference in pressedness PRE and POST vocal loading for the LI session.

For **task 2**, 55.6% of voice samples were judged to be breathier PRE LI session than POST LI session (see Figure 1). The null hypothesis tested is that PRE LI session breathiness equals 50%. The rejection of this hypothesis ( $p = .006$ ) means that voices were significantly breathier PRE than POST LI session.

For **task 3** (see Figure 1), the distribution of the voice samples judged to be more pressed PRE HI session and POST HI session was identical (50%). The null hypothesis that PRE HI session pressedness equals 50% was accepted ( $p = 1.00$ ). Thus, there was no significant difference in the pressed parameter between voices PRE and POST HI session.

For **task 4**, 58.4% of the voice samples were judged to be breathier PRE than POST HI session (see Figure 1). The null hypothesis tested is that PRE HI session breathiness equals 50%. The rejection of this hypothesis ( $p = .002$ ) means that voices were significantly breathier PRE than POST HI session.

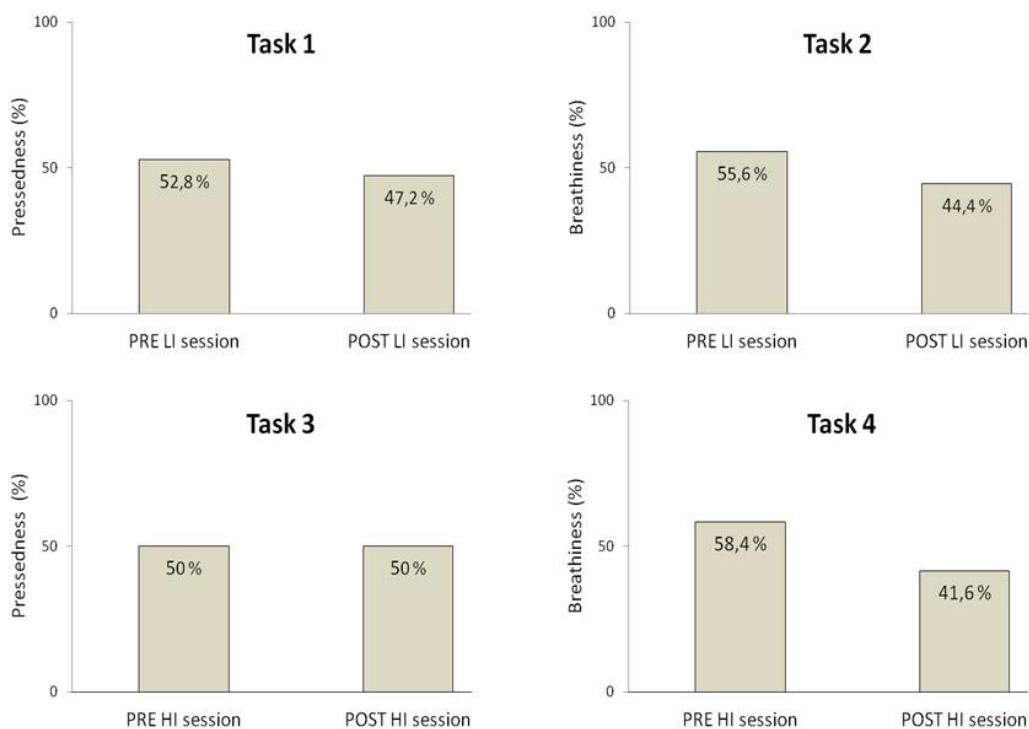


Figure 1. Effect of vocal load duration on pressedness (tasks 1 and 3) and breathiness (tasks 2 and 4) of voice.

### Effect of vocal load intensity

For **task 5**, 50.2% of the voice samples were judged to be more pressed POST HI session than POST LI session (see Figure 2). The null hypothesis tested is that POST HI session pressedness equals 50%. The acceptance of this hypothesis ( $p = .926$ ) means that there was no significant difference in pressedness between voices POST LI session and POST HI session.

For **task 6**, 52.2% of voice samples were judged to be breathier POST LI session than POST HI session (see Figure 2). The null hypothesis tested is that breathiness POST LI session equals 50%. The acceptance of this hypothesis

### Etude 3

( $p = .411$ ) means that there was no significant difference in breathiness between voices POST LI session and POST HI session.

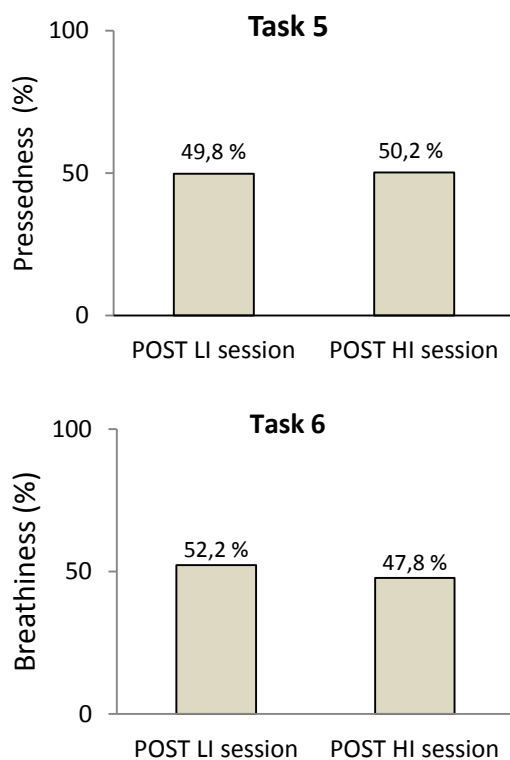


Figure 2. Effect of vocal load intensity on pressedness (task 5) and breathiness (task 6) of voice

## DISCUSSION

### Methodological aspects

In this study, we used perceptual analysis to evaluate the effects of vocal loading, to complement the objective measurements and self-ratings reported in a previous study<sup>19</sup>. Our goals were to determine the impact of the duration and intensity of vocal loading on the pressedness and breathiness parameters of the voice. To do this, the voices of 50 female speakers were assessed by 10 expert judges before and after two hours of reading at LI, and before and after two hours of reading at HI.

To the best of our knowledge, there have been few studies of perception of changes following vocal loading. In 1962, Sherman and Jensen (1962) assessed the effects of one and a half hours of reading in a conversational voice, followed by 30 minutes of silence, in 15 men who had normal voices and 15 men who had harsh voices. The perceptual judgment concerned the reading of a standardized passage before reading (T1), after 45 minutes of reading (T2), after one and a half hours of reading (T3), and after 30 minutes of silence (T4). Thirty-two seniors and graduate students, majors in speech pathology, evaluated the degree of harshness of each voice sample ( $N = 120$ ) using a 7-point equal-appearing intervals scale ranging from 1 (least harshness) to 7 (most harshness). Rather unexpectedly, the subjects with normal voices showed a decrease in harshness between T1 and T2, and between T1 and T3, and then an increase in harshness between T3 and T4, returning to approximately the initial level of harshness observed at T1. No significant difference was found for subjects who had a harsh voice.

---

<sup>19</sup> Etude 2

### Etude 3

In 1973, Stone and Sharf studied the effect of the duration, intensity, and frequency of vocal loading in 10 men with normal voices. The task consisted in producing vowel lists for 20 minutes in nine different conditions (3 intensity levels x 3 frequencies). The three intensity levels were 75, 80, and 85 dB SPL measured 30 cm from the lips. The three frequency levels corresponded to 20%, 50%, and 80% of each speaker's frequency range. The nine conditions were administered on nine different days, at a rate of one per day. Five graduate students in speech pathology and audiology, selected from a group of 12, conducted the perceptual analysis using a 7-point equal-appearing intervals scale ranging from 0 (no change) to 6 (extreme change). For each speaker, the voice samples collected before and every 5 minutes during vocal loading were compared pairwise to determine the impact of intensity, frequency, and duration of vocal loading. The results showed a significant difference between the three frequency levels: the higher-pitched the voice, the greater the changes perceived during vocal loading. As for duration, a significant change was perceived after 20 minutes of loading at high frequency (80% of frequency range), but not after low (20%) or medium (50%) frequency loading. In all conditions, the greatest changes were observed in the first five minutes of vocal loading. On the other hand, no significant difference was observed between the three intensity levels of the task. It should be noted that when changes were perceived, the results do not allow us to determine whether they represented an improvement or a deterioration of the voice, or which voice quality was affected by the change.

Neils and Yairi studied the impact of the duration and intensity of vocal loading in six women with normal voices. Each participant performed a task involving 45 minutes of reading in three different background noise conditions: 50 dB, 70 dB, and 90 dB. The perceptual judgment was made on 32-word continuous speech samples. The judges evaluated them before reading, after 15, 30, and 45 minutes of reading, and after 15, 30, and 45 minutes of silence, in each of the three background noise conditions. Nineteen graduate students of

speech pathology assessed voice normalcy with a 7-point equal-appearing interval scale ranging from 1 (normal voice) to 7 (abnormal voice). The results did not show any significant effect of time or intensity.

In 2003, Yiu and Chan did a perceptual analysis of 20 karaoke singers (10 men and 10 women) at four points: (1) before singing, (2) after singing ten songs, (3) after singing five additional songs, and (4) after the last song when the participant reported vocal fatigue and could not sing anymore. The vocal material used for the perceptual analysis was recorded in a laboratory and comprised sustained /a/ sounds, plus the reading of a sentence at a comfortable frequency and intensity. Three final year speech pathology students with a year of clinical experience assessed roughness and breathiness on 100-mm visual analogue scales. Anchor points were used to illustrate different degrees of roughness and breathiness. No significant change in roughness or breathiness was perceived over the four recordings.

In 2009, McAllister, Granqvist, Sjölander, and Sundberg did a perceptual analysis of the voices of 10 children at three points during a normal day at day care center: (1) in the morning, (2) at noon, and (3) in the afternoon. The vocal material comprised the repetition of three sentences containing only voiced sounds. Three speech and language pathologists assessed these voice samples on visual analogue scales according to the following parameters: roughness, breathiness, hoarseness, and hyperfunction. Among girls, hyperfunction and breathiness tended to increase during the day. In boys, hoarseness and hyperfunction tended to increase during the day. However, these differences were not statistically significant.

Overall, none of the perceptual analysis studies reviewed here showed many statistically significant effects of vocal loading (Sherman & Jensen, 1962; Stone & Scharf, 1973), and some found none (McAllister et al., 2009; Neils &

### Etude 3

Yairi, 1987; Yiu & Chan, 2003). We can see some variability in the perceptual analysis methods used in these studies. The older studies (Neils & Yairi, 1987; Sherman & Jensen, 1962; Stone & Scharf, 1973) used 7-point equal-appearing interval scales, while the more recent ones used visual analogue scales (McAllister et al., 2009; Yiu & Chan, 2003). As in our study, Stone and Sharf (1973) used pairwise comparisons PRE and POST vocal loading. They asked the judges to calculate the amplitude of the change observed between two samples compared with a 7-interval scale ranging from 0 (no change) to 6 (extreme change). In our study, we asked judges to choose the most pressed or breathiest of two samples played, without any possibility of grading the perceived difference. We did not give judges the possibility of saying that the aspect in question was identical in the two samples played. The disadvantage of this method is that the judges were forced to choose and answer, even if the aspect in question did not exist in the stimuli they heard. Nevertheless, the forced choice had the aim of pushing judges to examine samples as carefully as possible before answering.

The presence of roughness caused by vocal loading was the most widely assessed vocal characteristic (McAllister et al., 2009; Yiu & Chan, 2003). Stone and Sharf (1973) attempted to determine whether there was an overall voice change, while Neils and Yairi (1987) examined voice normalcy. Yiu and Chan (2003) investigated roughness and breathiness following prolonged use of the singing voice. Finally, McAllister et al. (2009) examined changes in roughness, breathiness, hoarseness, and hyperfunction in children following a day in daycare. Like our work, all of these studies made use of expert judges, either students at the end of their training or voice professionals, to do the perceptual analysis (McAllister et al., 2009; Neils & Yairi, 1987; Sherman & Jensen, 1962; Stone & Scharf, 1973; Yiu & Chan, 2003). We turned to expert voice judges because of the difficulty of our tasks. Indeed, the differences between the

samples to be judged were usually minimal. Consequently, most judges reported that the task was difficult and tiring.

### **Intra- and interrater reliability**

It should be recalled that we used a comparative judgment method, asking judges to discriminate a single voice parameter in two samples. In that way, we hoped to avoid biases related to comparisons with each judge's own internal standards and thus to improve the reliability of their judgments.

For all six tasks, Cohen's kappa indicated poor to fair agreement between the test and retest. There was little difference between judges. The judge with the lowest test-retest agreement had 20 years of experience in voice assessment (J7). The judges with the best overall reliability had four years of experience (J6) and two years of experience (J3). There did not appear to be any correlation between a judge's reliability and his or her professional experience (De Bodt, Wuyts, Van de Heyning, & Croux, 1997; Fraj, Schoentgen, & Grenez, 2011; Kreiman et al., 1993).

Although the intrarater agreement was low, we retained the responses of all judges in our analyses of the results. In fact, the lack of difference in intrarater reliability levels meant we could not identify any particular judges as being clearly less reliable. Moreover, the judges appeared to show a degree of reliability that varied according to task. Regarding interrater reliability, tasks 2 and 5 revealed poor agreement, whereas agreement in tasks 1, 3, 4, and 6 was fair. For both intra- and interrater reliability, the agreement level was relatively consistent for both pressedness and breathiness.

Low intra- and interrater reliability is a well-known problem, inherent in perceptual judgment. Many studies have attempted to overcome these



### Etude 3

difficulties by making use of different kinds of judges (De Bodt et al., 1997), different scales (Wuyts, De Bodt, & Van de Heyning, 1999), or different phonetic materials (Revis, Giovanni, Wuyts, & Triglia, 1999). Anchor points or learning protocols have also been used to try to improve reliability (Chan & Yiu, 2002; Ghio et al., 2011). However, there is still no consensus regarding the ideal perceptual analysis method. Like other methods, pairwise comparisons have limitations related to reliability. In our study, the lack of reliability may be related to the task design, which did not allow judges to say that the two samples to be compared were similar or that the aspect being assessed did not exist in either sample. For each pair, the judges had to answer the questions “which voice is more pressed?” and “which voice is breathier?” If the two samples were identically pressed or breathy, or if neither sample was pressed or breathy, then the judges may have chosen their answers by chance, resulting in randomness among the judges as well as between test and retest. Thus, the restrictive response possibilities may explain the low reliability levels.

Another possible explanation is that the judges were basing their judgments of a particular aspect on different dimensions. After the perceptual judgment tasks, we asked the judges about the strategies underlying their judgments. For pressedness, they reported basing themselves on frequency, intensity, strain, the quality of the sound onset, and fatigue of the voice. Breathiness is also multifaceted. In addition to breathiness due to glottal leakage (which was rarely perceived in our samples), the judges reported basing their assessments on asthenia, voice onset time, and harmonic richness. For both aspects, some of the judges said they had based their responses on the general quality of the voice in some cases, since pressedness and breathiness were not very obvious. Although the terms *pressed* and *breathy* were defined before the perceptual judgment tasks, it appears that the judges used a variety of criteria in making their judgments. Moreover, as Kent (1996) noted, the discriminable differences for a stimulus are not necessarily *isomorphic*. A given judge

probably did not apply one single criterion to all the sample pairs, and if several criteria were used, it is impossible to know how much weight the judge attributed to each one. These factors reflect the subjective nature of perceptual analysis. In future, it would be interesting to train the judges by presenting samples illustrating different degrees of the aspects to be evaluated, to make sure they are all working with an identical perceptual reality, corresponding to our definition of the parameter in question. Kreiman and Gerratt (2000) suggest that judges are incapable of being consistent in their judgments of specific voice characteristics because it is difficult to isolate the individual dimensions of complex signals. These authors also question the value of approaches based on a one-dimensional scale for perceptual evaluation.

Finally, one last possible explanation of the lack of reliability is that the differences between the comparison samples were really minimal. The smaller the differences between samples to be compared, the more difficult the task is for the judges; the consequence is reduced reliability.

### **Impact of vocal load duration**

The first objective of this study was to evaluate the impact of two hours of vocal loading on voice pressedness and breathiness. We were trying to determine whether 10 expert judges would perceive changes in these aspects PRE and POST vocal loading by making pairwise comparisons.

Regarding pressedness, no change was perceived following two hours of vocal loading. Indeed, there were no significant differences between voices PRE and POST loading, either in LI session or in HI session. Similarly, Neils and Yairi (1987) found no significant change in voice normalcy during 45 minutes of reading in women with normal voices. Yiu and Chan (2003) did not observe any

### Etude 3

changes in roughness and breathiness in 20 male and female singers during prolonged use of the singing voice. Finally, McAllister et al. (2009) reported no significant difference in roughness, breathiness, hoarseness, or hyperfunction in 10 children during their day at daycare. The fact that the perceptual analysis did not show any change in pressedness was contrary to our expectations. The changes found in inverse filtering, acoustic measures, and aerodynamic measures in other studies indicated a more hyperfunctional, pressed voice following vocal loading (Lauri et al., 1997; Vilkman et al., 1999; Vintturi et al., 2001b). According to the acoustic measurements made in our previous study, the speakers' F0 increased following vocal loading. Bergan, Titze, and Story (2004) showed that F0 has an effect on the perception of pressedness: the higher F0 is, the more pressed the voice is perceived to be. Following their judgments, some of our judges actually reported basing themselves on F0 to judge pressedness. Nevertheless, the perceptual results for pressedness do not corroborate the increase in F0 measured acoustically. Furthermore, the increase in self-rated vocal effort observed in our earlier study might also presage an increase in pressedness, but the perceptual analysis does not corroborate this increase in vocal effort either.

Note that the absence of any significant difference in pressedness between voices PRE and POST vocal loading is hard to interpret. In fact, since the judges were not allowed to respond that the voice samples were identical or that the aspect in question was not present, it is difficult to determine whether the lack of significant difference corresponds to an absence of pressedness or to a voice that had similar amounts of pressedness PRE and POST vocal loading. Nevertheless, the experimenters judged all of these voices to be normal on the day of the experiment prior to the vocal loading task. The lack of any significant difference PRE and POST loading should therefore mean that the voice was not perceived to be pressed at either time.

There are two possible explanations of the fact that the judges did not perceive pressedness in the PRE and POST vocal loading samples: either (1) voices were not actually pressed or (2) voices were pressed but the judges were incapable of perceiving it. Certain voice characteristics can be difficult to distinguish perceptually, and especially pressedness, which is not often used by French-speaking clinicians, who mainly use the GRBAS scale (Hirano, 1981b). Our 10 judges may have been rather unfamiliar with the perceptual judgment of pressedness in the voice. Still, they were given a definition before starting the judgment task and these expert judges did seem to have understood the vocal parameter they were supposed to evaluate. Less doubt was expressed regarding breathiness, which is often used in perceptual analysis, including with the GRBAS scale. Judges are probably better trained in perceiving breathiness as a voice quality, given their frequent use of this feature in their daily clinical practice.

Our results regarding breathiness revealed a difference following two hours of vocal loading. Surprisingly, though, breathiness was significantly lower POST vocal loading, in both task 2 (LI session) and task 4 (HI session). This suggests that an improvement was perceived following two hours of vocal loading. This decline in breathiness may reflect (1) a decrease in laryngeal air leakage, contrary to studies describing the increase of glottal leakage after vocal loading (Gelfer et al., 1996; Solomon & DiMattia, 2000; Stemple et al., 1995); (2) a decrease in the asthenia associated with breathiness by some judges; (3) a decrease in voice onset time, which is also associated with breathiness by some judges; or (4) a change in harmonic richness, characterized by richer timbre and a less dull voice. We should note that, at the end of the task, some judges stated that they had based themselves on timbre or on a “lack of brilliance” because they did not perceive any breathiness due to glottal air leakage.

### Etude 3

This decrease in perceived breathiness POST vocal loading suggests that speakers' voices improved and is comparable to the results of Sherman and Jensen (1962), who observed a reduction in roughness during one and a half hours of reading in men with normal voices, followed by an increase in harshness after 30 minutes of silence, returning to the perceived initial state before reading. Several subjects in Sherman and Jensen's study (1962) reported that they had thought they might be unable to complete the task, or at the least found it difficult, due to the increase in vocal effort experienced during the first 30 minutes of reading. After that, though, they felt an improvement in their vocal performance, as if they could continue to read indefinitely. Adaptation of voice to loading is one possible interpretation of the improved roughness reported by Sherman and Jensen (1962), and of the improvement in breathiness in our study. In fact, participants knew that they would have to read for a long time (one and a half hours in Sherman & Jensen; two hours in our study). It is possible that muscular, respiratory, and resonance adjustments were made to deal with vocal demand and ensure vocal effectiveness throughout the task. The hypothesis that subjects adapted to vocal loading is supported by the improvement in certain objective parameters such as the increase in maximum phonation time, the decrease in shimmer% and a trend toward a decrease in jitter% during the two hours of reading, as reported in our earlier study. Previous studies had shown a correlation between breathiness and shimmer, and between breathiness and jitter (Eskenazi, Childers, & Hicks, 1990; Wolfe, Fitch, & Martin, 1997; Wolfe & Martin, 1997). The decrease in breathiness, shimmer, and jitter reflects an improvement in voice performance. In point of fact, the increase in F0 that is often observed following vocal loading has also been interpreted as an adaptation (Jonsdottir, Laukkanen, et al., 2002; Rantala et al., 2002; A. Remacle, Finck, et al., 2012), although it may also induce microtraumas of the vocal folds. Finally, interpreting our results as showing adaptation seems plausible given that we observed the effects of vocal loading in women with normal voices, who had never reported any voice problems.

Thus, regarding the impact of two hours of reading on pressedness and breathiness, we observed a decline in breathiness and no difference in pressedness. If we limit ourselves to the physiological description of these two aspects, the results we obtained do not appear coherent. Pressedness and breathiness are two vocal qualities at opposite ends of a continuum, depending on the degree of glottal adduction (Titze, 2000). If breathiness decreases, one would therefore expect pressedness to increase. However, no change in pressedness was perceived in our study. As we discussed above, it is very probable that the judges based their judgments on different acoustic indices to judge breathiness and pressedness and not in the glottal adduction criterion. If one wishes to objectively evaluate glottal adduction, then the use of such methods as videostroboscopy, electroglottography, or inverse filtering is necessary.

### **Impact of vocal load intensity**

The second objective of this study was to assess the impact of the intensity of vocal loading on voice pressedness and breathiness. We wanted to find out whether 10 expert judges would perceive differences in these aspects as a function of the level of vocal load intensity, by making pairwise comparisons.

According to the literature, vocal behavior becomes hyperfunctional and the voice is perceived as more pressed and less breathy when voice intensity increases (Sodersten et al., 1995; Sodersten et al., 2005). Contrary to our expectations, our results did not show any significant difference between voices POST LI session and POST HI session, either in task 5 (pressedness) or in task 6 (breathiness). The lack of an intensity effect on perceptual analysis suggests that high-intensity vocal load does not entail a more pressed or less breathy voice. The management of vocal load intensity therefore depends more on control of

### Etude 3

the respiratory muscles and effective use of resonators than on a strategy involving increased glottal resistance. Thus, the vocal behavior our speakers engaged in seems to be appropriate and effective. Similarly, Stone and Sharf (1973) did not find significant changes as a function of intensity in men with normal voices after vowels repetition for 20 minutes, at three different intensity levels. Neils and Yairi (1987) showed that intensity had no effect on women with normal voices who read for 45 minutes in three different background noise levels, involving different voice intensity levels.

These perceptual results corroborate the results of objective analyses and subjective self-ratings reported in our first study. Few of the objective parameters showed an intensity effect. Only F0, maximum frequency and consequently frequency range were higher for HI session than for LI session. No effect of intensity was shown in the self-rating of voice quality, phonatory effort, voice fatigue, or laryngeal discomfort. Overall, then, the perceptual results support the results of the objective analysis and self-ratings: the duration of vocal loading has more impact on the parameters observed than does the intensity.

## CONCLUSION

In this study, we used perceptual analysis to assess the effects of vocal loading, complementing the objective analyses and self-ratings reported in an earlier study. The objectives were to determine the impact of duration and intensity of vocal loading on pressedness and breathiness. The voices of 50 female speakers were perceptually analyzed by 10 expert judges before and after two hours of reading at LI level, and before and after two hours of reading at HI level. A pairwise comparison method was used to reduce the subjectivity

inherent in perceptual judgments, with the aim of avoiding the variability related to comparison of stimuli with judges' internal standards and increasing the reliability of judgments. Despite these efforts, intra- and interrater reliability ranged from poor to fair. This low reliability may have been caused by the restrictive response possibilities the judges were given, the fact that the judges relied on different perceptual indices to judge a single voice quality, or the fact that the perceptual differences between samples were minimal.

Regarding the effect of duration of vocal loading, no change in pressedness was perceived after two hours of reading. Conversely, voices were significantly less breathy after two hours of reading, in both the LI and HI sessions. The perceived improvement in breathiness can be interpreted as an adaptation of voice to loading. It is possible that muscular, respiratory, and resonance adjustments were instituted to cope with vocal demand and ensure effectiveness throughout the task. Finally, no effect of vocal load intensity was observed on pressedness or breathiness.

Similarly to the objective measures and self-ratings reported in our earlier study, the duration of vocal loading had more effect on perceptual analysis than its intensity. In future, it would be interesting to do a perceptual evaluation of overall voice quality, since it seems difficult to isolate specific characteristics such as breathiness or pressedness. As for the pairwise comparison method of judging voices, we suggest that judges' response possibilities should not be limited to a forced choice between the two stimuli being compared, to prevent them from responding randomly due to a lack of possibilities. It seems important to allow the judges to answer that they do not perceive the voice quality they are required to judge or to say that it is identical in both stimuli. Finally, an analysis of laryngeal changes in terms of adduction and viscoelasticity would help with the interpretation of the results observed in this study; these factors remain under-investigated in the field of vocal loading.



### **Acknowledgments**

We are extremely grateful to the speakers who took part in the vocal load task and the judges who conducted the perceptual analysis. We also thank Professor Etienne Quertemont for his advice regarding the statistical analyses.

## **Etude 4**

---

# **Vocal impact of a prolonged reading task in dysphonic versus normophonic female teachers**

Angélique Remacle<sup>1</sup>, Dominique Morsomme<sup>1</sup>, Elise Berrué<sup>1</sup>, and Camille Finck<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Liège, Belgium

<sup>2</sup>CHU of Liège and University of Mons, Belgium

Published in *Journal of Voice*, 26(6), 820.e1-820.e13.

Presented at the 41<sup>st</sup> Annual Symposium: Care of the professional Voice (Oral presentation, Philadelphia, US, 02-06-2012)

## **ABSTRACT**

**Objectives:** This study evaluates the effect of a 2-hour reading task between 70 and 75 dB(A) in 16 normophonic and 16 dysphonic female teachers with vocal nodules.

**Methods:** Objective measurements (acoustic analysis, voice range measurements, aerodynamic measurements) and subjective self-ratings were collected before and every 30 minutes during the reading to determine the voice evolution in both groups.

**Results:** Fundamental frequency, lowest frequency, highest frequency (F-High), highest intensity, and intensity range increase through the reading, whereas shimmer decreases. Maximum phonation time decreases after 30 minutes. Estimated subglottal pressure (ESP) and sound pressure level increase during the first hour. Afterward, ESP decreases. Self-ratings worsen through time. When comparing the normophonic and the dysphonic teachers, self-ratings reveal more complaints in the dysphonic group. Few differences in objective measurements are found between both groups: normophonic teachers show lower ESP, higher F-High, and greater frequency range.

**Conclusions:** Frequency modifications from acoustic analysis and voice range measurements suggest an increased laryngeal tension during vocal load, while subjects perceive a worsening of voice. Aerodynamic parameters depict first a deterioration of voice efficiency and then an adaptation to the prolonged reading. The comparison between both groups shows a discrepancy between objective measurements and self-ratings, suggesting that both approaches are necessary to have a complete view of vocal load effects. Surprisingly, both groups behave similarly through vocal load, without more or quicker deterioration of voice in the dysphonic group.

## INTRODUCTION

Previous studies have shown a higher prevalence of voice disorders in teachers than in the general population (Roy, Merrill, Thibeault, Gray, et al., 2004; Roy, Merrill, Thibeault, Parsa, et al., 2004; Sliwinska-Kowalska et al., 2006; Smith et al., 1997; Smith, Lemke, et al., 1998). In the United States, the prevalence of a current voice problem in 1,243 teachers is 11%, and the prevalence of voice disorders during their lifetime is 57.7% (Roy, Merrill, Thibeault, Parsa, et al., 2004). In another survey on 242 teachers, 14.6% report that they currently have a voice problem (Smith et al., 1997). Among 554 elementary and high school teachers, 32% has ever had a voice problem (Smith, Lemke, et al., 1998). The prevalence rate of self-reported voice problems in South Australia is 16% on the day of the survey, 20% during the current teaching year, and 19% at some time during the teaching career (Russell et al., 1998). In Poland, dysphonia is reported by 68.7% of 425 female teachers, at least one time in their lifetime (Sliwinska-Kowalska et al., 2006). In a Dutch investigation, more than a half of 1,878 teachers report voice problems during their career and about one-fifth have a history of absence from work because of voice problems (De Jong et al., 2006). Even if the questions used for evaluating the prevalence of voice disorders vary from survey to survey, all these demonstrate that teaching is a high-risk profession for the development of dysphonia.

Occupational voice disorders in teachers are most frequently because of heavy vocal load and are aggravated by risk factors such as background noise, room acoustics, stress, fatigue, and poor posture (Epstein et al., 2011). The demands placed on vocal mechanism, by the way and extent the voice is used (duration, intensity, and frequency of phonation), define the vocal load borne by the subject (Epstein et al., 2011; Hunter & Titze, 2010). The higher these factors,

## Etude 4

the higher the mechanical stress on the vocal folds (Titze, 1994). In occupational voice users, such as teachers, repeated periods of vocal loading associated with short recovery periods may lead to vocal fold lesions as nodules.

The present study is part of a larger project that addresses occupational vocal load in teachers. In a previous study (Remacle, Finck, et al., 2012),<sup>20</sup> the impact of vocal load was evaluated in 50 normophonic females without professional voice use. Each participant underwent two sessions of oral reading with a controlled voice level of 60–65 dB(A) for the first session and 70–75 dB(A) for the second session. The aim was to evaluate the impact of the duration and the intensity level of vocal load. Results showed that both have an effect on voice, even if the intensity level affects fewer variables than duration. The present work applies the same protocol: the purpose is to evaluate the impact on voice owing to a 2-hour vocal load in 16 normophonic female teachers and in 16 dysphonic female teachers with vocal nodules. The specific questions are: (1) What are the effects of a 2-hour reading task on teachers' voice? (2) Does the vocal load affect differently the pathological teachers than the healthy teachers? Our hypotheses are that acoustic parameters, aerodynamic measurements, and self-ratings of voice (1) would worsen through the reading task for both groups, (2) would be better for the normophonic group than for the dysphonic group before and during the reading task, and (3) that the voice evolution through the loading task would be different in both groups, the nodular group showing a quicker and more important deterioration than the control group.

---

<sup>20</sup> Etude 2.

## METHODS

### Subjects

Before taking part in the experiment, all the participants underwent a videolaryngostroboscopic examination (EndoSTROB Stroboscop; Xion gmbH, Berlin, Germany) to establish the diagnosis. Two groups of subjects were studied. One group included 16 dysphonic female teachers with vocal nodules (mean age: 33.8 years, SD: 8.6, range: 21.6–51.3). The other group included 16 normophonic female teachers (mean age: 34.1 years, SD: 8, range: 22.7–51.2) who met the following criteria: no laryngeal pathologies, no complaint or history of voice disorders, and no voice therapy. Each dysphonic teacher was paired with a normophonic teacher by age. The description of the groups is presented in Table 1.

The composition of the two groups is homogenous concerning the age (Student's  $t$  test = 0.13,  $df = 30$ ,  $p = 0.90$ ), the average duration of employment (Student's  $t$  test = -0.67,  $df = 30$ ,  $p = 0.51$ ), and the average working time per week (Student's  $t$  test = -1.13,  $df = 30$ ,  $p = 0.27$ ).

On the 2 days before the testing, subjects were asked to avoid any vocally abusive behavior (singing, loud talking, shouting, and yelling). They received the instructions to sleep and drink normally, not to ingest caffeine, alcohol, or any medication that causes drying of the vocal folds. Participants responded to an anamnestic questionnaire before the experiment, including their drug treatments. All subjects provided informed consent but were blind to the study hypothesis. They received an oral and written explanation of the experiment procedure.

Table 1. Description of the normophonic and dysphonic groups

	Normophonic group	Dysphonic group
Number of subjects	16	16
Number of preschool and kindergarten teachers	3 (18.75%)	3 (18.75%)
Number of elementary school teachers	3 (18.75%)	5 (31.25%)
Number of high school teachers	4 (25%)	6 (37.5%)
Number of junior college teachers	6 (37.5%)	2 (12.5%)
Average duration of employment (year)	8.2 (SD = 7.1)	10.1 (SD = 9.2)
Average working time/week (hour)	21.4 (SD = 5.3)	23.1 (SD = 2.6)
Total Score (VHI)	6.6 (SD = 6.6)	29.6 (SD = 18.6)
Functional Score (VHI)	1.5 (SD = 2.2)	5.4 (SD = 5.7)
Emotional Score (VHI)	1.2 (SD = 3.1)	7.9 (SD = 6.8)
Physical Score (VHI)	3.8 (SD = 4.0)	16.4 (SD = 10.4)
Number of smokers	3 (18.75%)	3 (18.75%)

Abbreviation: SD, standard deviation; VHI, voice handicap index.

## Procedure

### Voice handicap index

Before the experiment, the participants responded to the French version of the voice handicap index (VHI) (Woisard et al., 2004) initially developed by Jacobson et al. (1997). The VHI is a 30-items questionnaire to assess the severity of voice disorders. Each item is scored on a five-point rating scale from zero (never) to four (always). The items are equally distributed over the three subscales: functional, physical, and emotional. Low scores indicate low complaints of disability owing to the voice and high scores indicate high complaints. VHI results of the two groups are presented in Table 1.

### **Loading task**

Teachers' voices were orally loaded by reading a novel in French (Vargas, 2002) for 2 hours. Teachers were instructed to read for imaginary students, as in their classroom. Voice intensity level was constantly controlled between 70 and 75 dB(A) with a Digital Sound Level Meter (DVM805; Velleman, China) at a distance of 40 cm from the mouth. The examiner encouraged to maintain the intensity level if it differs from the target level. During the loading task, participants were seated in a quiet room (background level < 30 dB [A]) and instructed to read aloud. The relative humidity of ambient air was controlled using a hygrometer (P600; Dostmann Electronic, Wertheim-Reicholzheim, Germany) and kept constant (30%  $\pm$  10%). Every 30 minutes, the researcher advised the participants to drink one glass of water to ensure that they remain hydrated. The experiment took place during the weekend or a day off from work to avoid overloading in teachers, especially in the dysphonic group.

### **Evaluation protocol**

During the loading task, serial sets of evaluations were carried out every 30 minutes: (time 0 = T0) before the loading task, (time 1 = T1) after 30 minutes of reading, (time 2 = T2) after 1 hour of reading, (time 3 = T3) after 1 hour and 30 minutes of reading and (time 4 = T4) after 2 hours of reading. All measurements were repeated using an identical protocol, including the subjective self-ratings first, followed by the acoustic analysis and the aerodynamic measurements. The entire procedure (loading tasks and evaluations) took 3 hours per subject. Tests were made by the first and third authors who were a speech therapist specialized in voice and a student in speech therapy, respectively.



### **Subjective self-ratings**

Every 30 minutes, participants were asked to answer the following questions using a 100-mm horizontal visual analog scale (VAS):

- 1) How is your voice quality (How does your voice sound)? The extremes on the VAS were 0% for the minimum voice quality and 100% for the maximum voice quality.
- 2) Do you feel any phonation effort (strain or effort to produce the voice)? The extremes on the VAS were 0% for no vocal effort and 100% for a maximum vocal effort.
- 3) Do you feel any vocal fatigue (tiredness of voice or in neck muscles)? The extremes on the VAS were 0% for no vocal fatigue and 100% for a maximum vocal fatigue.
- 4) Do you feel any laryngeal discomfort (pain or dryness in your throat)? The extremes on the VAS were 0% for no laryngeal discomfort and 100% for a maximum laryngeal discomfort.

Before the loading task, subjects were informed that they will have to complete the same questions every 30 minutes. When they scored their complaints, they did not have access to their previous ratings. We used the same VAS as in our previous study (Remacle, Finck, et al., 2012)<sup>21</sup> to allow comparisons.

### **Acoustic analysis**

Recordings were made in a 213 X 194 X 219-cm soundproof booth; the subject was sitting at the center of the booth. The voices were recorded with a head-worn microphone (AKG C420; Harman, Stamford, CT, USA), with a constant mouth-to-microphone distance of 7 cm. The microphone's frequency range (F-Range) extends from 20 to 20,000 Hz.

---

<sup>21</sup> Etude 2.

Serial acoustic analyses of voice were obtained by use of the Multidimensional Voice program (Kay Elemetrics, Lincoln Park, NJ): average fundamental frequency (F0), jitter percent (Jitt), shimmer percent (Shim), and noise harmonic ratio (NHR). Subjects were asked to produce three times the sustained vowel /a/ at a comfortable pitch and intensity level. The first 3 seconds of each sample were analyzed and then averaged for a final value.

The lowest frequency (F-Low), the highest frequency (F-High), the F-Range, the lowest intensity (I-Low), the highest intensity (I-High), and the intensity range (I-Range) were collected with the Voice Range Profile program (Kay Elemetrics, Lincoln Park, NJ) on the vowel /a/. F-Low, F-High, and F-Range were recorded during three trials, the subject gliding from a middle range note to the lowest possible note and then to the highest possible note. I-Low, I-High, and I-Range were collected at c1 pitch (262 Hz), which is in the middle of an estimated female F-Range. Subjects were instructed to sustain the target pitch with the softest and the loudest possible voice three times successively, as recommended in Sihvo et al. (2000). During the recording session, the investigator provided verbal encouragements and auditory examples if necessary.

### **Aerodynamic measurements**

Aerodynamic measurements were realized using the Aerophone II, Model 6800 (Kay Elemetrics, Lincoln Park, NJ). The acoustic signal was picked up by an electrets microphone (AKG CK77; Harman, Stamford, CT). For the maximum phonation time (MPT) and the mean airflow rate (MAR), participants were asked to produce three samples of the prolonged vowel /a/ at a comfortable pitch and intensity, as long as possible. The longest sample was analyzed to determine MPT and MAR. Estimated subglottal pressure (ESP) and sound pressure level (SPL) were calculated on a sequence of seven /pa:/ syllables produced at a comfortable pitch and intensity. Subglottal pressure was estimated

from the intraoral pressure recorded using a silicone tube placed in the mouth, during p-occlusion. The three central syllables were extracted and their mean was calculated for the ESP and SPL analysis.

## **Statistics**

The following methods were used to analyze our data: (1) the Mann-Whitney *U* test to compare the VHI results for the normophonic and the dysphonic groups and (2) a repeated measures analysis of variance (ANOVA five times X two groups) to compare data obtained at different times of the reading session for both groups. We tested the within-subjects effect (main effect of the duration of reading), the between-subjects effect (main effect of the group), and the interaction between the group and the duration. When the ANOVA showed significant differences ( $p < 0.05$ ), a post hoc Tukey's honestly significant difference test was computed either on the main significant effects or on the interaction to compare the means. When necessary, for meeting the assumption of homogeneity of variances and normality, logarithmic transformations normalized raw data before ANOVA. For clarity, means of the raw data values are presented in figures. All calculations were conducted using the statistical software Statistica/Win (version 9.1; StatSoft Inc, Tulsa, Oklahoma). Subjective self-rating results are presented in Figure 1, acoustic results in Figure 2, and aerodynamic results in Figure 3.

## RESULTS

### Voice handicap index

Results from the Mann-Whitney  $U$  test reported a significant difference between the normophonic and the dysphonic groups for all scores: functional ( $U = 75.0, p = 0.047$ ), emotional ( $U = 43.5, p = 0.0009$ ), physical ( $U = 20.0, p < 0.0001$ ), and total score ( $U = 27.5, p < 0.0001$ ). Dysphonic teachers had systematically more complaints than normophonic teachers.

### Subjective self-ratings

Results from repeated measures ANOVA (cf. Table 2) demonstrated significant main effects of the duration ( $p < 0.0001$ ) and of the group ( $p < 0.05$ ) for all the subjective self-ratings. The detailed results from the post hoc test on the main effect of the duration are presented in Table 3. No significant interaction between duration and group was found.

Etude 4

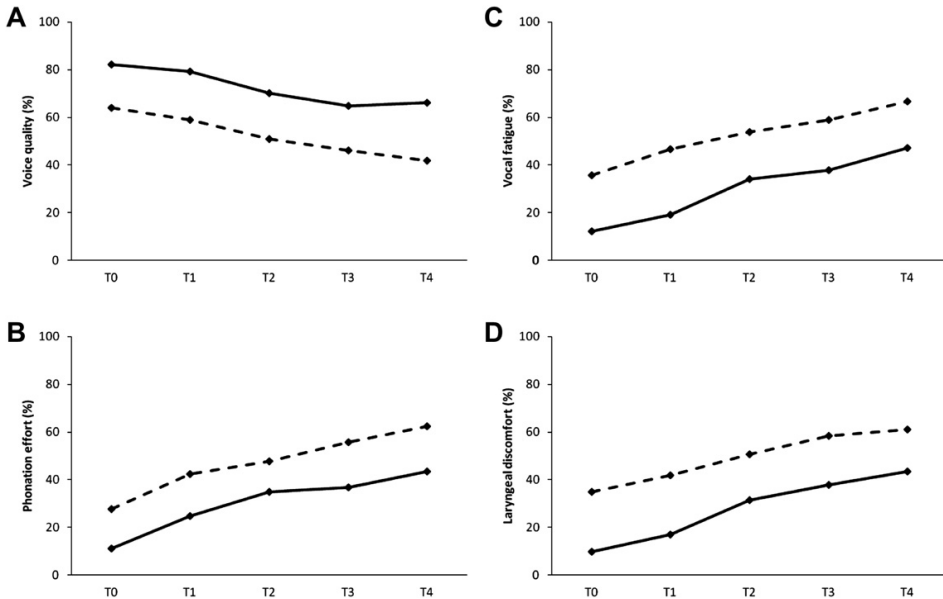


Figure 1. A-D. Results from the subjective self-ratings at each time for the normophonic teachers (solid line) and the dysphonic teachers (dotted line).

Table 2. Results from the repeated measures ANOVA for subjective self-ratings

Variables	Duration effect		Group effect		Interaction effect	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Voice quality	13.83	<.0001*	8.37	0.007*	0.30	0.88
Phonation effort	24.95	<.0001*	4.45	0.040*	0.25	0.91
Vocal fatigue	30.75	<.0001*	8.22	0.007*	0.50	0.73
Laryngeal discomfort	26.13	<.0001*	7.63	0.009*	0.49	0.75

Notes: degree of freedom for the duration effect = (4, 120); degree of freedom for the group effect = (1, 30); degree of freedom for the interaction between duration and group = (4, 120). *F* = *F* value from the ANOVA; *p* = *p* value from the repeated measures ANOVA where *p* < 0.05 indicates statistical significance, shown by an asterisk.

Table 3. Results from the HSD Tukey post hoc on the main effect of duration for subjective self-ratings

Variables	Time (a)	Time (b)	<i>p</i>	Normophonic	Dysphonic
				teachers	teachers
				Mean difference (b-a)	Mean difference (b-a)
Voice quality	0	1	0.753	-2.8	-4.8
	0	2	0.002*	-11.9	-12.9
	0	3	0.0001*	-17.4	-17.8
	0	4	0.0001*	-15.9	-22
	1	2	0.060	-9.1	-8.1
	1	3	0.0004*	-14.6	-13
	1	4	0.0002*	-13.1	-17.2
	2	3	0.476	-5.6	-4.9
	2	4	0.249	-4	-9.1
	3	4	0.994	1.6	-4.2
Phonation effort	0	1	0.002*	13.7	14.7
	0	2	0.0001*	23.8	20
	0	3	0.0001*	25.6	28.1
	0	4	0.0001*	32.3	34.6
	1	2	0.227	10.1	5.2
	1	3	0.007*	11.9	13.4
	1	4	0.0001*	18.6	19.9
	2	3	0.652	1.8	8.1
	2	4	0.016*	8.6	14.6
	3	4	0.368	6.7	6.5
Vocal fatigue	0	1	0.062	6.9	10.9
	0	2	0.0001*	21.9	18.1

Etude 4

	0	3	0.0001*	25.6	23.4
	0	4	0.0001*	35.1	31
	1	2	0.009*	15	7.2
	1	3	0.0001*	18.7	12.5
	1	4	0.0001*	28.1	20.1
	2	3	0.656	3.7	5.3
	2	4	0.001*	13.1	12.9
	3	4	0.082	9.4	7.6
Laryngeal discomfort	0	1	0.257	7.2	6.9
	0	2	0.0001*	21.7	15.6
	0	3	0.0001*	28.1	23.5
	0	4	0.0001*	33.6	26.1
	1	2	0.009*	14.5	8.7
	1	3	0.0001*	20.9	16.6
	1	4	0.0001*	26.4	19.1
	2	3	0.244	6.4	7.9
	2	4	0.014*	11.9	10.4
	3	4	0.774	5.5	2.6

---

Note: Time 0 = before the loading task, Time 1 = after 30 minutes, Time 2 = after 1 hour, Time 3 = after 1h30, Time 4 = after 2 hours. Column  $p$  represents  $p$ -values from the HSD Tukey post hoc test, where  $p < 0.05$  indicates statistical significance, shown by an asterisk.

**Acoustic analysis**

For F0 (Figure 2A), repeated measures ANOVA demonstrated a significant main effect of the duration ( $F(4,120) = 16.72, p < 0.0001$ ). Post hoc comparisons showed an increase in F0 between T0 and T1, T2, T3, T4, as well as between T1 and T3. There was no significant main effect of the group ( $F(1,30) = 0.38, p = 0.54$ ) and no interaction between duration and group ( $F(4,120) = 0.62, p = 0.65$ ).

For Jitt (Figure 2B), there was no significant main effect of the duration ( $F(4,120) = 2.41, p = 0.053$ ), no significant main effect of the group ( $F(1,30) = 3.43, p = 0.074$ ), and no interaction between duration and group ( $F(4,120) = 0.90, p = 0.47$ ).

A significant main effect of the duration ( $F(4,120) = 2.48, p = 0.047$ ) was shown for Shim (Figure 2C). The post hoc test revealed lower values for T2 and T4 than for T0. No significant main effect of the group ( $F(1,30) = 2.05, p = 0.16$ ) and no interaction between duration and group was found ( $F(4,120) = 0.92, p = 0.45$ ).

Regarding NHR (Figure 2D), there was no significant main effect of the duration ( $F(4,120) = 0.72, p = 0.58$ ) and no significant main effect of the group ( $F(1,30) = 1.91, p = 0.18$ ). No interaction between duration and group was found ( $F(4,120) = 0.74, p = 0.57$ ).



Etude 4

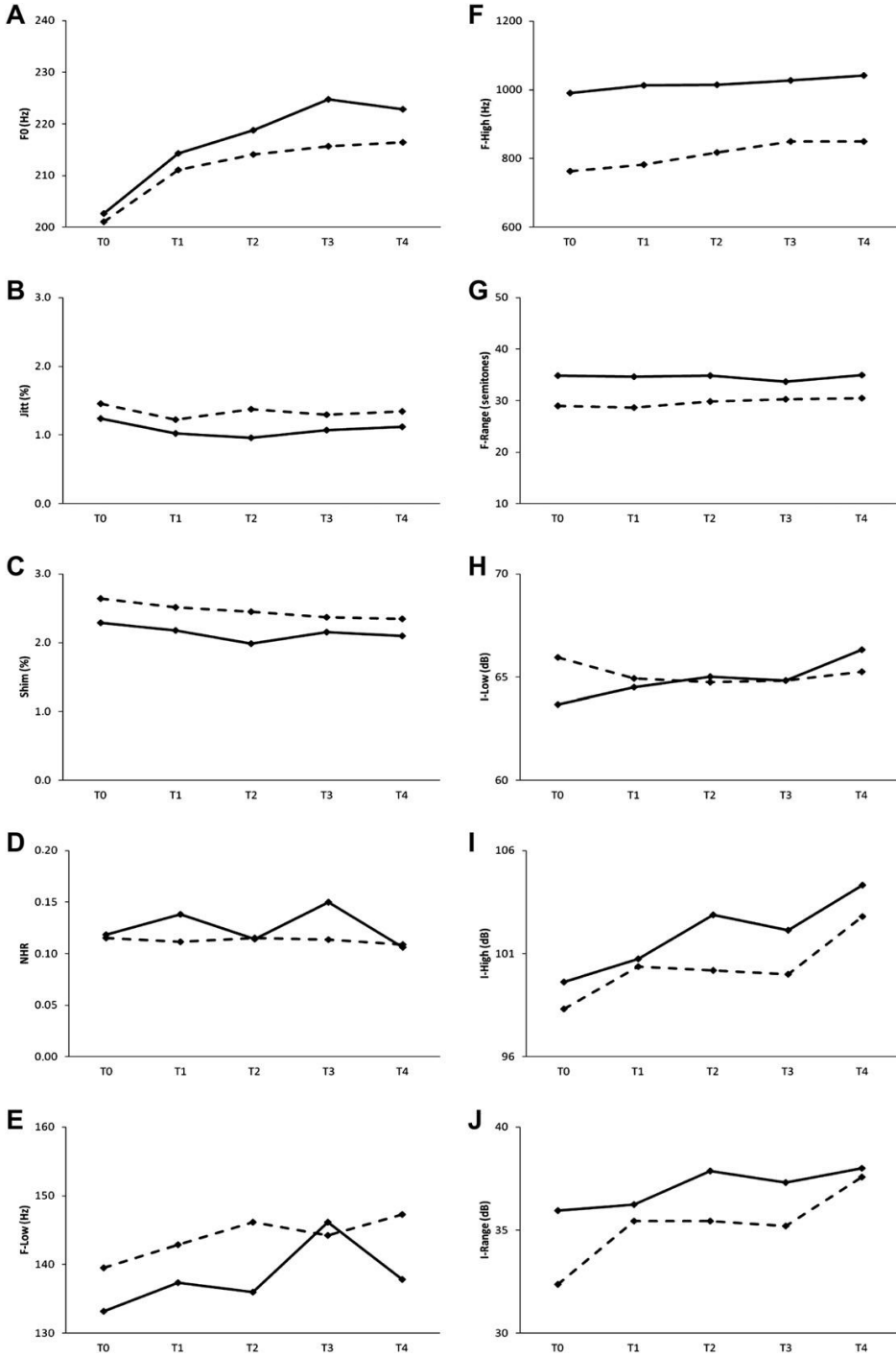


Figure 2. A-J. Results from the acoustic analysis at each time for the normophonic teachers (solid line) and the dysphonic teachers (dotted line).

Results for F-Low (Figure 2E) demonstrated a significant main effect of the duration ( $F(4,120) = 5.51, p = 0.0004$ ). The post hoc test revealed higher values for T3 and T4 than for T0 and T2 in all teachers. No main effect of the group was demonstrated ( $F(4,120) = 0.94, p = 0.34$ ), but there was an interaction between duration and group ( $F(1,30) = 3.01, p = 0.02$ ). The increasing curves depict a similar evolution of both groups from T0 to T1. Then F-Low continues to increase for the pathological group, whereas the control group shows a nonlinear evolution. The post hoc test shows higher values for T3 than for T0 and T2 in the control group.

For F-High (Figure 2F), there was a significant main effect of the duration ( $F(4,120) = 4.23, p = 0.003$ ). Post hoc comparisons showed an increase in F-High between T0 and T3, as well as between T0 and T4. At each time, F-High was higher for the normophonic teachers than for the dysphonic teachers as a main effect of the group ( $F(1,30) = 15.54, p = 0.0004$ ). No interaction between duration and intensity ( $F(4,120) = 0.68, p = 0.61$ ) was demonstrated.

For F-Range (Figure 2G), there was no significant main effect of the duration ( $F(4,120) = 1.17, p = 0.33$ ). At each time, F-Range was larger for the normophonic than for the dysphonic teachers as a main effect of the group ( $F(1,30) = 12.20, p = 0.0015$ ). No interaction between duration and intensity was found ( $F(4,120) = 1.81, p = 0.13$ ).

Concerning I-Low (Figure 2H), there was no significant main effect of the duration ( $F(4,120) = 0.80, p = 0.53$ ), no significant main effect of the group ( $F(1,30) = 0.06, p = 0.81$ ), and no interaction between duration and group ( $F(4,120) = 1.57, p = 0.19$ ).

## Etude 4

I-High (Figure 2I) rose significantly through time as a main effect of the duration ( $F(4,120) = 12.87, p < 0.0001$ ). Post hoc comparisons showed an increased I-High in T2, T3, and T4 compared with T0, as well as in T4 compared with T1, T2, and T3. There was neither a significant main effect of the group ( $F(1,30) = 0.77, p = 0.39$ ) nor an interaction between duration and group ( $F(4,120) = 0.89, p = 0.47$ ).

A significant main effect of the duration was found for I-Range ( $F(4,120) = 3.65, p = 0.008$ ; Figure 2J). The post hoc test showed a greater I-Range in T4 compared with T0. There was neither a significant main effect of the group ( $F(1,30) = 0.85, p = 0.36$ ) nor an interaction between duration and group ( $F(4,120) = 0.84, p = 0.50$ ).

### Aerodynamic measurements

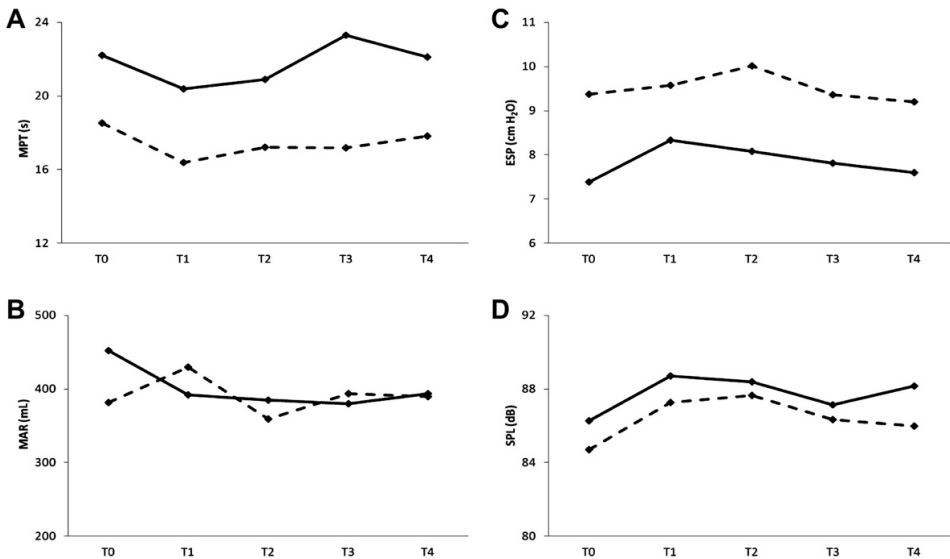


Figure 3. A-D. Results from the aerodynamic measurements at each time for the normophonic teachers (solid line) and the dysphonic teachers (dotted line).

For MPT (Figure 3A), results from the repeated measures ANOVA revealed a significant main effect of the duration ( $F(4,120) = 3.07, p = 0.019$ ). Post hoc comparisons showed a decrease in MPT between T0 and T1. There was no significant main effect of the group ( $F(1,30) = 2.76, p = 0.11$ ) and no interaction between duration and group ( $F(4,120) = 0.39, p = 0.82$ ).

As far as MAR is concerned (Figure 3B), there was no significant main effect of the duration ( $F(4,120) = 0.72, p = 0.58$ ), no significant main effect of the group ( $F(1,30) = 0.032, p = 0.86$ ), and no interaction between duration and group ( $F(4,120) = 0.93, p = 0.45$ ).

Results for ESP (Figure 3C) demonstrated a significant main effect of the duration ( $F(4,120) = 2.58, p = 0.04$ ). The post hoc test revealed an increase between T0 and T2, and then a decrease between T1 and T4 as well as between T2 and T4. ESP was systematically higher for the dysphonic than for the normophonic teachers as a main effect of the group ( $F(1,30) = 5.81, p = 0.02$ ). No interaction between duration and group was found ( $F(4,120) = 0.61, p = 0.66$ ).

Finally, results showed a significant main effect of the duration for SPL ( $F(4,120) = 3.0, p = 0.02$ ), (Figure 3D). Post hoc revealed that T1 and T2 are higher than T0. There was no main effect of the group ( $F(1,30) = 0.3, p = 0.57$ ) and no interaction between duration and group ( $F(4,120) = 0.3, p = 0.89$ ).

## **DISCUSSION**

### **Methodological aspects**

This study observes the effects of vocal load during a prolonged reading task on acoustic, aerodynamic, and self-evaluations of voice in normophonic and dysphonic teachers. Many studies have been built to evaluate the effects of a loading task on voice, but only a few compare dysphonic and normophonic subjects. In a study by Buekers (1998), electroglottography, acoustic analysis, and self-ratings were performed through a 30-minute voice endurance test in 20 females with a history of vocal fatigue compared with 12 healthy females. In another study, Akerlund (1993) recorded phonetograms before and after a 15-minute loud reading task through 80-dB SPL masking noise of 10 females and 10 males with nonorganic dysphonia, and of 10 female and 10 male normal-speaking controls. In a study by Jilek et al. (2004), electroglottographic perturbation values were collected from 32 patients with functional dysphonia and 31 normophonics before and after a 20-minute loading task comprising repeated vowel sequences at 80 dB SPL. More recently, Aronson et al. (2007) observed voice SPL, F0, speaking phonetogram area, subglottal pressure, and subjective self-ratings in 10 females with bilateral vocal fold nodules and 23 control females reading a 90 seconds text in four different noise conditions. As far as we know, Niebudek-Bogusz et al. (2007) are the only authors who reported the effects of a reading task in dysphonic teachers. Acoustic parameters and videostroboscopic examination are realized before and after a 30-minute loud reading under exposure to 80 dB SPL white noise in 51 female teachers with voice disorders. However, no comparison was made with a normophonic group. To the best of our knowledge, the present study is the first one comparing the effects of a prolonged reading task on normophonic and dysphonic teachers' voice.

This investigation addresses female teachers for two reasons. The first one is because, compared with male population, female teachers are twice as likely to report voice problems (Russell et al., 1998) and to seek phoniatic care (Fritzell, 1996). This disparity between genders is explained by differences in laryngeal structure (Titze, 2000), molecular composition of vocal fold tissues (Butler et al., 2001), hormonal factors, and a higher F0 implying a greater load for vocal folds in females (Horacek, Laukkanen, Sidlof, Murphy, & Svec, 2009). The second reason comes from the fact that most Belgian teachers are women. Statistics by the *Ministère de la Communauté Française* report that the proportion of females in the *Fédération Wallonie-Bruxelles* is 97% for the kindergarten teachers, 80% for the elementary school teachers, and 61% for the high school teachers (Etnic, 2010).

The reason for choosing nodular pathology for the dysphonic group is because it is the most common organic pathology in teachers (Fritzell, 1996). Nodules are benign swellings, generally bilateral, reducing the glottic closure and the vocal folds' mucosal wave, and impacting on voice quality and efficiency. They are localized in the center of the membranous vocal fold, where the maximum impact takes place. Nodules form because of high vocal load, leading to excessive localized mechanical stress and to repetitive acceleration and deceleration, which may traumatize the vocal fold tissues (Gunter, 2004; Horacek et al., 2009; Titze, 2000). Note that in the present study, the nodular group is heterogeneous in terms of mass size and degree of associated stiffness of the vocal folds, implying some physiopathological differences.

Concerning the loading task, 2 hours of reading is chosen to allow comparisons with other works using the same duration (Chang & Karnell, 2004; Lohscheller et al., 2008; A. Remacle, Finck, et al., 2012; Stemple et al., 1995). The duration that we have chosen is longer than in the studies previously published comparing the effects of vocal load on dysphonic and normophonic

## Etude 4

subjects (Akerlund, 1993; Aronsson et al., 2007; Buekers, 1998; Jilek et al., 2004). In terms of intensity levels, the noise SPL ranges from 64 to 72 dB(A) in day care center environments, and the preschool teachers voice ranges from 71 to 79 dB(A) (Lindstrom et al., 2011). Elementary classroom teachers use a vocal intensity of 77.2 dB SPL (SD = 4.02) (Morrow & Connor, 2011a). These voice levels were collected using an accelerometer attached to the teachers' neck. In the present study, the intensity level of reading was constantly controlled between 70 and 75 dB(A) at 40 cm from the mouth to replicate the protocol used in the second session of our precedent study (Remacle, Finck, et al., 2012)<sup>22</sup>. Because subjects with vocal nodules generally speak louder than normophonic subjects, the intensity level of the reading task had to be loud enough to allow the dysphonic teachers to maintain the target level. The loading task took place in controlled laboratory conditions. Studying vocal load through a prolonged reading without interlocutors or audience may not reflect the reality of teachers' daily voice use. The fact that these experimental conditions differ from the real-life vocal use is discussed in Remacle, Finck, et al. (2012). Also note that prolonged reading task may induce a general fatigue and may be a burden that we cannot control.

Duration [time dose or voicing time (Svec, Popolo, et al., 2003; Titze et al., 2003)], SPL, and F0 of phonation are different factors influencing the mechanical stress applied on the vocal folds. In the present study, the duration and the intensity level of the loading task are controlled, but not the F0. Indeed, we had to reach a compromise between the level of control of the experimental task and the voice production in natural conditions. Nevertheless, it would be interesting to monitor simultaneously the duration, the intensity, and the frequency of the loading task, using devices such as voice dosimeters. We believe that highly controlled laboratory tests as well as studies on field over

---

<sup>22</sup> Etude 2.

longer periods of time, with devices such as voice accumulators, are needed to have a complete view of occupational vocal load in teachers.

The following part of the discussion concerns the questions stated previously, namely: (1) What are the effects of a 2-hour reading task on teachers' voice? and (2) Does the reading task affect differently the pathological teachers from the healthy teachers? These questions are answered in the light of self-ratings, acoustic analyses, and aerodynamic measures.

### **Effects of a 2-hour reading task on teacher's voice**

For recall, a worsening of voice through the reading task is expected, as an effect of the duration. As hypothesized, self-ratings of both groups demonstrate progressive and negative changes during the reading task, from T0 to T4. Subjects report that their voice quality worsens significantly during the reading, whereas phonation effort, vocal fatigue, and laryngeal discomfort increase. After 2 hours of reading (T4), ratings noted by normophonic teachers on a 0–100% VAS are as follows: 66% of voice quality, 43% of vocal effort, 47% of vocal fatigue, and 43% of laryngeal discomfort. At the same time (T4), dysphonic teachers report 42% of voice quality, 62% of vocal effort, 67% of vocal fatigue, and 61% of laryngeal discomfort. Both groups do not reach extremely high values on the VAS, especially the normophonic teachers, suggesting that they probably do not feel at the end of their vocal resources. Identical patterns are observed in a previous study using the same reading task in 50 normophonic women (Remacle, Finck, et. al., 2012). These results corroborate research on vocal load conducted in laboratory. In Solomon and DiMattia (2000), the self-perceived effort for speaking increases after 1 hour of reading in four women and increases further after an additional hour. Kelchner et al. (2006) demonstrate a worsening of the voice quality and an increased



## Etude 4

physical effort to produce the voice after 2 hours of reading in peripubescent boys. Chang and Karnell (2004) found an increased phonatory effort in women after a 2-hour reading task. Laukkanen et al. (2004) showed more throat and voice symptoms after 45 minutes of reading in females. According to Buekers (1998), both patients and controls report significantly more fatigue, pain, and discomfort in the throat after the voice interval test. Finally, most subjective symptoms are reported to increase through five 45-minute reading sessions in 40 females and 40 males (Vintturi et al., 2003). Studies on field are also congruent with the present work observations. At the end of 1 working day, voice quality decreases in customer advisors (Lehto et al., 2006, 2008) and more tiredness of throat is reported by female teachers (Laukkanen et al., 2008).

Concerning the evolution of acoustic parameters, a gradual and significant increase of F0 through vocal loading is observed. This result confirms data in known literature, in both laboratory (Kelchner et al., 2006; Laukkanen et al., 2004; A. Remacle, Finck, et al., 2012; Stemple et al., 1995; Vilkmann et al., 1999) and field conditions (Jonsdottir, Laukkanen, et al., 2002; Laukkanen et al., 2008; Lehto et al., 2006, 2008; Rantala et al., 2002; Sodersten et al., 2002). Physiologically, F0 is regulated by the combined action of laryngeal muscles and lung pressure, influencing the length of the vocal fold, the longitudinal stress in vocal fold tissue, and the tissue density (Titze, 2000). F0 is increased by either increase in muscle stiffness or cover stiffness (Gunter, 2004), directly proportional to the laryngeal muscles and vocal fold tension. On the basis of these physiological principles, F0 rise though vocal load could be a consequence of an increased tension in the larynx and in paralaryngeal areas.

F-Low and F-High measured with the *Voice Range Profile* program also significantly increase through time. F-Low rise is in congruence with a previous study using the same loading task (Remacle, Finck, et al., 2012), whereas no changes are demonstrated in other articles (Kelchner et al., 2006; Stemple et al.,

1995). F-High increase does not corroborate precedent studies where there are no changes after the loading task (Kelchner et al., 2006; A. Remacle, Finck, et al., 2012; Stemple et al., 1995). As in other studies, F-Range does not change with vocal load (Kelchner et al., 2006; A. Remacle, Finck, et al., 2012; Stemple et al., 1995). F-Low and F-High increase is congruent with F0 evolution as described previously. As for F0, F-Low and F-High rise though vocal load may be the consequence of an increased laryngeal tension. Note that F-High improvement can also be the result of learning a suitable strategy to perform the task owing to its repetition every 30 minutes.

I-Low and I-High are both known to be increased with increased F0 (Baken, 1987). Consequently, they are expected to increase through the reading task as F0 rises. When looking at the graph of I-Low (Figure 2H), we can see a slight increase for the healthy group, albeit not statistically significant. Previous studies demonstrate an increase of I-Low after reading aloud in normophonic subjects (Akerlund, 1993; A. Remacle, Finck, et al., 2012; Vintturi et al., 2001b). For the dysphonic group, I-Low decreases slightly, but nonsignificantly (Figure 2H). Akerlund (1993) observes that the lower phonetogram contour (I-Low) significantly rises in dysphonic patients after reading in an 80-dB SPL white noise for 15 minutes. He interprets I-Low rise as a consequence of stiffer vocal folds requiring higher subglottal pressure. Surprisingly, the present study does not demonstrate any significant I-Low evolution through time.

Otherwise, I-High and consequently I-Range significantly increase during the loading task in both groups. I-High evolution is similar to the results of Vintturi et al. (2001b) in 40 women reading 45 minutes, and to the results of Sihvo and Sala (1996) in 10 women reading 5 X 45 minutes. These authors (Sihvo & Sala, 1996) explain the rise of I-High by the learning of a suitable strategy to perform the task or by an increased effort and vocal fold tension. I-High elevation through vocal load could also be explained by modifications in

## Etude 4

the vocal fold tissues and of the supraglottal tract (that we did not measure), or by increased ESP that we indeed observe within the first hour in our study. In other works, no significant differences in I-High are found in dysphonic and normophonic subjects after reading for 15 minutes (Akerlund, 1993), as well as in normophonic women reading for 2 hours (Remacle, Finck, et al., 2012).

In terms of measures collected using the *Voice Range Profile* program, data evolve differently from study to study. This can be owing to: (1) differences in the intensity and duration of the loading tasks and (2) differences in the material and the task used to collect the measures. However, our results differ from those obtained in our previous study on healthy individuals (Remacle, Finck, et al., 2012) using the same loading task and the same material (*Voice Range Profile* program). More experiments would be needed to better understand the impact of a reading task on F-Low, F-High, F-Range, I-Low, I-High, and I-Range. In the present work, I-Low, I-High, and I-Range are collected on a target pitch (262 Hz). It would be interesting to realize a complete voice range profile with measurements of I-Low, I-High, and I-Range through the entire F-Range. Additionally, voice range profile measurements evolution observed in this study could be because of a habituation effect, that is, results improvement because of the task repetition. In further studies, the potential habituation effect could be assessed by including a control group without vocal loading, with subjects recorded every 30 minutes while silently reading.

As far as the stability of voice is concerned, Jitt decreases nonsignificantly, whereas Shim decreases significantly and gradually through a 2-hour reading task. These results are in line with Laukkanen et al. (2008) who report a significant drop in Jitt and Shim after a working day in 79 female teachers. Stemple et al. (1995) also demonstrate a significant decrease in Jitt at high pitch level after a 2-hour reading task in 10 normophonic women. Several studies (Laukkanen et al., 2008; A. Remacle, Finck, et al., 2012; Stemple et al.,

1995) including the present one, show more stability of voice after vocal load. One explanation can be an increased laryngeal tension, leading to the observed F0 rise and to more stability in vocal folds vibration. Jitt is known to decrease as F0 increases (Baken, 1987). In accordance with other data (Niebudek-Bogusz et al., 2007; A. Remacle, Finck, et al., 2012), NHR does not show any significant change. In the light of these results, it is doubtful that NHR is a relevant parameter for studying the evolution of voice through a loading task.

For the aerodynamic measurements, we expected decreased MPT, increased MAR, and increased ESP through the reading task, suggesting a degradation of the voice efficiency. MPT shows the expected decrease within the first 30 minutes. We can hypothesize that MPT decrease is because of a decreased tidal volume or an air leak; tidal volume measurements and videostroboscopic examinations would be needed to confirm these interpretations. As in our previous study (Remacle, Finck, et al., 2012), the lower value of MPT occurs at T1. Unexpectedly, MPT improves progressively but nonsignificantly from T1 to T4, possibly reflecting an adaptation of respiratory muscles and laryngeal apparatus to loading. Other studies describing the evolution of MPT through a loading task are few and do not corroborate our results. Stemple et al. (1995) and Kelchner et al. (2006) do not find any significant modification after a 2-hour reading task at 75–80 dB.

For MAR, statistical analysis fails to demonstrate any significant difference during the loading task. The curves on Figure 3B depict an inconsistent evolution of MAR. Similarly, Stemple et al. (1995) observed no difference of flow rate after 2 hours of reading at 75–80 dB in 10 women. However, Neils and Yairi (1987) find increased mean air flow values after 45 minutes of reading in 50- and 70-dB(A) noise conditions in six women, but not in 90-dB(A) noise condition.

## Etude 4

A significant increase of ESP during the first hour of reading (between T0 and T2) is observed. Afterward, ESP decreases (between T1 and T4, as well as between T2 and T4), possibly reflecting a progressive adaptation of the laryngeal apparatus to loading. Studies generally find an increased ESP through loading tasks, which could be the consequence of more stiffness of the vocal folds (Vilkman et al., 1999; Vintturi et al., 2001b). Increase of ESP is greater in low-humidity conditions than in high-humidity conditions, the viscoelastics of the vocal fold mucosa being supposed to be improved in high humidity conditions (Vintturi et al., 2001b). Solomon and DiMattia (2000) study the phonation threshold pressure, which is the minimal pressure required to initiate vocal fold oscillation. The phonation threshold pressure increases after 2 hours of reading at 75–80 dB in four women. Chang and Karnell (2004) find a relationship between the phonation threshold pressure and the perceived phonatory effort through a 2-hour reading task. Phonation threshold pressure is found to increase in response to vocal fatigue and is therefore presented as an objective index of vocal fatigue. In our study, we can see the same relationship between ESP and self-rated phonatory effort, as both of them rise during the first hour of loading. Afterward, the perceived phonatory effort keep on rising, whereas ESP decreases. Chang and Karnell (2004) suggest that in case of acute fatigue resulting from 2 hours of loud reading, subjects could reach the point where the respiratory muscles or laryngeal muscles get tired, leading to loss of subglottal pressure. In our study, we rather interpret the decrease in ESP since T2 as an adaptation of the vocal apparatus to vocal loading. This explanation is supported by the fact that self-ratings do not reach extremely high values on the VAS, as discussed previously.

In terms of SPL, the present results are in line with previous studies (Laukkanen et al., 2004; Vilkman et al., 1999) showing a rise in SPL after a prolonged oral reading in adult speakers. Similarly to the ESP evolution, SPL significantly rises during the first hour of reading (from T0 to T1 and from T0 to

T2), and then decreases nonsignificantly. In the same way, SPL increases after 1 working day in teachers as a consequence of vocal loading (Jonsdottir, Laukkanen, et al., 2002; Laukkanen et al., 2008).

To sum up, the main effects of a 2-hour reading task on acoustic parameters are an increase of F0, F-Low, F-High, I-High, I-Range, and a decrease of Shim. Given that F0, F-Low, and F-High elevation are observed through the reading task and that laryngeal muscles are primarily responsible for pitch control, increased laryngeal tension is a potential consequence of vocal loading. However, muscle activity measurements would be needed to confirm this hypothesis. When studying the evolution of aerodynamic parameters, the repetition of the measurements during the loading task seems worthwhile. In the present work, we took these measures every 30 minutes during the 2 hours (i.e., five measurements: T0, T1, T2, T3, and T4). Different evolutions are observed from the start to the end of the experiment. MPT decreases after 30 minutes of reading, ESP and SPL increase within the first hour of reading, suggesting a less efficient voice use. Improvement of these measures occurring afterward depicts a possible adaptation of the voice apparatus to the prolonged loading. Previous studies proposed that prolonged period of phonation may lead to changes in the composition of fluids within the vocal folds, resulting in an elevation in the viscosity and stiffness of the folds (Welham & Maclagan, 2003). A greater energy input to initiate and sustain vocal folds vibration would be needed (Welham & Maclagan, 2003), as the increase of ESP that we indeed observed. Vocal folds viscosity and stiffness are not measured in the present article, but a similar study manipulates water intake (presumably hydration level) to influence the tissue viscosity during 2 hours of loud reading (Solomon & DiMattia, 2000). Results show that increased hydration appears to attenuate or delay the elevation of the phonation threshold pressure. However, modification of tissue viscosity as an explanation of our results remains hypothetical; we did not measure it. More

## Etude 4

research is essential to explore modification of tissue viscosity as a consequence of vocal loading.

Although F0, SPL, and ESP elevation are commonly observed as a result of vocal loading, it is not without risks for vocal health. The higher the number of oscillations over time (F0), the higher the mechanical stress applied on the vocal folds (Titze, 1994). Mechanical stress is also positively correlated with driving pressure, which is proportional to voice intensity (Gunter, 2004). Therefore, ESP, SPL, and F0 elevation because of prolonged vocal load increase the mechanical stress of phonation and may contribute to the development of vocal fold tissues traumas. Professional voice users who frequently experience prolonged voice use, such as teachers, are consequently more exposed to vocal load-related disorders.

### **Differences between normophonic and dysphonic teachers**

After observing the general evolution of teachers' voice through a 2-hour reading task, the second question of this study is to determine if normophonic and dysphonic teachers behave differently. Our hypotheses are that the acoustic parameters, aerodynamic measurements, and self-evaluations would be better for the normophonic group than for the dysphonic group before and during the reading task, and that the voice evolution through the loading task would be different in both groups. We assume a quicker and greater degradation of voice in the dysphonic group.

Concerning the subjective self-ratings, the VHI completed before the loading task shows that dysphonic teachers have more complaints than normophonic teachers. This finding is in agreement with the VAS results collected before and during the reading. Indeed, teachers with nodules

systematically perceive more vocal fatigue, phonation effort, and laryngeal discomfort than normophonic teachers. They also note a lower voice quality than healthy teachers. Surprisingly, there is no interaction between duration and group. This means that subjective self-ratings depict a similar evolution of both groups, whereas we expected more degradation of voice through time in the nodular group. Contrary to the present results, Aronsson et al. (2007) do not find any significant difference in self-rated strain between females with nodules and healthy females. These authors' explanation is that patients with vocal nodules do not feel more strain than controls because of their lower sensitivity to strain, and thus they continue to overuse their voices when controls stop. The different results between Aronsson's study and the present one can be explained by the duration of the reading, which is 90 seconds in Aronsson versus 2 hours in the present work. In Buekers (1998), feeling of pain, discomfort, and globus do not differ after a 30-minute voice endurance test between patients with a history of vocal fatigue and controls. However, fatigue increases more in patients than in controls.

Surprisingly, acoustic analyses show no differences between the two groups before and during the loading task, except for F-High and consequently F-Range, which are greater in the normophonic group. F0 is systematically slightly lower for the dysphonic group than for the healthy group (Figure 2A), but statistical test do not show significant differences. These results are congruent with Aronsson's results (2007) after a 90-second reading task. As already known, organically based voice disorders do not appear to have a significant influence on F0 (Baken, 1987), even through a loading task. Concerning the frequency measures collected using the *Voice Range Profile* program, F-High is lower in the dysphonic group than in the normophonic one. Vocal fold tissues cannot vibrate at high frequency because of the increased stiffness owing to the nodular pathology. This inability to reach high pitches results in a lower F-Range in the dysphonic group than in the normophonic one.



## Etude 4

For F-Low, there is an interaction between the group and the duration, meaning that the evolution differ in both groups. From T0 to T1, there is a similar increase of the two groups. Then F-Low continues to increase for the pathological group, whereas the control group shows a nonlinear evolution.

For Jitt and Shim, the same pattern of evolution is observed in both groups, except that dysphonic subjects' voices are less stable than healthy subjects' voices, from T0 to T4. Nevertheless, statistical tests fail to demonstrate any significant difference. As in the study by Buekers (1998), there is no significant difference for NHR between the healthy and the dysphonic subjects. This absence of difference in Jitt, Shim, and NHR between the two groups is surprising because the effects of nodular pathology would be to reduce the tissue pliability and the vocal folds vibratory qualities, leading to irregular vibrations. The nodular pathology was expected to cause some mechanical differences increasing the values of Jitt, Shim, and NHR in the dysphonic group. However, statistical analyses show no group effect and no interaction between duration and group, which means that both groups evolve in the same way.

In terms of aerodynamic measurements, the only group effect is observed for ESP. According to the literature (Aronsson et al., 2007), subjects with nodules use a higher ESP than normophonic subjects at each time of the reading task. More pressure is required to initiate and maintain the vibration of the vocal folds because of their lack of pliability. This also explains the fact that subjects with nodules feel more phonation effort than normophonics. Even if no significant difference is found, SPL values are lower for the dysphonic than for the normophonic teachers. At the same time, ESP is significantly higher in the dysphonic group than in the normophonic one. These observations are congruent with the study of Aronsson et al. (2007): subjects with nodules need more pressure and thus more phonatory effort to achieve a lower voice level than normophonics. Therefore, voice production is less efficient in the nodular group

throughout the reading task. Note that ESP first increases in both groups. The normophonic group reaches their maximum ESP value at T1 and the dysphonic group at T2. Then both groups show a decrease in ESP, suggesting an adaptation of the vocal apparatus. It seems important to emphasize this possible adaptation of the dysphonic teachers to vocal loading.

Finally, vocal nodules are known to cause impaired vocal closure during phonation resulting in air leak, decreased MPT, and increased MAR. However, the present work finds no difference between both groups for MPT and MAR, meaning that they evolve in the same way.

To sum up, when studying the differences between normophonic and dysphonic teachers through vocal load, subjective self-evaluations and objective measurements yield different results. Most acoustic and aerodynamic measurements do not differ between both groups, except F-High, F-Range, and ESP. VHI and VAS results demonstrate more complaints in the dysphonic group. This discrepancy shows that self-assessments and objective measurements are two different and complementary approaches to evaluate the voice, which is multidimensional. Previous studies making correlations between self-assessments and objective measurements of voice give independent results (Hsiung, Pai, & Wang, 2002; Woisard, Bodin, Yardeni, & Puech, 2007), meaning that there is no evident relationship between the patient's perception and objective measures. Consequently, both approaches are necessary to have a complete view of the vocal load effects.

## CONCLUSION

This study observes the effects of a 2-hour reading task on objective analyzes and self-evaluations of voice in 16 normophonic and 16 dysphonic female teachers. The first part of the study addresses the impact of a 2-hour reading task on teachers' voice. As expected, the teachers report that their voice quality worsens significantly during the 2 hours of reading, whereas phonation effort, vocal fatigue, and laryngeal discomfort increase. In terms of acoustic and voice range measurements, F0, F-Low, F-High, I-High, and I-Range progressively increase during the prolonged oral reading, whereas Shim decreases. Aerodynamic measurements depict first a deterioration in voice efficiency: MPT decreases after 30 minutes, whereas ESP and SPL increase within the first hour. Afterward, improvement of these aerodynamic measures suggests an adaptation of both groups to the prolonged loading.

The second part of the study observes the differences between normophonic and dysphonic teachers' voice during the loading task. As expected, subjective self-ratings reveal that dysphonic teachers feel systematically more affected than healthy teachers. However, most objective measurements do not differ between both groups: the only differences observed are lower ESP, higher F-High, and consequently greater F-Range in the normophonic group. Surprisingly, there is no interaction between the duration and the group, meaning that the voice evolution through the loading task is similar for dysphonic and normophonic teachers (except for F-Low). In other words, there is no more or quicker deterioration of voice in the dysphonic group. However, it would be interesting to prolong or repeat the loading task: it is possible that if the reading lasts longer or occurs repeatedly, more differences between both groups would appear. The recovery time after vocal loading should also be examined to determine if the dysphonic group needs more time to recover than the healthy group.

The present study addresses vocal loading using subjective self-ratings, acoustic analysis, and aerodynamic measurements. Some measurements of the muscle activity would be needed to investigate a potential increased laryngeal tension as an effect of vocal loading. In a subsequent study, the impact of vocal load will be examined using perceptual evaluations of expert listeners. Moreover, an analysis of postural, respiratory, and articulatory adaptations would be of great interest.

### **Acknowledgments**

The authors gratefully acknowledge the teachers who took part in the experiment, Professor Etienne Quertemont for statistical advice, and Dr Lionel Lejeune for assistance with the videostroboscopic examinations.

## Etude 5

---

# **Impact d'une tâche de lecture prolongée sur la voix d'enseignantes dysphoniques et normophoniques: Analyse perceptive**

Angélique Remacle<sup>1</sup>, Camille Finck<sup>2</sup>, Lauriane Cesari<sup>1</sup>, et Dominique Morsomme<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université de Liège, Belgique

<sup>2</sup> CHU de Liège et Université de Mons, Belgique

## RESUME

Objectifs : Le but de cette étude est d'évaluer l'impact de 2 heures de charge vocale sur la fonction phonatoire et sur la qualité vocale d'enseignantes normophoniques et dysphoniques à l'aide de l'analyse perceptive.

Méthode : Seize enseignantes normophoniques et seize enseignantes souffrant de nodules vocaux ont effectué une tâche de lecture d'une durée de 2 heures, à 70-75 dB (A). Dix juges experts ont évalué les aspects *pressé* et *soufflé* de la voix à l'aide de jugements comparatifs par paires, afin de déterminer l'effet de la charge vocale et les différences entre les 2 groupes étudiés.

Résultats : La fiabilité inter- et intra-juges varie de très faible à bonne, impliquant une interprétation prudente des résultats. Les jugements perceptifs ne démontrent aucune modification des aspects *pressé* et *soufflé* suite à 2 heures de lecture, tant chez les enseignantes normophoniques que chez les enseignantes dysphoniques. Concernant la comparaison entre les 2 groupes, aucune différence n'est perçue pour les aspects *pressé* et *soufflé*, tant PRE que POST charge vocale.

Conclusion : L'absence de différences significatives suggère que les différences perceptives sont minimales, rendant la tâche particulièrement difficile pour les juges et expliquant sans doute leur manque de fiabilité.

## INTRODUCTION

La charge vocale correspond à la quantité de phonation intégrée par unité de temps (Bottalico & Astolfi, 2012), en termes de durée, d'intensité et de fréquence. L'utilisation vocale prolongée est identifiée comme un facteur de risque de la dysphonie, d'autant plus lorsque l'intensité de la voix est élevée (Chen et al., 2010). La charge vocale est essentiellement étudiée chez les individus pour lesquels la voix est le principal outil de travail, c'est-à-dire les « professionnels de la voix » (Vilkman, 2000). Parmi ceux-ci, notre étude s'intéresse aux enseignants, connus pour avoir une prévalence des troubles vocaux plus élevée que la population générale (Roy, Merrill, Thibeault, Gray, et al., 2004; Roy, Merrill, Thibeault, Parsa, et al., 2004; Sliwinska-Kowalska et al., 2006; Smith et al., 1997; Smith, Lemke, et al., 1998).

Cette étude, tout comme l'étude précédente (étude 4), a pour objectif d'évaluer les effets de la charge vocale chez des enseignantes, en différenciant les sujets normophoniques des sujets dysphoniques. Pour ce faire, 16 enseignantes vocalement saines et 16 enseignantes porteuses de nodules vocaux ont réalisé une tâche de charge vocale en laboratoire, consistant en 2 heures de lecture à 70-75 dB(A). Les questions sous-tendant les études 4 et 5 sont :

- 1) Quel est l'impact de 2 heures de charge vocale sur la voix des enseignantes?
- 2) La charge vocale affecte-t-elle différemment les enseignantes normophoniques et les enseignantes dysphoniques ?

L'étude 4 a testé ces hypothèses via des mesures objectives (analyses acoustiques, phonétogramme et mesures aérodynamiques) et des échelles d'auto-évaluations subjectives (sensations de qualité, d'effort, de fatigue et d'inconfort vocal). Les mesures objectives et les auto-évaluations ont été réalisées avant la charge vocale et toutes les 30 minutes durant la tâche. Consécutivement à la

charge vocale, les mesures acoustiques de F0, de fréquence minimum, de fréquence maximum, d'intensité maximum, et de dynamique d'intensité augmentent, tandis que les valeurs du shimmer diminuent. De même, les auto-évaluations des sensations d'effort, de fatigue, et d'inconfort laryngé augmentent significativement tandis que l'auto-évaluation de la qualité vocale diminue. Les mesures aérodynamiques ont montré une diminution du temps maximum de phonation après les 30 premières minutes ainsi qu'une augmentation de la pression sous-glottique et de l'intensité au cours de la première heure de lecture. Par la suite, une diminution de la pression sous-glottique a été observée. La comparaison des 2 groupes a montré plus de plaintes aux échelles d'auto-évaluation chez les dysphoniques que chez les normophoniques. Les évaluations objectives ont révélé peu de différences entre les deux groupes : les normophoniques utilisent une pression sous-glottique moindre que les dysphoniques, ainsi qu'une fréquence maximum et une étendue fréquentielle plus élevées. En complément des mesures objectives et de l'évaluation subjective des sujets rapportées dans l'étude 4, l'étude actuelle propose une évaluation perceptive des échantillons vocaux récoltés avant (PRE) et après (POST) la tâche de charge vocale.

Cette étude se base donc sur l'analyse perceptive de la voix, qui consiste à évaluer le signal perçu à partir d'une modalité auditive d'entrée. Bien qu'elle comporte des avantages tels que commodité, économie et utilité tant en clinique qu'en recherche (Kent, 1996), l'analyse perceptive reste difficile à maîtriser en raison de son caractère subjectif, de son manque de sensibilité et de reproductibilité dans le temps. Plusieurs études ont mis en évidence un manque de fiabilité dû à la variabilité intra-auditeurs ou inter-auditeurs (Bele, 2005; Kreiman & Gerratt, 2000; Kreiman et al., 1993; Kreiman et al., 1992). Ce manque de fiabilité peut être expliqué par des facteurs liés au juge, par des facteurs liés à la tâche, ou encore par des effets d'interaction entre ces deux



## Etude 5

types de facteurs (Kreiman et al., 1993). Le manque de fiabilité lié aux juges s'explique d'une part par le fait qu'ils utilisent des stratégies différentes, et d'autre part par le fait que chaque juge a ses propres standards auditifs internes auxquels il compare les stimuli à analyser (Kreiman et al., 1993). En effet, les auditeurs développent des standards internes individuels, variables, et instables, selon leur expérience dans le domaine de la voix (Eadie & Baylor, 2006). Le manque de fiabilité lié à la tâche dépend, quant à lui, du type d'échelle, de la résolution de l'échelle, des échantillons vocaux ou encore du contexte d'écoute (Kreiman et al., 1993).

Il existe diverses méthodes d'analyse perceptive, dont les échelles à égalité d'intervalles, parmi lesquelles l'échelle GRBAS d'Hirano (1981b) est la plus connue. Malgré l'usage généralisé de ces échelles d'analyse perceptive en clinique, leur principale faiblesse est le manque de fiabilité intra- et inter-juges causé par la variabilité des référents internes prototypiques. Selon Teston (2004), la fiabilité peut être améliorée si l'évaluation perceptive se fait en mode comparatif, avec possibilité de passage instantané entre les échantillons à juger. La comparaison peut avoir lieu entre le stimulus à juger et un référent externe explicite (échelle à ancrage), ou entre deux échantillons vocaux (jugement comparatif par paires).

En 2005, Kacha, Grenez et Schoentgen ont montré que la méthode de jugements comparatifs par paires de stimuli permet une amélioration de la fiabilité intra- et inter-juges en comparaison avec l'échelle GRBAS, tant pour des juges naïfs qu'experts. L'utilisation du jugement comparatif par paires implique que les juges n'ont pas recours à leurs référents internes prototypiques puisqu'ils comparent deux échantillons vocaux entre eux, le premier échantillon écouté servant de référence à laquelle est comparé le second (Kreiman et al., 1992). Dans cette cinquième étude (tout comme dans l'étude 3), nous avons

opté pour cette méthode d'analyse perceptive, afin d'optimiser la fiabilité des jugements. De plus, les comparaisons par paires semblent adaptées à notre objectif qui est de comparer un sujet à lui-même PRE et POST charge vocale.

Dans ce travail, l'analyse perceptive a été réalisée par un jury d'experts. Nous avons demandé aux juges de se focaliser sur les aspects « *pressé* » et « *soufflé* » de la voix, afin de déterminer si ces aspects varient au cours de la charge vocale, ainsi qu'en fonction du groupe étudié. Le *souffle* est une caractéristique de la qualité vocale largement évaluée en clinique notamment par le B (« *Breathiness* ») de l'échelle perceptuelle GRBAS d'Hirano (1981b), tandis que l'aspect *pressé* se rapproche du S (« *Strain* ») de cette même échelle. La voix *pressée* et la voix *soufflée* sont les 2 extrêmes d'un même continuum (Titze, 2000). L'adduction glottique affecte le mode de phonation, et donc le degré des aspects *soufflé* et *pressé* perçus dans la voix (Sundberg et al., 2004). La voix *pressée* ou « *pressed voice* » est un mode de phonation caractérisé par un excès d'adduction des plis vocaux (hyperadduction). A l'opposé, la voix soufflée est caractérisée par un manque d'adduction (hypoadduction). Dans la littérature, il n'y a pas de consensus concernant l'effet de la charge vocale sur l'adduction glottique. Certaines études suggèrent une augmentation de l'adduction (Lauri et al., 1997; Vilkman et al., 1999; Vintturi et al., 2001b), tandis que d'autres tendent à démontrer l'inverse (Gelfer et al., 1996; Solomon & DiMattia, 2000; Stemple et al., 1995).

Les questions auxquelles nous avons tenté de répondre via l'analyse perceptive sont :

- 1) La voix est-elle plus *pressée* suite à la charge vocale ?
- 2) La voix est-elle plus *soufflée* suite à la charge vocale ?
- 3) La voix est-elle plus *pressée* chez les sujets dysphoniques que chez les sujets normophoniques ?

4) La voix est-elle plus *soufflée* chez les sujets dysphoniques que chez les sujets normophoniques ?

## MATERIEL ET METHODE

### La charge vocale

#### Participants

Les locutrices ayant réalisé la tâche de charge vocale ont été décrites dans l'étude 4. Il s'agit de 32 enseignantes ayant subi une vidéolaryngostroboscopie (EndoSTROBStroboscop; Xion gmbH, Berlin, Germany) et une anamnèse approfondie avant de prendre part à l'expérience, afin d'établir le diagnostic. Elles ont ensuite été réparties en deux groupes. Le premier groupe comporte 16 enseignantes dysphoniques, atteintes de nodules vocaux (âge moyen: 33,8 ans, DS: 8,64, étendue: 21,6–51,3). Le second groupe est constitué de 16 enseignantes normophoniques (âge moyen: 34,1 ans, DS: 8,02, étendue: 22,7–51,2), n'ayant aucune pathologie, plainte ou histoire de trouble vocal. Chaque enseignante dysphonique a été appariée avec une enseignante normophonique selon l'âge. Les 2 groupes sont homogènes concernant l'âge des participantes ( $t$  de Student = 0,13,  $dl = 30$ ,  $p = 0,90$ ), leur nombre d'années d'expérience ( $t$  de Student = -0,67,  $dl = 30$ ,  $p = 0,51$ ) et leur nombre d'heures de travail par semaine ( $t$  de Student = -1,13,  $dl = 30$ ,  $p = 0,27$ ). Une description des 2 groupes d'enseignantes est présentée dans le Tableau 1 de l'étude 4.

### **Description de la tâche de charge vocale**

La tâche de charge vocale consistait à lire un roman (Vargas, 2002) à voix haute, pendant 2 heures. Les enseignantes devaient lire comme si elles s'adressaient à leurs élèves en classe. A l'aide d'un décibel-mètre (DVM805; Velleman, China) placé à une distance de 40 cm des lèvres, nous avons constamment contrôlé l'intensité vocale afin qu'elle soit comprise entre 70 et 75 dB(A). Si l'intensité cible n'était pas respectée, nous encourageons l'enseignante à effectuer les modifications nécessaires. Lors de la lecture, les participantes étaient assises dans une pièce calme (bruit environnant < 30 dB(A)). L'humidité relative était contrôlée avec un hygromètre (P600; Dostmann Electronic, Wertheim-Reicholzheim, Germany) à 30% ± 10%. Toutes les 30 minutes, les participantes étaient encouragées à boire un verre d'eau. Durant la tâche de lecture, des pauses ont été effectuées toutes les 30 minutes afin de récolter les mesures objectives et subjectives présentées dans l'étude 4. La durée du testing (charge vocale et évaluations) était de 3 heures par participante. Chaque enseignante était testée un jour où elle ne travaillait pas afin d'éviter toute surcharge vocale.

### **Matériel et procédure d'enregistrement des échantillons vocaux**

L'acquisition des échantillons vocaux a été réalisée dans une cabine insonorisée de 213 X 194 X 219 cm, au sein du service d'ORL du CHU de Liège. Les enregistrements ont été réalisés avec le logiciel Computer Speech Lab (Kay Elemetrics, Lincoln Park, NJ) ainsi qu'un micro-casque (AKG C420; Harman, Stamford, CT, USA) d'une étendue fréquentielle de 20 à 20 000 Hz, placé à une distance de 7 cm des lèvres. L'analyse perceptive porte sur les échantillons vocaux récoltés avant (PRE) et après (POST) les 2 heures de charge vocale.

## **Le jugement perceptif**

### **Les échantillons vocaux**

Le matériel vocal utilisé pour le jugement perceptif est la voyelle /a/ produite à intensité et fréquence confortables, ainsi que la phrase « *A cet instant, Vick sortit contempler le jour naissant* »<sup>23</sup>, lue à fréquence et intensité confortables. Concernant la voyelle tenue, nous avons sélectionné l'attaque suivie d'une seconde de phonation. La sélection et le découpage des échantillons ont été réalisés à l'aide du logiciel libre PRAAT, conçu par Paul Boersma et David Weenink (Phonetic Sciences, University of Amsterdam, The Netherlands).

Les échantillons vocaux des 32 locutrices ont ensuite été classés dans 4 fichiers différents :

- 1) Echantillons PRE charge pour le groupe normophonique (NormoPRE)
- 2) Echantillons POST charge pour le groupe normophonique (NormoPOST)
- 3) Echantillons PRE charge pour le groupe dysphonique (DysPRE)
- 4) Echantillons POST charge pour le groupe dysphonique (DysPOST)

### **Tâches de jugement perceptif**

Les jugements perceptifs ont été réalisés selon une méthode de jugements comparatifs par paires de stimuli. La présentation des échantillons vocaux à juger ainsi que le calcul des scores ont été effectués à l'aide du logiciel Pairwise,<sup>24</sup> mis au point par Ali Alpan (Laboratoires d'Images, Signaux et Dispositifs de Télécommunications, Université Libre de Bruxelles). Le logiciel crée les comparaisons deux à deux entre les stimuli introduits, de telle sorte que chaque locutrice est comparée à elle-même pour les tâches évaluant l'effet de la

---

<sup>23</sup> Phrase issue de la lecture d'un texte phonétiquement équilibré, fourni dans l'annexe 4.

<sup>24</sup> L'interface du logiciel est présentée dans l'annexe 5.

charge vocale (comparaisons PRE et POST charge vocale). L'ordre de présentation randomisé des échantillons est différent pour tous les juges. Pour les tâches évaluant l'effet du groupe, chaque locutrice normophonique est comparée à la locutrice dysphonique à laquelle elle a été appariée. Le Tableau 1 présente les 16 tâches de jugements comparatifs par paires mises au point à partir des 4 fichiers créés précédemment.

Tableau 1. Description des 16 tâches de jugements par paires

Tâches	Echantillons comparés	Matériel utilisé	Aspect évalué	Nombre de paires
Tâche 1	NormoPRE vs NormoPOST	Voyelle	Pressé	16
Tâche 2	NormoPRE vs NormoPOST	Texte	Pressé	16
Tâche 3	NormoPRE vs NormoPOST	Voyelle	Soufflé	16
Tâche 4	NormoPRE vs NormoPOST	Texte	Soufflé	16
Tâche 5	DysPRE vs DysPOST	Voyelle	Pressé	16
Tâche 6	DysPRE vs DysPOST	Texte	Pressé	16
Tâche 7	DysPRE vs DysPOST	Voyelle	Soufflé	16
Tâche 8	DysPRE vs DysPOST	Texte	Soufflé	16
Tâche 9	NormoPRE vs DysPRE	Voyelle	Pressé	16
Tâche 10	NormoPRE vs DysPRE	Texte	Pressé	16
Tâche 11	NormoPRE vs DysPRE	Voyelle	Soufflé	16
Tâche 12	NormoPRE vs DysPRE	Texte	Soufflé	16
Tâche 13	NormoPOST vs DysPOST	Voyelle	Pressé	16
Tâche 14	NormoPOST vs DysPOST	Texte	Pressé	16
Tâche 15	NormoPOST vs DysPOST	Voyelle	Soufflé	16
Tâche 16	NormoPOST vs DysPOST	Texte	Soufflé	16

## Etude 5

Pour les tâches concernant l'aspect *pressé* (1, 2, 5, 6, 9, 10, 13 et 14), les juges étaient invités à répondre à la question « selon vous, quelle est la voix la plus pressée ? ». Pour les tâches concernant l'aspect *soufflé* (3, 4, 7, 8, 11, 12, 15 et 16), ils étaient invités à répondre à la question « selon vous, quelle est la voix la plus soufflée ? ». Ainsi, l'objectif était de déterminer pour quel échantillon les paramètres *pressé* et *soufflé* étaient les plus présents, et non de quantifier ces paramètres dans les échantillons à juger. Les auditeurs pouvaient écouter les échantillons autant de fois que souhaité avant de cliquer sur le bouton correspondant à leur réponse. Notons que les juges devaient impérativement faire un choix entre les deux sons proposés. Aucune possibilité ne leur était donnée de répondre que les voix étaient similaires quant à l'aspect à évaluer, ou encore qu'il n'était pas perçu dans les échantillons proposés. Il s'agit donc d'un choix forcé.

Quatre séries de jugements entrecoupées de pauses ont été effectuées, celles-ci sont décrites dans le Tableau 2. La programmation a été réalisée par l'expérimentateur préalablement à la passation de chaque série, soit 4 fois au total. Durant les jugements perceptifs, les juges étaient invités à respecter leur rythme et à demander des pauses dès les premiers signes de perte d'attention ou de fatigue. Par ailleurs, une pause de 2 à 3 minutes a été imposée à chaque changement de série, c'est-à-dire toutes les 15 minutes environ. Une fois la série de jugements perceptifs terminée, le logiciel générait un fichier Excel comprenant les réponses du juge ainsi que l'ordre dans lequel les paires ont été présentées.

Tableau 2. Présentation des 4 séries de jugements proposées à chaque juge

Série	Durée	Matériel	Question posée	Tâches
1	15 min	Voyelle	Quelle est la voix la plus pressée ?	1, 5, 9, 13
2	15 min	Texte	Quelle est la voix la plus pressée ?	2, 6, 10, 14
3	15 min	Voyelle	Quelle est la voix la plus soufflée ?	3, 7, 11, 15
4	15 min	Texte	Quelle est la voix la plus soufflée ?	4, 8, 12, 16

Toutes les tâches ont été effectuées sur un ordinateur portable (Toshiba Satellite U500-11E), avec un casque d'une étendue fréquentielle de 18 à 18 000 Hz (Sennheizer HD 202 ; Sennheiser electronic GmbH & Co. KG, Wedemark, Germany). L'intensité a été fixée à un niveau confortable par chaque juge. Les sessions d'écoute ont eu lieu de manière individuelle, dans une pièce calme (au domicile ou sur le lieu de travail des juges). L'expérimentateur était systématiquement présent afin de fournir les consignes, de vérifier leur bonne compréhension, de programmer les tâches et de sauvegarder les résultats.

Avant chaque passation, des explications écrites de la tâche ainsi qu'une définition des paramètres à évaluer étaient fournies aux juges (voir annexes 6 et 7). Les paramètres vocaux étudiés ont été définis avec précision à l'aide d'aspects physiologiques et acoustiques, dans le but d'accorder les réalités perceptives des juges.

Afin d'évaluer le niveau d'accord entre les différents juges (fiabilité inter-juges), les mêmes tâches composées des mêmes échantillons vocaux ont été soumises à tous les juges. Enfin, pour évaluer le niveau d'accord intra-juges, chaque juge a réalisé deux sessions d'écoute (test et retest), composées des 16 tâches chacune. Un intervalle de 7 à 14 jours a été respecté entre le test et le retest. Cette procédure a permis d'évaluer la stabilité des jugements dans le temps.



### Juges

Notre jury se compose de 10 juges experts âgés de 25 à 60 ans (âge moyen = 36 ans). Les juges experts sont définis comme des personnes ayant des connaissances théoriques et une expérience pratique régulière dans le domaine de l'analyse perceptive de la voix. Parmi ces 10 juges, 8 sont logopèdes et 2 sont ORL spécialisés dans les troubles de la voix. Ils sont tous francophones, n'ont pas de problème d'audition et sont naïfs par rapport aux hypothèses de l'étude. Le Tableau 3 comprend la description de juges.

Tableau 3. Description des juges

Juge	Sexe	Age	Profession (années d'expérience)	Pratique musicale (nombre d'années)
J1	F	25	Logopède (2)	/
J2	F	25	Logopède (1)	Solfège (12) Violon (12) Chant (10) Piano (5)
J3	F	26	Logopède (2)	Chant (6)
J4	F	26	Logopède (2)	Solfège (6) Piano (5) Chant (3)
J5	F	31	Logopède (3)	Piano (27) Chant (5) Chef de chœur (2) Violoncelle (2)

## PARTIE EXPERIMENTALE

J6	F	44	Logopède (4) Artiste lyrique (20)	Chant (20) Solfège (6) Guitare (5) Piano (2)
J7	F	45	Logopède (20)	Flûte traversière (25) Chant (15)
J8	F	60	Logopède (37)	Solfège (4) Piano (4) Guitare (1) Chant (1)
J9	M	29	ORL (5)	Flûte traversière (20) Solfège (6) Chant (1)
J10	F	51	ORL (27)	Chant (1/2) Piano (2)

---

### Statistiques

Pour les 16 tâches, les résultats de chaque juge ont été encodés dans un tableau Excel. L'ensemble des données a été traité avec le logiciel Statistica (version 10, StatSoft Inc, Tulsa, OK).

Le coefficient **kappa de Cohen** a été utilisé afin de tester la fiabilité intra-juges, c'est à dire pour chiffrer l'accord entre les jugements perceptifs effectués au test et au retest. En effet, le Kappa permet de mesurer l'accord entre 2 variables qualitatives (test et retest) ayant les mêmes modalités. Le coefficient **kappa de Fleiss** a été utilisé pour tester la fiabilité inter-juges, c'est-à-dire pour chiffrer l'accord entre les jugements perceptifs effectués par les différents juges.

## Etude 5

Il permet de mesurer l'accord entre plusieurs évaluateurs réalisant une évaluation qualitative ayant les mêmes modalités. La valeur du Kappa est toujours comprise entre -1 et 1. Pour son interprétation, nous avons utilisé le classement établi par Landis et Koch (1977) (voir Tableau 4).

Tableau 4. Classement de l'accord en fonction du coefficient Kappa

Statistique Kappa	Degré d'accord
< 0,00	Très faible
0,00 – 0,20	Faible
0,21 – 0,40	Acceptable
0,41 – 0,60	Modéré
0,61 – 0,80	Bon
0,81 – 1,00	Très bon

Note : les codes de couleur permettent l'interprétation des valeurs du Kappa.

Enfin, dans le but d'étudier l'effet de la charge vocale sur les aspects *pressé* et *soufflé*, et de déterminer si ces aspects diffèrent dans les 2 groupes étudiés, une analyse des réponses données par les juges à chacune des tâches du test a été effectuée. Pour chaque tâche, la moyenne des réponses données par les 10 juges a été calculée pour les 2 choix possibles, puis transformée en pourcentages. Cette moyenne (en pourcentages) a ensuite été comparée à un standard de 50%. L'objectif est de déterminer s'il existe une différence entre la moyenne des réponses des juges et une répartition identique entre les 2 choix de réponses possibles (soit un niveau de chance de 50% pour chaque choix). Le test de **comparaison d'une moyenne à un standard** éprouve l'hypothèse nulle selon laquelle la moyenne est égale à 50%. Le seuil de la probabilité de dépassement est fixé à  $p = 0,05$ .

## RESULTATS

### Fiabilité intra-juges

Les valeurs du Kappa de Cohen indiquent que l'accord entre les réponses données par les juges au test et au retest varie entre *très faible* et *bon* (voir Tableau 5). On relève de légères différences entre les tâches, sans pour autant pouvoir dégager de tendance générale quant à l'aspect évalué (*pressé* vs *soufflé*), ni quant au matériel phonétique utilisé (*voyelle* vs *texte*). La majorité des juges obtiennent le meilleur accord test-retest à la tâche 3 (souffle NormoPRE vs NormoPOST jugé sur les voyelles) et à la tâche 7 (souffle DysPRE vs DysPOST jugé sur les voyelles). La majorité des juges obtiennent le moins bon accord test-retest pour les tâches 8 (souffle DysPRE vs DysPOST jugé sur le texte) et 13 (pressé NormoPOST vs DysPOST jugé sur les voyelles). Globalement, les différences entre les 10 juges sont peu marquées.

Tableau 5. Valeurs du Kappa de Cohen pour les 10 juges

Tâches	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10
Tâche 1	0,000	0,125	-0,125	-0,159	0,000	0,059	-0,241	-0,375	0,355	0,125
Tâche 2	0,200	0,250	0,375	0,213	-0,333	-0,375	-0,263	-0,194	0,059	0,375
Tâche 3	0,020	0,238	0,125	0,000	0,176	-0,194	0,500	-0,375	0,355	0,310
Tâche 4	-0,125	0,072	0,250	0,097	-0,270	-0,067	0,125	0,000	-0,250	0,250
Tâche 5	-0,067	0,475	-0,576	0,015	-0,241	0,310	0,059	0,045	-0,477	0,000
Tâche 6	-0,333	0,059	-0,250	0,034	0,394	0,097	0,067	0,200	-0,375	-0,125
Tâche 7	0,125	0,151	0,250	-0,333	0,500	0,000	0,200	0,125	0,200	-0,091
Tâche 8	0,375	-0,161	0,127	-0,333	-0,161	-0,164	-0,486	-0,029	-0,049	0,394
Tâche 9	0,261	0,250	-0,029	-0,125	0,394	0,238	0,261	-0,375	-0,250	-0,333
Tâche 10	0,151	-0,111	0,034	0,067	-0,375	-0,161	0,310	0,429	-0,037	0,375
Tâche 11	-0,125	0,000	0,045	-0,241	0,429	0,125	-0,600	0,151	-0,391	-0,067
Tâche 12	0,238	-0,125	0,015	0,097	-0,125	0,143	-0,250	-0,067	0,034	-0,517
Tâche 13	-0,091	-0,176	-0,231	-0,029	-0,125	-0,500	-0,270	-0,194	0,034	0,355
Tâche 14	0,097	0,213	-0,059	0,000	0,259	-0,333	0,250	-0,200	0,355	-0,059
Tâche 15	0,294	0,151	0,746	0,000	0,015	-0,067	0,151	0,176	-0,375	0,015
Tâche 16	0,355	0,529	-0,250	-0,067	-0,016	-0,161	0,429	-0,433	0,000	0,213

Note : les codes de couleur sont issus du Tableau 4 et permettent l'interprétation des valeurs du Kappa.

**Fiabilité inter-juges**

Les valeurs du Kappa de Fleiss indiquent un accord *très faible* pour 10 tâches et un accord *faible* pour 6 tâches (voir Tableau 6). Aucune tâche ne se démarque des autres en obtenant une fiabilité inter-juges plus importante. La fiabilité inter-juges est similaire pour les 2 aspects évalués (*pressé* et *soufflé*), ainsi que selon le matériel phonétique utilisé (voyelle et texte). On ne relève pas de différence entre les jugements des voix normales et des voix dysphoniques.

Tableau 6. Valeurs du Kappa de Fleiss

Tâches	Valeur du Kappa de Fleiss
Tâche 1	0,051
Tâche 2	-0,006
Tâche 3	0,066
Tâche 4	-0,002
Tâche 5	-0,012
Tâche 6	0,014
Tâche 7	-0,001
Tâche 8	-0,027
Tâche 9	0,059
Tâche 10	0,051
Tâche 11	-0,020
Tâche 12	-0,006
Tâche 13	0,007
Tâche 14	-0,027
Tâche 15	-0,036
Tâche 16	-0,023

Notes : les codes de couleur sont issus du Tableau 4.

## **Effet de 2 heures de charge vocale sur la voix des enseignantes**

### **Groupe normophonique**

Les résultats aux **tâches 1 et 2** montrent que 51,9% des voyelles et 57,2% des textes sont jugés plus *pressés* PRE charge que POST charge dans le groupe normophonique (voir Figure 1). L'hypothèse nulle testée est que l'aspect *pressé* PRE charge est égal à 50%. L'acceptation de cette hypothèse tant pour les voyelles ( $p = 0,709$ ) que pour le texte ( $p = 0,075$ ) signifie qu'il n'y a pas de différence significative concernant l'aspect *pressé* entre les voix PRE et POST charge vocale.

Pour les **tâches 3 et 4**, 51,2% des voyelles et 52,5% des textes sont jugés plus *soufflés* PRE charge que POST charge dans le groupe normophonique (voir Figure 1). L'hypothèse nulle testée est que l'aspect *soufflé* PRE charge est égal à 50%. L'acceptation de cette hypothèse tant pour les voyelles ( $p = 0,812$ ) que pour le texte ( $p = 0,544$ ) signifie qu'il n'y a pas de différence significative concernant l'aspect *soufflé* entre les voix PRE et POST charge vocale.

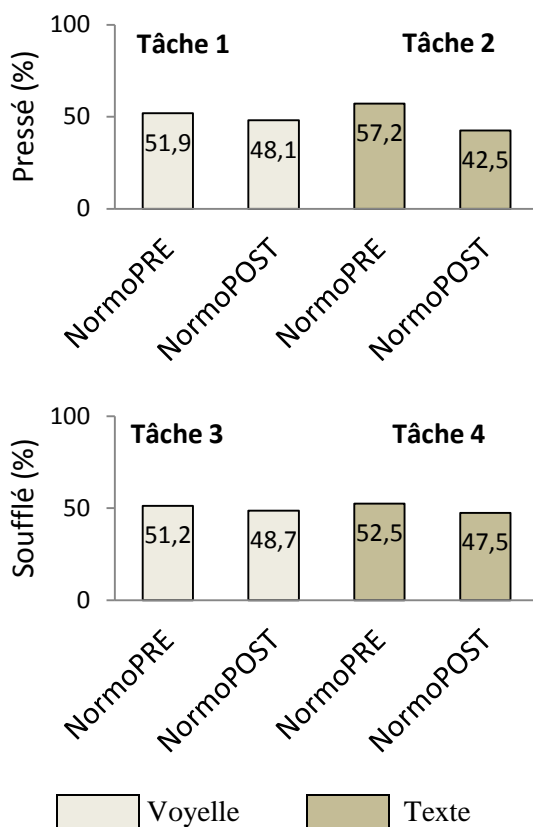


Figure 1. Effet de 2 heures de charge vocale sur l'aspect *pressé* de la voix (tâches 1 et 2) et sur l'aspect *soufflé* de la voix (tâches 3 et 4) pour le groupe normophonique.

### Groupe dysphonique

Les résultats aux **tâches 5 et 6** montrent que 46,9% des voyelles et 50,6% des textes sont jugés plus *pressés* PRE charge que POST charge dans le groupe dysphonique (voir Figure 2). L'hypothèse nulle testée est que l'aspect *pressé* PRE charge est égal à 50%. L'acceptation de cette hypothèse tant pour les voyelles ( $p = 0,429$ ) que pour le texte ( $p = 0,887$ ) signifie qu'il n'y a pas de différence significative de l'aspect *pressé* entre les voix PRE et POST charge vocale.



## Etude 5

Pour les **tâches 7 et 8**, 51,2% des voyelles et 54,4% des textes sont jugés plus *soufflés* PRE charge que POST charge dans le groupe dysphonique (voir Figure 2). L'hypothèse nulle testée est que l'aspect *soufflé* PRE charge est égal à 50%. L'acceptation de cette hypothèse tant pour les voyelles ( $p = 0,763$ ) que pour le texte ( $p = 0,234$ ) signifie qu'il n'y a pas de différence significative concernant l'aspect *soufflé* des voix PRE et POST charge vocale.

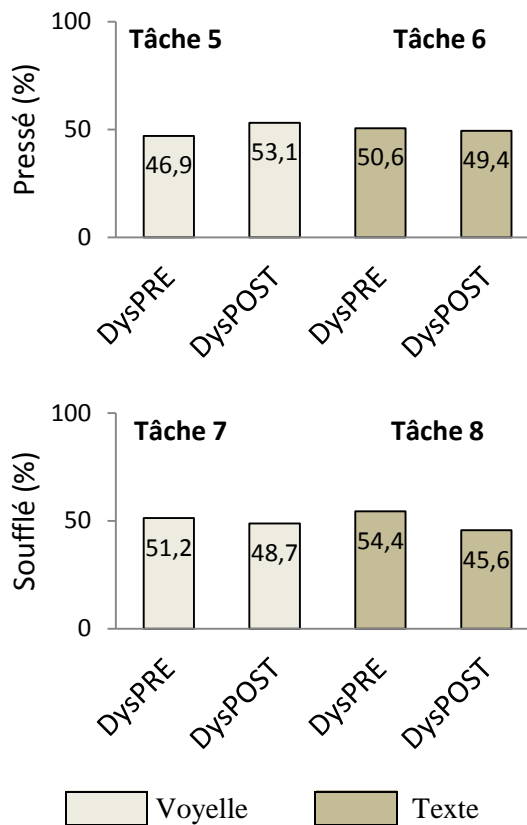


Figure 2. Effet de 2 heures de charge vocale sur l'aspect *pressé* de la voix (tâches 5 et 6) et sur l'aspect *soufflé* de la voix (tâches 7 et 8) pour le groupe dysphonique.

## Différences entre les enseignantes normophoniques et dysphoniques

### PRE charge vocale

Les résultats aux **tâches 9 et 10** montrent que 52,5% des voyelles et 56,9% des textes récoltés PRE charge vocale sont jugés plus *pressés* pour le groupe normophonique que pour le groupe dysphonique (voir Figure 3). L'hypothèse nulle testée est que l'aspect *pressé* PRE charge pour le groupe normophonique est égal à 50%. L'acceptation de cette hypothèse tant pour les voyelles ( $p = 0,627$ ) que pour le texte ( $p = 0,180$ ) signifie qu'il n'y a pas de différence significative concernant l'aspect *pressé* PRE charge vocale entre les 2 groupes d'enseignantes.

Pour les **tâches 11 et 12**, 50,6% des voyelles et 57,5% des textes récoltés PRE charge vocale sont jugés plus *soufflés* pour le groupe normophonique que pour le groupe dysphonique (voir Figure 3). L'hypothèse nulle testée est que l'aspect *soufflé* PRE charge pour le groupe normophonique est égal à 50%. L'acceptation de cette hypothèse tant pour les voyelles ( $p = 0,868$ ) que pour le texte ( $p = 0,075$ ) signifie qu'il n'y a pas de différence significative concernant l'aspect *soufflé* PRE charge vocale entre les 2 groupes d'enseignantes.

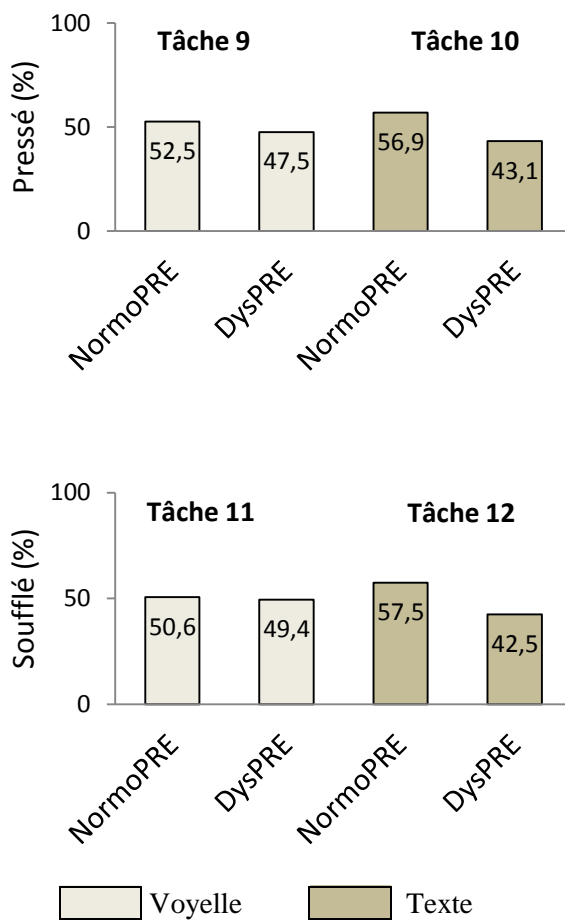


Figure 3. Différences entre les 2 groupes pour l'aspect *pressé* de la voix (tâches 9 et 10) et pour l'aspect *soufflé* de la voix (tâches 11 et 12) PRE charge vocale.

**POST charge vocale**

Les résultats aux **tâches 13 et 14** montrent que 55% des voyelles et 45,6% des textes récoltés PRE charge vocale sont jugés plus *pressés* pour le groupe normophonique que pour le groupe dysphonique (voir Figure 4). L'hypothèse nulle testée est que l'aspect *pressé* PRE charge pour le groupe normophonique est égal à 50%. L'acceptation de cette hypothèse tant pour les voyelles ( $p = 0,250$ ) que pour le texte ( $p = 0,234$ ) signifie qu'il n'y a pas de différence significative concernant l'aspect *pressé* PRE charge vocale entre les 2 groupes d'enseignantes.

Pour les **tâches 15 et 16**, 47,5% des voyelles et 51,25% des textes récoltés PRE charge vocale sont jugés plus *soufflés* pour le groupe normophonique que pour le groupe dysphonique (voir Figure 4). L'hypothèse nulle testée est que l'aspect *soufflé* PRE charge pour le groupe normophonique est égal à 50%. L'acceptation de cette hypothèse tant pour les voyelles ( $p = 0,468$ ) que pour le texte ( $p = 0,736$ ) signifie qu'il n'y a pas de différence significative concernant l'aspect *soufflé* PRE charge vocale entre les 2 groupes d'enseignantes.

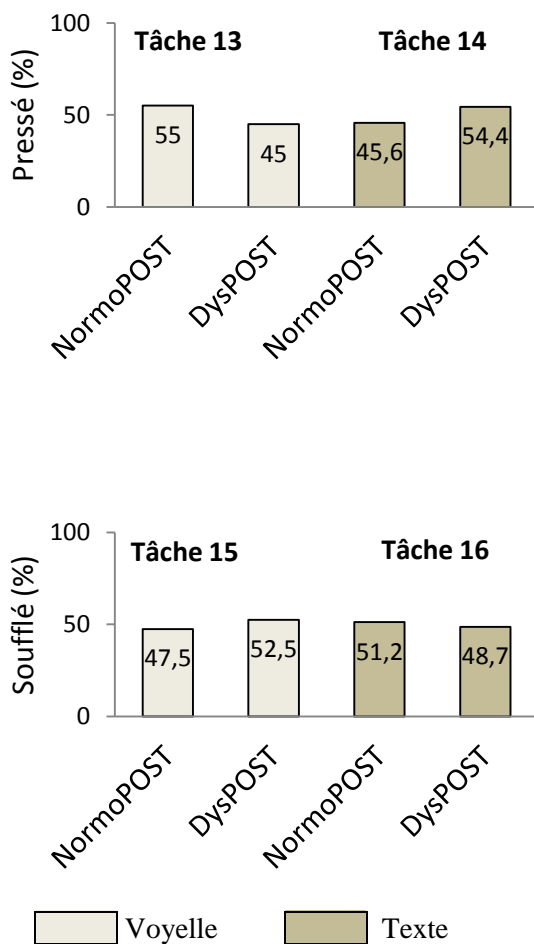


Figure 4. Différences entre les 2 groupes pour l'aspect *pressé* de la voix (tâches 13 et 14) et pour l'aspect *soufflé* de la voix (tâches 15 et 16) POST charge vocale.

## DISCUSSION

### Aspects méthodologiques

Dans cette étude, nous avons utilisé l'analyse perceptive pour évaluer les effets de 2 heures de charge vocale sur la voix d'enseignantes normophoniques et dysphoniques. Ces résultats sont complémentaires aux analyses objectives et aux auto-évaluations rapportées dans l'étude 4. Nos objectifs étaient de déterminer l'impact de la charge vocale sur les aspects *pressé* et *soufflé* de la voix. Pour ce faire, les voix de 16 enseignantes normophoniques et de 16 enseignantes dysphoniques ont été évaluées par 10 juges experts avant et après 2 heures de lecture à 70-75dB(A).

Dans la littérature, nous avons relevé une seule étude au design semblable, proposant une analyse perceptive des changements consécutifs à la charge vocale en différenciant des sujets normophoniques et des sujets dysphoniques (Sherman & Jensen, 1962). Les auteurs de cette étude ont évalué les effets d'1H30 de lecture à voix conversationnelle suivie de 30 minutes de silence chez 15 hommes présentant une voix normale, et chez 15 hommes présentant une voix rauque. Le jugement perceptif a été réalisé sur la lecture d'un texte standardisé (« The Rainbow Passage ») avant la tâche de lecture (T1), après 45 minutes de lecture (T2), après 1H30 de lecture (T3) et après 30 minutes de silence (T4). Trente-deux logopèdes ont évalué le degré de raucité de chaque échantillon vocal ( $N = 120$ ) à l'aide d'une échelle à 7 intervalles allant de 1 (peu de raucité) jusque 7 (beaucoup de raucité). De manière assez inattendue, les résultats des sujets ayant une voix normale montraient une diminution de la raucité entre T1 et T2, et entre T1 et T3, puis une augmentation de la raucité entre T3 et T4 pour revenir au niveau initial de raucité observé à T1. Pour les sujets ayant une voix rauque, aucune différence significative n'a été mise en évidence.

### **Fiabilité intra-juges et inter-juges**

Dans cette étude, nous avons utilisé une méthode de jugements comparatifs, permettant la discrimination d'un paramètre vocal parmi 2 échantillons proposés. Nous espérons ainsi éviter les biais liés à la comparaison aux standards internes propres à chaque juge, et donc améliorer la fiabilité des jugements.

Pour les 16 tâches, le Kappa de Cohen indique un **accord intra-juges** qui varie de très faible à bon entre le test et le retest. On relève de légères différences entre les juges. Le juge présentant la meilleure fiabilité globale a 1 année d'expérience dans le domaine de la voix (J2), tandis que le juge présentant la moins bonne fiabilité globale a 37 années d'expérience (J8). Ces données vont dans le même sens que celles de l'étude 3, et confirment le fait qu'il n'y a pas de relation entre la fiabilité d'un juge et son degré d'expérience professionnelle (De Bodt et al., 1997; Fraj et al., 2011; Kreiman et al., 1993). Bien que l'accord intra-juges soit peu élevé, nous avons gardé les réponses de tous les juges pour effectuer l'analyse des résultats. En effet, le peu de différences concernant les niveaux de fiabilité intra-juges ne nous a pas permis d'identifier certains sujets comme étant nettement moins fiables. En ce qui concerne la **fiabilité inter-juges**, les résultats montrent un accord allant de faible à très faible pour les 16 tâches. Notons que nous avons rencontré des problèmes de fiabilité intra- et inter-juges similaires dans l'étude 3, dont les objectifs étaient de déterminer l'impact de la durée et de l'intensité de 2 heures de charge vocale sur les aspects *pressé* et *soufflé* de la voix chez 50 locutrices normophoniques.

Les faibles niveaux d'accord intra- et inter-juges sont des difficultés bien connues, propres au jugement perceptif. De nombreuses études ont tenté de surmonter ces difficultés en faisant appel à différents types de juges ayant une expérience professionnelle variable (De Bodt et al., 1997), à différentes échelles

(Wuyts et al., 1999) et à différents matériaux phonétiques (Revis et al., 1999). Des ancrages ou des protocoles d'apprentissage ont également été employés pour tenter d'améliorer la fiabilité (Chan & Yiu, 2002; Ghio et al., 2011). Cependant, il n'existe encore aucun consensus quant à la méthode d'analyse perceptive idéale. Comme pour les autres méthodes, les jugements comparatifs par paires rencontrent des limitations dues au manque de fiabilité inter- et intra-juges.

Dans cette étude, tout comme dans l'étude 3, le manque de fiabilité pourrait être lié à la conception de la tâche, soit le fait que les juges ne puissent pas avoir la possibilité d'indiquer que les 2 échantillons sont similaires, ou encore qu'ils n'aient pas la possibilité de stipuler que l'aspect à évaluer n'est perçu dans aucun des 2 stimuli. En effet, pour chaque paire, les juges doivent répondre aux questions « quelle est la voix la plus pressée ? » et « quelle est la voix la plus soufflée ? ». Lorsque les 2 échantillons sont identiquement *pressés* ou *soufflés*, ou encore lorsque les caractéristiques *pressé* et *soufflé* ne sont pas présentes dans les échantillons proposés, la technique du choix forcé contraint les juges à choisir au hasard. Ainsi, les possibilités restrictives de réponses peuvent expliquer les faibles niveaux de fiabilité.

Une autre explication possible est que les juges se basent sur différentes dimensions pour évaluer un même aspect (voir étude 3), et ce bien que les termes *pressé* et *soufflé* aient été définis avant les tâches de jugement perceptif. De plus, un même juge ne s'est probablement pas basé sur un seul et même critère pour toutes les paires à juger, et dans le cas où plusieurs critères ont été utilisés, il est impossible de savoir quel poids l'auditeur a donné à chacun. Ces éléments reflètent bien la subjectivité inhérente à l'analyse perceptive. Pour éviter cet écueil, il serait intéressant de proposer un entraînement des auditeurs en leur présentant des échantillons illustrant divers degrés des aspects à évaluer, afin de s'assurer que la réalité perceptive de chacun soit identique et corresponde



à la définition donnée du paramètre à évaluer. Par ailleurs, Kreiman et Gerratt (2000) suggèrent que les juges sont incapables d'être consistants dans leurs jugements concernant des caractéristiques vocales spécifiques parce qu'il est difficile d'isoler des dimensions individuelles de signaux complexes. Ces mêmes auteurs remettent en question la pertinence des approches basées sur une échelle unidimensionnelle pour l'évaluation perceptive.

Enfin, une raison probable au manque de fiabilité est que les différences perceptives entre les stimuli à juger sont minimes. En effet, plus les différences entre les stimuli à comparer sont faibles, plus la tâche est difficile pour les juges, avec pour conséquence une diminution de la fiabilité. Les juges ont d'ailleurs rapporté que la tâche était compliquée et fatigante. Le manque de fiabilité évident des jugements perceptifs dans cette étude implique dès lors une interprétation prudente des résultats discutés ci-dessous.

### **Effet de 2 heures de charge vocale sur la voix des enseignantes**

Pour rappel, le premier objectif de cette étude est de d'évaluer l'impact de 2 heures de charge vocale sur les aspects *pressé* et *soufflé* de la voix d'enseignantes normophoniques et d'enseignantes dysphoniques. Nous tentons de déterminer si 10 juges experts perçoivent des modifications de ces aspects PRE et POST charge vocale à l'aide de jugements comparatifs par paires.

Concernant l'aspect *pressé*, aucune modification n'est perçue suite à 2 heures de charge vocale. En effet, il n'y a pas de différence significative entre les voix PRE et POST charge vocale, ni pour le groupe normophonique (tâches 1 et 2), ni pour le groupe dysphonique (tâches 5 et 6). L'absence de modifications de l'aspect *pressé* suite à 2 heures de charge vocale dans les 2 groupes de cette étude corrobore les résultats de l'étude 3, dans laquelle les juges ne percevaient

pas non plus de modification de l'aspect pressé après 2 heures de charge vocale à 60-65 dB(A) et à 70-75 dB(A) chez 50 locutrices normophoniques. Les résultats des études 3 et 5 suggèrent donc que l'aspect *pressé* de la voix n'est pas modifié suite à 2 heures de charge vocale en laboratoire, peu importe la population investiguée (normophoniques vs dysphoniques) et le niveau d'intensité de la charge vocale (60-65 dB vs 70-75 dB).

Tant dans l'étude 3 que dans l'étude 5, le fait que l'analyse perceptive ne montre aucun changement de l'aspect *pressé* va à l'encontre de nos attentes. En effet, les changements relevés au filtrage inverse, aux mesures acoustiques et aux mesures aérodynamiques dans d'autres études indiquent une voix plus hyperfonctionnelle et plus *pressée* suite à la charge vocale (Lauri et al., 1997; Vilkman et al., 1999; Vintturi et al., 2001b). D'après les mesures acoustiques réalisées dans l'étude 4, F0 augmente suite à la charge vocale dans les 2 groupes d'enseignantes. Or, Bergan et collaborateurs (2004) démontrent que F0 a un effet sur la perception de l'aspect *pressé* : plus F0 croît, plus la voix serait perçue comme étant *pressée*. Cependant, les résultats de l'analyse perceptive ne montrent pas d'augmentation de l'aspect *pressé* parallèlement à l'augmentation de F0 mesurée acoustiquement. Par ailleurs, l'augmentation de l'effort vocal mesuré à l'aide d'une échelle d'auto-évaluation dans l'étude 4 pourrait, elle aussi, présager une augmentation de l'aspect *pressé*. Or, l'analyse perceptive ne démontre pas d'augmentation de l'aspect pressé parallèle à l'augmentation de l'effort vocal.

Concernant l'aspect *soufflé*, il n'y a pas de différence significative entre les voix PRE et POST charge vocale, ni pour le groupe normophonique (tâches 3 et 4), ni pour le groupe dysphonique (tâches 7 et 8). Bien que les Figures 1 et 2 montrent que les juges perçoivent moins de souffle après la charge vocale pour les 2 groupes, ces différences ne sont pas significatives. Dans l'étude 3, les résultats ont démontré une diminution significative de l'aspect *soufflé* aussi bien

## Etude 5

après 2 heures de charge vocale à 60-65 dB(A) qu'après 2 heures de charge vocale à 70-75dB(A). Ces résultats sont interprétés comme une amélioration de la qualité vocale POST charge. Le fait que nous ne retrouvons pas cette diminution significative du souffle dans la présente étude pourrait être lié au nombre de locuteurs plus réduit dans chaque groupe ( $n = 16$  dans cette étude versus  $n = 50$  dans l'étude 3), ne permettant pas d'atteindre le niveau de significativité.

Parmi les quelques études ayant observé les effets de la charge vocale sur le plan laryngé, certaines décrivent une fuite glottique consécutive à un usage vocal prolongé. En effet, Stemple et al. (1995) observent la présence d'une fuite glottique antérieure chez six femmes parmi dix après 2 heures de lecture à 75-80 dB. Solomon & DiMattia (2000) décrivent une glotte en forme de sablier chez 3 femmes parmi 4 après 2 heures de lecture à 75-80 dB SPL. Gelfer et al. (1996) observent une augmentation de l'ouverture glottique chez 8 femmes novices en chant après une heure de lecture. Or, le manque d'adduction des cordes vocales se caractérise par la perception de souffle (Sodersten & Lindestad, 1990). Dans notre étude, l'analyse perceptive avait pour but d'explorer si le manque d'adduction glottique observé POST charge vocale en vidéostroboscopie (Gelfer et al., 1996; Solomon & DiMattia, 2000; Stemple et al., 1995) se traduisait par une augmentation de l'aspect *soufflé* de la voix. Les résultats de l'analyse perceptive du souffle ne corroborent pas ceux des études vidéostroboscopiques montrant un manque de fermeture cordale post charge vocale. De manière similaire, Neils et Yairi (1987) ne montrent pas de changement de la normalité vocale (*voice normalcy*) évaluée par 19 juges après 45 minutes de lecture chez 6 femmes normophoniques. McAllister et al. (2009) ne montrent pas de modification du souffle évalué par 3 juges experts chez 10 enfants âgés de 5 ans à trois moments de leur journée en garderie : (1) en fin de matinée, (2) sur le temps de midi et (3) l'après-midi. Et enfin, Yiu et Chan (2003) n'observent pas de différence significative du souffle évalué par 3 juges chez 20 chanteurs de

karaoqué (10 hommes et 10 femmes) à quatre moments définis : (1) avant le chant, (2) après avoir chanté dix chansons, (3) après avoir chanté cinq chansons supplémentaires, et (4) après la dernière chanson lorsque le participant déclare une fatigue vocale et ne peut plus chanter.

Notons que l'absence de différence significative pour les aspects *pressé* et *soufflé* entre les voix PRE et POST charge vocale dans notre étude est à interpréter avec précaution. En effet, les juges ne pouvant pas répondre que les échantillons vocaux sont identiques ou que l'aspect à juger n'est pas présent, il est difficile de déterminer si l'absence de différence significative correspond à l'absence de l'aspect *pressé/soufflé* ou à une voix similairement *pressée/soufflée* PRE et POST charge vocale.

En effet, certaines caractéristiques vocales peuvent être difficiles à distinguer perceptivement, notamment l'aspect *pressé* qui n'est pas fréquemment employé par les cliniciens francophones, utilisant principalement l'échelle GRBAS d'Hirano (1981b). Nos 10 juges sont peut-être peu familiarisés avec le jugement perceptif de l'aspect *pressé* de la voix. Cependant, une définition leur a été fournie avant la tâche et ces juges experts semblent avoir bien compris la caractéristique vocale à évaluer. Moins de doutes sont émis quant à l'aspect *soufflé*, fréquemment utilisé dans l'analyse perceptive, notamment via l'échelle GRBAS. La perception de l'aspect *soufflé* est probablement une qualité vocale mieux entraînée que l'aspect *pressé*, en lien avec leur fréquence d'utilisation dans la pratique clinique quotidienne des juges. De plus, il est possible que les juges aient une meilleure réalité perceptive de la fuite glottique (aspect *soufflé*) que du serrage glottique (aspect *pressé*).

Enfin, le fait que les juges ne perçoivent pas de modification des aspects *pressé* et *soufflé* après 2 heures de charge vocale chez des enseignantes

normophoniques et dysphoniques laisse penser que les différences perceptives entre les échantillons à juger sont minimales, voire absentes.

### **Différences entre les enseignantes normophoniques et dysphoniques**

Le second objectif de cette étude est de déterminer si les juges perçoivent des différences entre les deux groupes d'enseignantes, concernant les aspects *pressé* et *soufflé* de la voix. Pour ce faire, les juges ont effectué des comparaisons par paires entre les voix du groupe normophonique et du groupe dysphonique, tant PRE que POST charge vocale.

Concernant l'aspect *pressé*, les juges ne perçoivent aucune différence entre les voix des sujets normophoniques et les voix des sujets dysphoniques, tant PRE charge vocale (tâches 9 et 10) que POST charge vocale (tâches 13 et 14). Les juges ne perçoivent pas non plus de différence entre les 2 groupes pour l'aspect *soufflé*, tant PRE charge vocale (tâches 11 et 12) que POST charge vocale (tâches 15 et 16).

L'absence de différence significative entre les 2 groupes est étonnante car on s'attend à ce que les voix des enseignantes souffrant de nodules soient jugées comme étant moins bonnes que les voix des enseignantes sans pathologie vocale. Une explication à cette absence de différence entre les deux groupes peut être liée au fait que les nodules n'entraînent pas forcément une voix *pressée* ou *soufflée*. Il est possible que des différences portent sur d'autres aspects perceptifs, comme la raucité, qui n'a pas été évaluée dans ce travail. Par ailleurs, les voix des enseignantes sans pathologie vocale ne sont peut être pas complètement normales à l'oreille. En effet, l'absence de lésions cordales observée en vidéostroboscopie ne garantit pas une qualité vocale parfaitement normale. Dans le même ordre d'idées, une pathologie n'indique en aucun cas le

degré de sévérité de la dysphonie, tout comme le degré d'une dysphonie n'indique en rien la pathologie. Par ailleurs, il est possible que les lésions nodulaires des enseignantes dysphoniques ne soient pas suffisamment marquées pour provoquer des différences portant sur l'analyse perceptive des aspects *pressé* et *soufflé*. Enfin, notons que la technique vocale mise en place influence fortement la qualité du son. Ainsi, des sujets atteints de lésions organiques utilisant une technique vocale efficace peuvent avoir une voix de meilleure qualité que des sujets sans lésions mais présentant un geste vocal inadéquat.

Au vu des résultats de cette étude ainsi que de l'étude 4, peu de différences sont observées entre les enseignantes normophoniques et les enseignantes dysphoniques, tant PRE que POST charge vocale. L'analyse perceptive de cette étude ne démontre pas de différence entre les 2 groupes pour les aspects *pressé* et *soufflé* de la voix. L'analyse objective de l'étude 4 montre quelques différences : les enseignantes dysphoniques ont une pression sous-glottique plus élevée, une fréquence maximale ainsi qu'une étendue fréquentielle moins élevées que les enseignantes normophoniques. Enfin, les enseignantes dysphoniques rapportent plus de plaintes aux échelles d'auto-évaluation, aussi bien avant qu'après la charge vocale.

## CONCLUSION

Dans cette étude, nous utilisons l'analyse perceptive pour évaluer les effets de la charge vocale, en complément d'analyses objectives et d'auto-évaluations rapportées dans l'étude 4. Les objectifs sont de déterminer l'impact de 2 heures de charge vocale sur les aspects *pressé* et *soufflé* de la voix chez des enseignantes, en dissociant des sujets normophoniques et des sujets dysphoniques. Les voix de 16 enseignantes normophoniques et de 16

## Etude 5

enseignantes dysphoniques ont été analysées perceptivement par 10 juges experts avant et après 2 heures de lecture à 70-75dB(A). Une méthode de comparaisons par paires a été utilisée afin de réduire la subjectivité propre aux jugements perceptifs, afin d'éviter la variabilité liée à la comparaison des stimuli aux référents internes des juges, et dans le but d'augmenter la fiabilité des jugements. Malgré cela, les accords intra- et inter-juges varient de très faible à bon, impliquant donc une interprétation prudente des résultats.

Les résultats ne montrent aucune modification des aspects *pressé* et *soufflé* suite à 2 heures de lecture, tant chez les enseignantes normophoniques que chez les dysphoniques. Concernant la comparaison entre les 2 groupes d'enseignantes, aucune différence n'est perçue pour les aspects *pressé* et *soufflé*, tant PRE que POST charge vocale. L'absence de différences significatives suggère que les différences perceptives sont minimales, rendant la tâche difficile pour les juges et expliquant leur manque de fiabilité.

## **Remerciements**

Nous remercions vivement les personnes ayant participé à la tâche de charge vocale ainsi que les juges qui ont réalisé l'analyse perceptive. Merci également au Professeur Etienne Quertemont pour les conseils statistiques.





# **DISCUSSION GENERALE**



Dans cette thèse, nous avons étudié la charge vocale en ciblant une catégorie de professionnels de la voix bien connue, à savoir les enseignants. La contribution de notre travail intervient à deux niveaux d'étude de la charge vocale. Premièrement, nous l'avons quantifiée en situation écologique chez des enseignantes du niveau maternel et du niveau primaire via la technique de dosimétrie vocale, en différenciant l'usage vocal professionnel et extra-professionnel (étude 1). Deuxièmement, nous avons observé son impact sur la fonction phonatoire et sur la qualité vocale en condition de laboratoire (études 2 à 5). Ainsi, les études 2 et 3 portaient sur l'impact de 2 heures de charge vocale chez des non-professionnelles de la voix normophoniques, avec un regard particulier sur le niveau de pression sonore. Les études 4 et 5 visaient à déterminer l'impact de 2 heures de charge vocale chez des enseignantes normophoniques et dysphoniques.

Pour les 5 études menées, nous rappelons les principaux résultats et discutons de leurs implications en clinique journalière. Au fil de la discussion, nous envisageons également comment donner suite à nos recherches en proposant différentes pistes.

## **Quantification de la charge vocale**

---

Grâce à la diffusion relativement récente des techniques de dosimétrie, plusieurs études ont quantifié l'utilisation vocale chez des enseignants en situation écologique (Gaskill et al., 2012; Hunter & Titze, 2010; Lindstrom et al., 2011; Masuda et al., 1993; Morrow & Connor, 2011a, 2011b; Sala et al., 2002; Sodersten et al., 2002; Titze et al., 2007). Ainsi, les exigences vocales de cette profession sont de mieux en mieux appréhendées, en termes de fréquence, d'intensité, de durée de phonation et de travail accompli par le mécanisme laryngé via les doses de temps, de cycles et de distance. Toutefois, à notre connaissance, peu de données existent au sujet de la charge vocale selon le niveau enseigné. En effet, on ignore si les enseignants du niveau maternel, du primaire, du secondaire, et du supérieur ont une utilisation vocale différente, et par conséquent si certains de ces groupes sont davantage exposés aux microtraumatismes répétés dus à la vibration. Dans cette perspective, l'étude 1 a tenté de quantifier la charge vocale en comparant deux niveaux de l'enseignement ordinaire en Belgique francophone : le maternel et le primaire. A cette fin, le comportement vocal de 12 enseignantes du maternel et de 20 enseignantes du primaire a été enregistré durant une semaine de travail, soit 5 jours, à l'aide d'un système de dosimétrie vocale : l'APM. Un total de 160 journées, comprenant l'utilisation vocale professionnelle et extra-professionnelle, a été analysé.

Un premier objectif était de déterminer s'il existe des différences d'utilisation vocale entre les deux groupes, aussi bien dans le milieu professionnel qu'extra-professionnel. Les résultats ont montré des différences significatives entre les enseignantes du maternel et les enseignantes du primaire pour les doses de cycles et de distance. Aussi bien au travail qu'après le travail, les enseignantes du maternel avaient une charge plus élevée que les enseignantes

## Quantification de la charge vocale

du primaire, en termes de nombre de cycles vibratoires et de distance parcourue par les plis vocaux. Ces résultats suggèrent que les risques liés à l'exposition du tissu cordal aux vibrations seraient plus élevés chez les enseignantes du niveau maternel, en raison de l'effet potentiellement dangereux des collisions répétées (Svec, Titze, et al., 2003). Ces résultats encouragent à réduire la charge vocale ainsi que ses facteurs favorisant (bruit de fond, distance entre les interlocuteurs, mauvaise acoustique), en particulier chez les enseignantes du maternel. Ce niveau scolaire devrait également faire l'objet d'une attention spécifique concernant la prévention et le dépistage des troubles de la voix, car la dysphonie chez l'enseignant peut avoir un impact négatif sur l'apprentissage des enfants (Morsomme et al., 2011; Morton & Watson, 2001; Rogerson & Dodd, 2005). Le cycle maternel est une période particulièrement importante, puisqu'elle est le siège des apprentissages de base nécessaires à l'acquisition des concepts plus abstraits abordés par la suite, tels que le langage écrit, les mathématiques, etc. Au début de leur scolarité, les enfants ne maîtrisent pas encore le langage écrit et sont essentiellement dépendants du langage oral. Les pédagogies actuelles les invitent également à communiquer entre eux par des activités organisées en ateliers. Les papotages et les bruits inhérents à la circulation des élèves dans la classe augmentent le niveau de bruit ambiant. Cela explique sans doute pourquoi la charge vocale mesurée chez les enseignantes du maternel est plus élevée que celle mesurée chez les enseignantes du primaire. Après la journée de travail, il apparaît que le nombre de cycles vibratoires et la distance parcourue par les plis vocaux restent plus élevés chez les enseignantes du maternel que chez celles du primaire, dû à un phénomène de continuité au cours du temps. Cette observation souligne l'importance de prendre en compte tant la charge vocale professionnelle que la charge extra-professionnelle, en raison de leur effet cumulatif.

Le second objectif de l'étude 1 était de comparer l'utilisation vocale professionnelle et extra-professionnelle des sujets testés. Dans les deux groupes

d'enseignantes, les résultats ont montré une charge vocale plus élevée au travail qu'en dehors du travail pour tous les paramètres observés, c'est-à-dire pour la fréquence, pour le niveau de pression sonore de la voix, pour la dose de temps phonatoire, pour la dose de cycles vibratoires et pour la dose de distance parcourue par les plis vocaux. Ces résultats corroborent ceux d'autres études ayant comparé la charge vocale d'enseignants au travail et hors travail (Hunter & Titze, 2010; Titze et al., 2007). Bien que la charge vocale extra-professionnelle des enseignants soit moins élevée que leur charge professionnelle, nous confirmons l'hypothèse de Hunter et Titze (2010), selon laquelle il est important de prendre en compte la charge vocale extra-professionnelle en raison de son effet cumulatif à la charge professionnelle, laissant peu de temps pour la récupération vocale. D'un point de vue clinique, ces résultats confirment que la profession d'enseignant implique des exigences vocales élevées, et encouragent à réduire l'usage vocal des enseignants présentant des symptômes de surcharge, non seulement au travail, mais également en dehors du travail.

Dans le but de réduire la charge vocale des enseignants, plusieurs auteurs ont démontré l'utilité des systèmes d'amplification vocale (Gaskill et al., 2012; Jonsdottir, 2002; Jonsdottir, Rantala, Laukkanen, & Vilkman, 2001; McCormick & Roy, 2002; Morrow & Connor, 2011b). Dans le cadre d'une simulation de cours, McCormick et Roy (2002) ont observé que l'utilisation d'un système d'amplification réduisait l'intensité vocale mesurée à la bouche, tandis qu'il augmentait le niveau d'intensité vocale mesuré au fond de la classe. Morrow et Connor (2011b) ont accumulé les productions vocales de 7 professeurs de musique avec l'APM pendant une semaine de travail sans amplification et pendant une semaine avec amplification. Les résultats ont montré que l'utilisation du micro diminuait significativement l'intensité et la fréquence vocale, ainsi que les doses de temps, de cycles et de distance. Toujours à l'aide de l'APM, Gaskill et al. (2012) ont accumulé l'utilisation

## Quantification de la charge vocale

vocale de deux enseignantes du primaire (une avec et une sans plaintes vocales) pendant 2 semaines de travail sans amplification et pendant 1 semaine avec amplification. L'amplification a permis de réduire l'intensité vocale chez les deux enseignantes, ainsi que la dose de distance chez l'enseignante avec plaintes vocales. Via l'utilisation d'un enregistreur DAT et d'un microphone, Jonsdottir et ses collaborateurs (2001) ont enregistré les productions vocales de 5 enseignants du primaire et du secondaire, durant la première et la dernière leçon d'une journée de travail sans amplification. Une semaine plus tard, les mêmes leçons ont été enregistrées alors que la voix des enseignants était amplifiée. Les résultats ont montré des valeurs de fréquence et d'intensité vocale moins élevées en situation d'amplification. Enfin, Jonsdottir (2002) a récolté l'avis de 33 enseignants et de 791 élèves sur un système d'amplification sans fil utilisé en classe par les enseignants. Il s'avère que la production vocale était facilitée chez 97% des enseignants et que 82% d'entre eux rapportaient une meilleure endurance vocale grâce à l'amplification. Enfin, 84% des étudiants rapportaient une meilleure qualité d'écoute, et 63% estimaient que leur concentration était améliorée en situation d'amplification vocale. A notre connaissance, l'apport d'un système d'amplification n'a pas encore été évalué chez des enseignants du niveau maternel. Or, leur charge vocale particulièrement élevée, mesurée dans l'étude 1, encourage les futures recherches à évaluer les bénéfices de l'amplification dans ce niveau d'enseignement.

Pour poursuivre cette discussion relative à la quantification de la charge vocale, nous présentons ici nos considérations pratiques liées à l'utilisation et au maniement de l'APM. Cet appareillage relativement onéreux ne présente pas que les avantages de l'accumulation vocale prolongée en situation écologique. Il présente également des inconvénients liés à son utilisation, qui en font un outil essentiellement utilisable de prime abord en recherche et non en clinique. Une première difficulté est liée à son installation et à sa calibration : celles-ci doivent être effectuées par l'expérimentateur avant chaque période d'accumulation. Cela

implique un déplacement, soit de l'expérimentateur, soit du sujet, ainsi qu'une durée d'environ 15 minutes pour le téléchargement des données récoltées la veille, l'installation du matériel et la calibration. Une utilisation indépendante de l'APM par le sujet est difficilement envisageable. Or, celle-ci nous semble être une condition primordiale à la diffusion de ce type d'instruments dans la pratique clinique. Une seconde difficulté est liée à l'accéléromètre de l'APM se décollant régulièrement du cou, particulièrement chez les hommes portant la barbe. Des rougeurs et une irritation de la peau au point d'attache de l'accéléromètre étaient fréquentes, contraignant un des sujets de l'étude 1 à mettre fin à sa participation à cause d'une réaction allergique à la colle. Hunter (2012) rapporte également des observations similaires concernant l'utilisation du *NCVS voice dosimeter*. Troisièmement, on note une fragilité de l'accéléromètre ainsi que du câble le connectant au microprocesseur. Bien que les extrémités du câble aient été consolidées avec du ruban adhésif et que le câble ait été placé en dessous des vêtements, celui-ci a été endommagé et réparé à plusieurs reprises. Notons que la durée de vie d'un accéléromètre était relativement limitée et son coût assez élevé. Quatrièmement, quelques enseignantes ont trouvé l'APM encombrant et se sont dites gênées dans leur mobilité, essentiellement les enseignantes du maternel portant régulièrement des enfants dans leurs bras. Enfin, nous avons rencontré des difficultés résultant d'un vice de conception du logiciel. En effet, celui-ci dit permettre de sélectionner et de découper les données accumulées au cours de la journée à la minute près (KayPENTAX, 2009). Or, il s'avère que lorsque la durée d'accumulation est supérieure à 4 heures, le logiciel permet uniquement de sélectionner et de découper les données à l'heure près. Nous avons donc effectué des calculs via Excel afin de séparer précisément l'utilisation vocale professionnelle et extra-professionnelle de chaque sujet testé, sur base du calendrier journalier dans lequel l'horaire de ses activités quotidiennes était rapporté. Lors de nos rencontres avec d'autres chercheurs utilisant l'APM, nous avons pu constater que ceux-ci avaient des soucis techniques similaires aux nôtres. Au cours de notre recherche, nous avons



## Quantification de la charge vocale

eu des contacts réguliers avec la firme KayPENTAX commercialisant l'APM, afin de trouver des solutions aux difficultés décrites ci-dessus. Malgré ces quelques griefs, il n'en reste pas moins vrai que la dosimétrie vocale est une avancée technique de grande utilité, et constitue à l'heure actuelle l'instrument d'excellence permettant d'évaluer le comportement vocal d'individus dans leur vie quotidienne. A l'avenir, ces systèmes vont probablement faire l'objet de quelques adaptations leur apportant plus de convivialité d'utilisation, et se répandre dans la pratique phoniatrique.

## **Perspectives de développements futurs**

Dans le but d'avoir une représentation du comportement vocal suffisamment exhaustive, nous pensons que la durée minimum d'accumulation devrait être d'une semaine par participant, incluant si possible le week-end pour récolter des indices sur une éventuelle récupération vocale. De manière générale, plus la période de monitoring est longue, plus les résultats sont susceptibles d'être représentatifs du comportement vocal réel. Cependant, comme dans toute recherche réalisée sur le terrain, la période de récolte des données dépasse largement la durée des données réellement analysables. En effet, il est fréquent de rencontrer des problèmes techniques (batteries, câble, accéléromètre, etc), des problèmes liés à la condition écologique (difficulté de trouver une pièce calme où calibrer l'APM à l'école), et des difficultés liées au fait que les individus testés sont des êtres humains (parfois malades, absents, ou indisposés à être testés). En somme, la dosimétrie vocale implique de prendre en compte les conditions de terrain, bien différentes de celles en laboratoire.

Pour les futures études, dans la mesure du possible, l'utilisation d'un dosimètre ne nécessitant pas une intervention systématique de l'expérimentateur

permettrait d'augmenter la quantité des données récoltées, notamment les week-ends. Si le budget alloué au matériel le permet, l'utilisation simultanée de plusieurs dosimètres augmenterait le nombre de sujets testés sur une période de temps donnée. Logiquement, plus les participants sont nombreux, plus les données sont représentatives de l'utilisation vocale de la population testée.

Pour les participants, le port d'un système de dosimétrie vocale et le fait de compléter les questionnaires tous les jours sont contraignants. Nix et collaborateurs (2007) affirment que la rémunération des participants inviterait à une meilleure compliance et éviterait des biais dans le recrutement des sujets. En effet, il est possible que les enseignants se portant volontaires sans compensation financière soient particulièrement préoccupés par leur voix et donc pas entièrement représentatifs de la population. Ou inversement, les enseignants souffrant de problèmes de voix pourraient éviter de participer à l'étude afin de ne pas être stigmatisés. Quoiqu'il en soit, la rémunération des participants est à envisager afin de permettre une meilleure adhérence des sujets.

Actuellement, la récolte des données se poursuit afin d'augmenter le nombre d'enseignants dans les 2 groupes testés (niveau maternel et niveau primaire). L'étape suivante consiste à investiguer d'autres niveaux scolaires (niveau secondaire, niveau supérieur), mais également l'impact du type d'enseignement (ordinaire, spécial, professionnel, immersion) sur la charge vocale des professeurs. Il serait également intéressant d'investiguer la charge vocale en fonction de facteurs tels que le sexe, l'âge, l'expérience professionnelle, la matière enseignée, la qualité acoustique des locaux, le bruit ambiant, et le nombre d'élèves en classe, afin d'identifier les conditions d'enseignement comportant le plus de risques et de cibler les individus chez lesquels la prévention et le dépistage des troubles de la voix sont prioritaires.

## Quantification de la charge vocale

Pour l'analyse de la charge vocale en milieu extra-professionnel, l'impact des facteurs tels que la situation familiale, le nombre d'enfants, les activités sociales et de loisirs, mérite d'être pris en compte. Par ailleurs, il serait intéressant d'évaluer si les enseignants ayant une charge vocale extra-professionnelle moins élevée (notamment durant le week-end) ont une meilleure résistance vocale au cours de la semaine de travail, et présentent moins de plaintes vocales. De manière générale, la littérature comporte peu de données quant à l'aspect salvateur du repos vocal ; les systèmes de dosimétrie, permettant de visualiser les moments et la durée des productions vocales des sujets, s'avèrent particulièrement adaptés pour évaluer les éventuels effets bénéfiques des périodes de silence.

D'un point de vue théorique, de nombreux auteurs établissent un lien entre les microtraumatismes répétés et les troubles de la voix (Gunter, 2004; Svec, Popolo, et al., 2003; Svec, Titze, et al., 2003; Titze et al., 2003; Vilkman, 2000). D'un point de vue pratique, les études de dosimétrie vocale pourraient observer d'éventuelles corrélations entre la quantité d'utilisation vocale et les troubles de la voix chez les sujets testés. Dans le même ordre d'idées, les systèmes d'accumulation permettraient d'établir un lien entre la charge vocale journalière d'un individu et son ressenti en fin de journée, en termes de qualité vocale, d'inconfort laryngé, de sensations de fatigue et d'effort vocal.

En conclusion, la dosimétrie est une technique d'évaluation vocale encore peu répandue, dû à son coût et aux contraintes techniques qu'elle présente. Cependant, la littérature nous montre que ce domaine de recherche est en pleine expansion. Jusqu'à présent, les publications concernaient essentiellement les professionnels de la voix et, en particulier, les enseignants. Progressivement, le comportement vocal et la charge vocale journalière d'autres professions et groupes d'individus sont investigués également (Carroll et al.,

2006; Cheyne et al., 2003; Daugherty, Manternach, & Price, 2011; Hillman et al., 2006; Hunter, 2009; Hunter, Halpern, & Spielman, 2012; Schloneger, 2011).

# **Impact de la charge vocale sur la fonction phonatoire et sur la qualité vocale**

---

Outre la quantification de la charge vocale en situation écologique, ce travail avait également pour objectif d'étudier son impact sur la fonction phonatoire et sur la qualité vocale en situation de laboratoire, via une tâche de lecture à voix haute d'une durée de 2 heures. L'étude des effets de la charge vocale a fait l'objet de recherches menées tant en laboratoire (voir annexe 1) que sur le terrain (voir annexe 2). Dans ce travail, nous l'avons abordée dans ces deux contextes complémentaires : en condition écologique, via la dosimétrie vocale, pour évaluer au mieux l'utilisation vocale naturelle (étude 1), et en situation de laboratoire, via une tâche de charge vocale, permettant de mieux contrôler les facteurs l'influençant (études 2 à 5).

En complément de la littérature existante, l'objectif de notre travail était d'approfondir les connaissances relatives aux effets à court terme de la charge vocale, avec un regard particulier sur la population enseignante. Dans les études 2 et 3, nous avons observé l'impact d'une tâche de charge vocale en ciblant l'effet des facteurs de durée et d'intensité de la charge. Pour ce faire, nous avons soumis 50 femmes normophoniques à une tâche de lecture effectuée dans 2 conditions différentes. La première condition consistait en une lecture d'une durée de 2 heures à une intensité conversationnelle, comprise entre 60 et 65dB(A) ; la seconde en une lecture de 2 heures à une intensité élevée, comprise entre 70 et 75 dB(A), soit un niveau d'intensité comparable à celui utilisé par les enseignants dans le cadre de leur travail (Lindstrom et al., 2011; Morrow & Connor, 2011a). Dans les études 4 et 5, 16 enseignantes normophoniques et 16 enseignantes dysphoniques ont réalisé une lecture prolongée de 2 heures à 70-75 dB(A) au cours de laquelle nous avons observé les modifications vocales (effet

de la durée), en différenciant les sujets normophoniques et les sujets dysphoniques.

Dans les études 2 à 5, nous avons proposé une évaluation multidimensionnelle basée sur les 5 approches préconisées par l'ELS<sup>25</sup> (Dejonckere et al., 2001) pour l'évaluation vocale, à savoir:

- une vidéostroboscopie réalisée avant la tâche de charge vocale, afin d'établir le diagnostic et de s'assurer que toutes les participantes rencontraient les critères d'inclusion des études
- des analyses acoustiques (incluant un phonétogramme) réalisées toutes les 30 minutes, afin d'évaluer les effets de la charge vocale
- des analyses aérodynamiques, également réalisées toutes les 30 minutes
- des échelles d'auto-évaluation complétées toutes les 30 minutes
- des analyses perceptives des échantillons vocaux récoltés avant et après les 2 heures de charge, effectuées par 10 juges experts en voix.

Cependant, d'autres techniques d'analyse vocale, telles que la cinématographie ultra rapide, l'analyse spectrale, le filtrage inverse et l'électroglottographie seraient susceptibles d'apporter des informations complémentaires et pourraient faire l'objet de futures recherches.

Afin de permettre des comparaisons entre les différentes études de cette thèse, une méthodologie similaire a été respectée. Les tâches de charge vocale employées consistaient systématiquement en la lecture à voix haute d'un roman pendant 2 heures, entrecoupées d'analyses vocales réalisées toutes les 30 minutes. L'intensité vocale lors de la lecture était maintenue soit entre 60 et 65dB(A) (intensité conversationnelle), soit entre 70 et 75dB(A) (intensité élevée), avec un décibel-mètre placé à une distance de 40 cm de la bouche.

---

<sup>25</sup> ELS = *European Laryngological Society*. Société fondée en 1995 à Bruxelles, dédiée à la connaissance et aux développements dans le domaine de la laryngologie.

## Impact de la charge vocale sur la fonction phonatoire et sur la qualité vocale

Toutes les tâches de charge vocale ont été effectuées dans le même local et les facteurs environnementaux ont été contrôlés (bruit ambiant < 30dB(A) ; humidité relative de 30%±10%). Nous avons également standardisé les méthodes d'évaluation et les instruments de mesure utilisés : toutes les évaluations vocales ont été réalisées dans la même cabine insonorisée au CHU de Liège, à l'aide des logiciels *Multi-Dimensional Voice Program*, *Voice Range Profile* et *Aerophone II* (Kay Elemetrics, Lincoln Park, NJ). Les mêmes échelles visuelles analogiques destinées à l'auto-évaluation ont été complétées par les sujets dans les études 2 et 4. Enfin, une méthode identique a été employée pour l'analyse perceptive dans les études 3 et 5 (jugements comparatifs par paires des aspects pressé et soufflé de la voix, via le logiciel *Pairwise*<sup>26</sup>). Ainsi, un design similaire a été employé pour les études 2 et 4, comprenant des analyses vocales objectives et des auto-évaluations ; de même que pour les études 3 et 5, portant sur l'analyse perceptive des effets de la charge vocale. La suite de cette discussion s'articule autour des 3 questions principales auxquelles ont tenté de répondre les études 2 à 5, à savoir :

- 1) Quels sont les effets à court terme induits par 2 heures de charge vocale ?
- 2) Ces effets diffèrent-ils selon le niveau d'intensité de la charge ?
- 3) Ces effets diffèrent-ils entre les sujets normophoniques et les sujets dysphoniques ?

En réponse à chacune de ces questions, les résultats statistiquement significatifs des études sont synthétisés et leurs implications sont discutées.

---

<sup>26</sup> L'interface du logiciel est présentée dans l'annexe 5, et les consignes de passation des tâches figurent dans les annexes 6 et 7.

## Quels sont les effets à court terme induits par 2 heures de charge vocale ? (études 2 à 5)

### Effets sur les mesures acoustiques

Le principal changement acoustique observé dans les études 2 et 4 est une augmentation progressive de F0 au cours des 2 heures de lecture. Cette augmentation de F0 est une des conséquences les plus connues de la charge vocale. Elle a été observée dans des études antérieures, aussi bien en laboratoire (Kelchner et al., 2006; Laukkanen et al., 2004; Stemple et al., 1995; Vilkmán et al., 1999) qu'en situation réelle de phonation prolongée (Jonsdóttir, Laukkanen, et al., 2002; Laukkanen et al., 2008; Lehto et al., 2006, 2008; Rantala et al., 2002; Sodersten et al., 2002). Pour rappel, le réglage de F0 dépend de la fréquence de vibration, régie par la longueur, la masse, et la rigidité des plis vocaux, ainsi que par la pression sous-glottique (Titze, 2000). L'augmentation de F0 est généralement liée à une **augmentation de la tension intra-laryngée**, impliquant un accroissement de la rigidité du corps et/ou de la couverture cordale. Ainsi, l'élévation de la hauteur tonale au cours de la charge vocale implique une probable augmentation de la tension intra-laryngée. D'ailleurs, certains considèrent qu'une utilisation vocale prolongée induit un **fonctionnement vocal hypertonique** (Lauri et al., 1997; Vilkmán et al., 1999; Vintturi et al., 2001b). D'autres auteurs interprètent l'augmentation de F0 comme une **adaptation normale à la charge vocale** (Jonsdóttir, Laukkanen, et al., 2002; Rantala & Vilkmán, 1999; Rantala et al., 2002). Au cours d'une journée de travail, Rantala et Vilkmán (1999) ont réalisé une comparaison entre (1) des locuteurs ayant peu de plaintes vocales et (2) des locuteurs ayant beaucoup de plaintes vocales, le but étant de différencier les modifications vocales entre les 2 groupes. Les résultats de cette étude sont assez inattendus puisque les modifications vocales, dont l'augmentation de F0, sont davantage présentes dans le groupe ayant peu de plaintes. Il apparaît que les plis vocaux de ces sujets n'ont subi aucun changement organique. Dès lors, Rantala et Vilkmán



(1999) interprètent cette augmentation de F0 comme une capacité d'adaptation de l'organe vocal face à la charge vocale. Par ailleurs, il est important de souligner le **caractère potentiellement dangereux de l'augmentation de F0**, qui a pour conséquence une augmentation des stress mécaniques et des microtraumatismes appliqués aux plis vocaux (Titze, 1994). Nos résultats soutiennent donc l'hypothèse selon laquelle la charge vocale est un potentiel facteur favorisant les lésions bénignes de plis vocaux, via l'augmentation de F0 favorisant notamment le stress collisionnel.

Concernant les paramètres mesurés au phonéto gramme, les valeurs de fréquence vont également dans le sens d'une augmentation suite à la charge vocale. En effet, les études 2 et 4 montrent une élévation de F-Low, signifiant que les locutrices sont de moins en moins capables de produire des sons de fréquence grave au cours de la lecture. L'étude 4 montre également une augmentation de F-High au cours de la lecture. Les sujets sont donc capables de produire une fréquence maximale de plus en plus élevée au fur et à mesure des différents temps d'évaluation au phonéto gramme. Les explications de cette amélioration de la fréquence maximale sont soit un effet d'entraînement lié à la répétition de la tâche toutes les 30 minutes, soit un effet positif à court terme lié à la charge vocale. La modification des paramètres relatifs à la fréquence dans le sens d'une augmentation progressive, aussi bien pour les mesures au phonéto gramme (F-Low et F-High) que pour F0, suggèrent une augmentation de la tension laryngée résultant de la charge vocale.

Les mesures au phonéto gramme relatives à l'intensité montrent une augmentation de I-Low au cours de la charge vocale, indiquant que les locutrices sont de moins en moins capables de produire des sons de faible intensité (étude 2). Cette difficulté croissante à produire des sons pianissimi, directement liée à une élévation du seuil de pression phonatoire, pourrait, elle aussi, s'expliquer par une augmentation de la tension intra-laryngée et de la rigidité cordale. Pour

déterminer si des modifications des caractéristiques viscoélastiques cordales surviennent, les futures recherches pourraient effectuer des mesures directes de la viscosité cordale. Toutefois, ce type d'investigation invasive semble difficile à mettre en place au cours d'une tâche de charge vocale. En ce qui concerne les autres mesures du phonéto gramme relatives à l'intensité, l'étude 4 montre une augmentation de I-High et de I-Range au cours de la charge. Ces capacités à atteindre une intensité de plus en plus forte et une dynamique d'intensité élargie au cours de la lecture sont des améliorations reflétant soit un effet positif à court terme de la charge vocale, soit un effet d'entraînement dans la réalisation du phonéto gramme. Enfin, la possibilité d'atteindre un niveau de pression sonore accru consécutivement à la charge pourrait également être imputée à une augmentation de la tension intra-laryngée et de la rigidité cordale, ainsi qu'à l'augmentation de pression sous-glottique observée durant la première heure de lecture.

Aux mesures de stabilité vocale, la diminution progressive du shimmer au cours des 2 heures de charge vocale dans les études 2 et 4 reflète plus de stabilité à court terme de l'amplitude du signal vocal. Cette diminution du shimmer est potentiellement liée à une augmentation de F0 et de la tension intra-laryngée, engendrant davantage de stabilité du vibrateur. Cette réduction du shimmer semble refléter un effet positif à court terme de la charge sur la qualité vocale.

### **Effets sur les mesures aérodynamiques**

Les mesures aérodynamiques montrent une tendance du temps maximum de phonation à diminuer après 30 minutes de charge dans l'étude 2, et une diminution significative dans l'étude 4. Ce changement négatif observé dans les 30 premières minutes pourrait être causé par une réduction du volume respiratoire ou une fuite d'air (non mesurées dans notre travail). Par la suite, l'augmentation significative du temps maximum de phonation mesurée dans

l'étude 2, ainsi que la tendance à l'augmentation observée dans l'étude 4, sont des améliorations pouvant être le signe soit d'une adaptation du système phonatoire à la charge, soit d'un effet d'entraînement. L'amélioration du temps maximum phonatoire pourrait également être le signe d'une tension intra-laryngée augmentée, se traduisant par davantage d'accolement glottique.

Tant pour les enseignantes normophoniques que pour les enseignantes dysphoniques, l'étude 4 montre un accroissement de la pression sous-glottique estimée et du niveau de pression sonore au cours de la première heure de lecture. L'augmentation de ces paramètres est liée à l'élévation de F0 également observée suite à la charge vocale, et va dans le sens d'une possible augmentation de la tension intra-laryngée. Ensuite, une diminution de la pression sous-glottique est observée au cours de la deuxième heure de lecture. Dans l'étude 2, on peut regretter l'absence de mesures de pression sous-glottique et d'intensité, due à une panne du logiciel *Aerophone II* au moment de l'étude.

En somme, les modifications aérodynamiques observées lors de la première partie de la tâche semblent indiquer une détérioration de l'efficacité vocale : diminution du temps maximum de phonation dans les 30 premières minutes, augmentation de la pression sous-glottique et du niveau de pression sonore durant la première heure. Dans la seconde partie de la tâche, ces mesures semblent traduire une adaptation du système phonatoire à l'utilisation vocale prolongée : diminution de la pression sous-glottique tandis que le niveau de pression sonore reste stationnaire, aussi bien chez les sujets normophoniques que chez les sujets dysphoniques. Dans un premier temps, le système phonatoire semble consommer plus d'air, et ensuite son fonctionnement se régule. L'évolution non linéaire des paramètres aérodynamiques observés dans les études 2 et 4 confirme l'intérêt de proposer des mesures répétées au cours de la charge vocale.

### **Effets sur l'auto-évaluation des sujets**

Les résultats des échelles visuelles analogiques complétées par les locutrices dans les études 2 et 4 démontrent une augmentation progressive des sensations d'effort vocal, de fatigue vocale, et d'inconfort laryngé au cours des 2 heures de charge, tandis que la qualité vocale auto-évaluée se détériore progressivement au cours des 2 heures. Les scores moyens des auto-évaluations montrent que les participantes n'ont pas utilisé la partie des échelles visuelles analogiques indiquant des plaintes élevées. Cela suggère qu'elles n'estimaient pas avoir atteint le maximum de leurs ressources vocales et qu'une marge de progression restait possible, et ce, même pour les sujets dysphoniques.

### **Effets sur l'analyse perceptive des juges experts**

Dans l'étude 3, les juges experts perçoivent une diminution de l'aspect soufflé suite à 2 heures de charge vocale chez 50 femmes normophoniques, quel que soit le niveau d'intensité de la charge (60-65 dB et 70-75 dB). Cette diminution du souffle semble représenter une amélioration de la qualité vocale, interprétable comme un changement positif consécutif à la charge vocale ou comme une possible adaptation du système phonatoire à la charge. Dans l'étude 5, les juges experts perçoivent une légère diminution de l'aspect soufflé suite à 2 heures de charge vocale chez 16 enseignantes normophoniques et chez 16 enseignantes dysphoniques. Cependant, cette diminution n'atteint pas le niveau de significativité, il s'agit d'une tendance. Concernant l'aspect pressé, aucune modification n'est perçue par les juges suite à 2 heures de charge vocale, ni chez les 50 femmes normophoniques (étude 3), ni chez les 16 enseignantes normophoniques et les 16 enseignantes dysphoniques (étude 5). Notons que la fiabilité inter- et intra-juges est limitée dans les études 3 et 5, impliquant une interprétation prudente des résultats aux analyses perceptives.

## Conclusion

Ce travail a tenté d'apporter une évaluation multidimensionnelle des changements immédiats induits par 2 heures de charge vocale. Les divers moyens d'évaluation se sont révélés porteurs d'informations complémentaires puisque certains tendent à démontrer des changements négatifs liés à l'utilisation prolongée de la voix, tandis que d'autres suggèrent des changements positifs, de l'ordre des effets bénéfiques de l'échauffement vocal. Selon Vintturi (2001)<sup>27</sup>, les effets de l'échauffement se manifestent par des changements rapides constituant une adaptation à la charge vocale. Dans notre travail, les **effets positifs** se traduisent par la possibilité de produire des sons de plus en plus aigus, ainsi qu'un niveau d'intensité de plus en plus élevé au phonétogramme, la diminution du shimmer à l'analyse acoustique et la diminution de l'aspect soufflé à l'analyse perceptive. Les **effets négatifs** se traduisent par une dégradation des sensations subjectives perçues par les sujets dès le début de la tâche, ainsi que par l'impossibilité progressive à produire des sons de fréquence grave et des sons pianissimi au phonétogramme. Ces effets négatifs sont plutôt de l'ordre de ceux observés lors du stade de fatigue vocale décrit dans le continuum de la charge vocale par Vintturi (2001). L'augmentation de F0 est, quant à elle, plus controversée : elle est tantôt interprétée comme le signe d'une adaptation à la charge vocale, tantôt comme un changement impliquant des conséquences néfastes car elle augmente les microtraumatismes appliqués aux plis vocaux. En ce qui concerne les mesures aérodynamiques, l'évolution des paramètres suggère dans un premier temps une détérioration de l'efficacité vocale, suivie d'une adaptation du système phonatoire à l'utilisation vocale prolongée. Au regard de l'évolution d'une grande partie des mesures objectives, nous avons émis l'hypothèse d'une augmentation de la tension intra-laryngée au cours de la charge vocale. Certes, des mesures de l'activité musculaire sont

---

<sup>27</sup> Les différents stades de la charge vocale selon Vintturi sont présentés à la page 57 de l'introduction théorique.

nécessaires afin de confirmer cette hypothèse, par exemple à l'aide de l'électromyographie. Enfin, l'augmentation de certains paramètres (ESP, SPL, et F0) évoque une possible modification des propriétés biomécaniques du tissu cordal, ainsi que de ses caractéristiques viscoélastiques. Les modifications du tissu induites par la charge vocale restent peu investiguées en raison des difficultés techniques liées à ce type d'investigation. Elles sont susceptibles de faire l'objet de recherches futures. D'un point de vue mécanique, l'augmentation de F0, SPL et ESP, consécutive à l'usage vocal prolongé, soutient l'hypothèse selon laquelle la charge vocale peut contribuer au développement de lésions vocales, telles que les nodules.

En conclusion, les différents paramètres observés au cours de 2 heures de charge vocale ne nous permettent pas d'identifier clairement un stade d'échauffement vocal, suivi par un stade de fatigue vocale, comme décrits par Vintturi (2001) dans sa représentation des différents stades de la charge vocale. Nos résultats montrent plutôt des changements divers selon les paramètres observés, reflétant tantôt des effets positifs, tantôt des effets négatifs attribués à la tâche de charge vocale. Cependant, nos résultats ne semblent pas démontrer de surcharge vocale suite aux 2 heures de lecture, quel que soit le niveau d'intensité (conversationnel vs élevé) ou le groupe étudié (normophonique vs dysphonique).

## **Les effets à court terme diffèrent-ils selon le niveau d'intensité de la charge vocale ? (études 2 et 3)**

### **Effets sur les mesures acoustiques**

Les analyses acoustiques réalisées toutes les 30 minutes dans l'étude 2 montrent que F0 est systématiquement plus élevé lors de la session de charge vocale à intensité élevée (70-75dB) que lors de la session à intensité conversationnelle (60-65dB). Des études précédentes ont démontré que le fait d'augmenter l'intensité vocale induit une élévation de la hauteur tonale (Gramming et al., 1988; Sodersten et al., 2005). L'étude 2 confirme que cette corrélation entre la fréquence et l'intensité persiste au cours de 2 heures de charge vocale. Ainsi, tout comme la durée de la charge vocale, le facteur d'intensité augmente la fréquence vocale et, par conséquent, les contraintes mécaniques et les microtraumatismes appliqués aux plis vocaux.

Concernant les mesures au phonéto gramme rapportées dans l'étude 2, F-High est systématiquement plus élevé lors de la session à intensité élevée (70-75dB) qu'au cours de celle à intensité conversationnelle (60-65dB), suggérant une possibilité de produire des sons de fréquence plus haute lorsque l'intensité de la charge est plus élevée. En conséquence, l'étendue fréquentielle est plus large dans la session de charge à intensité élevée (70-75dB). Les autres valeurs mesurées au phonéto gramme ne diffèrent pas selon le niveau d'intensité de la charge vocale.

### **Effets sur les mesures aérodynamiques**

La seule mesure aérodynamique récoltée dans l'étude 2 est le temps maximum de phonation, pour lequel aucune différence n'est observée entre les 2 niveaux d'intensité de charge vocale. On peut regretter l'absence de mesures de débit et de pression sous-glottique, impossibles à réaliser au moment de l'étude en raison d'une panne du logiciel *Aerophone II*. Une évaluation de la pression

sous-glottique aurait été intéressante dans la mesure où celle-ci régule le niveau d'intensité vocale et où elle est un bon indice du forçage vocal.

### **Effets sur l'auto-évaluation des sujets**

Les résultats aux échelles d'auto-évaluation présentés dans l'étude 2 ne montrent aucune différence selon le niveau de pression sonore de la charge vocale. Ainsi, les locutrices normophoniques ne ressentent pas de différence concernant leur qualité vocale, leur fatigue vocale, leur effort vocal et leur inconfort laryngé entre la session à intensité conversationnelle (60-65dB) et celle à intensité élevée (70-75dB). Une différence d'intensité vocale de l'ordre de 10 dB(A) ne semble donc pas induire de changement, du point de vue du locuteur.

### **Effets sur l'analyse perceptive des juges experts**

D'après les résultats de l'étude 3, les juges ne perçoivent aucune différence concernant les aspects pressé et soufflé entre les échantillons vocaux enregistrés post charge vocale à intensité conversationnelle (60-65 dB) et ceux enregistrés post charge vocale à intensité élevée (70-75dB). Cependant, la fiabilité inter- et intra-juges est limitée, dès lors une interprétation prudente des résultats est de mise.

### **Conclusion**

Les études 2 et 3 de ce travail avaient pour but de déterminer l'impact du niveau de pression sonore de la charge vocale. Plus précisément, nous avons tenté d'améliorer la compréhension des effets d'une utilisation vocale prolongée à intensité élevée, fréquemment rencontrée chez les professionnels de la voix tels que les enseignants. Notre hypothèse était que les conséquences de 2 heures de phonation à intensité élevée diffèrent des conséquences de 2 heures de phonation à intensité conversationnelle, tant sur le plan des évaluations objectives que subjectives. Cependant, nos résultats ont révélé peu de différences entre les 2 niveaux d'intensité étudiés (60-65 dB versus 70-75 dB).



## Impact de la charge vocale sur la fonction phonatoire et sur la qualité vocale

Les principaux changements sont d'ordre acoustique. Ils sont relatifs à la fréquence (F0, F-High, F-Range) et suggèrent une augmentation de celle-ci lorsque l'intensité de la charge vocale est plus élevée. Ainsi, le fait de parler à 70-75dB durant 2 heures engendre une hauteur tonale plus élevée que le fait de parler à 60-65dB pendant 2 heures. Par conséquent, le nombre de vibrations ainsi que la distance parcourue par les plis vocaux sont supérieurs pour la session à intensité élevée. Par ailleurs, aucune modification des mesures subjectives réalisées par les sujets eux-mêmes et par des juges experts n'est observée. Concernant les mesures acoustiques, seul le temps maximum de phonation a été récolté : celui-ci ne diffère pas selon le niveau d'intensité de la charge vocale. Sur une durée de 2 heures, la session à intensité élevée ne provoque pas une dégradation plus rapide de la voix que celle à intensité conversationnelle. Cependant, nous pourrions peut-être observer plus de changements selon le niveau d'intensité si la durée de la charge vocale était prolongée (par exemple une journée de cours), ou si la différence entre les 2 niveaux de pression sonore était plus importante. Ces conditions mériteraient d'être investiguées dans de futures recherches.

D'un point de vue mécanique, il faut retenir que l'augmentation du niveau de pression sonore est liée à une augmentation de la pression sous-glottique (stress aérodynamique), induisant une augmentation d'amplitude de la vibration cordale qui influence la dose de distance parcourue par les plis vocaux, ainsi que la dose d'énergie dissipée (Svec, Popolo, et al., 2003; Titze et al., 2003). Comme démontré dans l'étude 2, l'élévation de l'intensité vocale s'accompagne également d'une augmentation de F0, favorisant les contraintes mécaniques, dont le stress collisionnel. L'intensité vocale affecte également le stress de cisaillement (Titze, 1994) et la compression médiale des plis vocaux (Gunter, 2004). En conclusion, il faut garder à l'esprit que le niveau de pression sonore est corrélé positivement avec les stress mécaniques et donc les risques de lésions cordales (Gunter, 2004). Théoriquement, une charge vocale à intensité

élevée impliquerait davantage de risques de développer des lésions cordales qu'une charge vocale à intensité conversationnelle. Il n'est donc pas étonnant de retrouver une proportion importante de dysphonies chez les sujets dont la profession requiert une phonation prolongée à intensité élevée, comme les enseignants.

### **Les effets à court terme dus à la charge vocale diffèrent-ils entre les sujets normophoniques et les sujets dysphoniques ? (études 4 et 5)**

#### **Effets sur les mesures acoustiques**

L'étude 4 montre peu de différences aux mesures acoustiques entre les deux groupes d'enseignantes. Ces différences portent sur les mesures récoltées au phonéto gramme : les enseignantes normophoniques présentent une meilleure capacité à atteindre les fréquences aiguës que les enseignantes dysphoniques, ainsi qu'une plus large étendue fréquentielle, aussi bien avant, pendant et après la charge vocale. L'incapacité des sujets dysphoniques à atteindre les fréquences aiguës peut être due à la rigidité cordale causée par la pathologie nodulaire.

#### **Effets sur les mesures aérodynamiques**

La seule différence aérodynamique entre les deux groupes relevée à l'étude 4 concerne la pression sous-glottique : les enseignantes normophoniques présentent une pression sous-glottique moins élevée que les enseignantes dysphoniques, aussi bien avant qu'après la charge vocale. Plus de pression est nécessaire chez les sujets avec nodules pour initier et maintenir la vibration cordale, en raison du manque de souplesse et de l'augmentation de la masse cordale dus à la lésion.

### **Effets sur l'auto-évaluation des sujets**

Les résultats aux échelles d'auto-évaluation complétées dans l'étude 4 montrent que les sujets dysphoniques manifestent plus de plaintes que les normophoniques. Aussi bien avant qu'après la charge vocale, les sujets dysphoniques ressentent plus d'effort vocal, de fatigue vocale, et d'inconfort laryngé. Ils s'attribuent également une moins bonne auto-évaluation de leur qualité vocale que les normophoniques. De même, le VHI complété par les participantes lors du recrutement pour l'étude a montré que les enseignantes dysphoniques ont des plaintes vocales significativement plus élevées que les enseignantes normophoniques, tant pour le score global que pour les sous-échelles du questionnaire.

### **Effets sur l'analyse perceptive des juges experts**

Les résultats de l'étude 5 montrent que les juges ne perçoivent aucune différence entre les échantillons vocaux des enseignantes normophoniques et ceux des enseignantes dysphoniques concernant l'évaluation des aspects pressé et soufflé, tant pré que post charge vocale. L'absence de différences significatives suggère que les différences perceptives sont minimales, rendant la tâche particulièrement difficile pour les juges et expliquant sans doute leur manque de fiabilité. Cependant, la fiabilité inter- et intra-juges limitée implique une interprétation prudente des résultats.

### **Conclusion**

L'objectif des études 4 et 5 était de déterminer si les effets de 2 heures de charge vocale à 70-75 dB(A) diffèrent entre des enseignantes normophoniques et des enseignantes dysphoniques. Nos hypothèses étaient (1) que la voix des enseignantes normophoniques serait meilleure que celle des dysphoniques avant, pendant, et après 2 heures de charge vocale, (2) que des changements à court terme seraient induits par la charge dans les 2 groupes, et (3) que l'évolution de la qualité vocale et de la fonction phonatoire serait

différente dans les 2 groupes, avec des effets négatifs plus rapides et plus importants dans le groupe dysphonique. Premièrement, les résultats ont montré peu de différences entre les 2 groupes aussi bien avant, pendant, qu'après les 2 heures de charge vocale. Comme attendu, les différences observées sont en faveur des enseignantes normophoniques. En effet, celles-ci rapportent moins de plaintes aux échelles d'auto-évaluation que les dysphoniques. Elles ont une pression sous-glottique moins élevée, une meilleure capacité à atteindre les sons aigus et une plus large étendue fréquentielle au phonétogramme que les enseignantes dysphoniques. Ces mêmes différences entre les 2 groupes sont présentes avant, pendant et après les 2 heures de lecture. Deuxièmement, les changements à court terme observés au cours de la charge vocale sont identiques pour les 2 groupes d'enseignantes. Ces changements ont été décrits ci-dessus. Troisièmement, tous les paramètres observés dans les études 4 et 5 évoluent de la même façon au cours de la charge vocale pour les 2 groupes, sans effets négatifs plus rapides ou plus importants pour le groupe dysphonique. Nos résultats suggèrent donc que les 2 groupes d'enseignantes étudiés se comportent de la même façon au cours de la tâche de charge vocale, et que les enseignantes dysphoniques montrent une bonne résistance à la charge.

## **Perspectives de développements futurs**

Pour les études 2 à 5, la charge vocale consistait en 2 heures de lecture réalisées en situation de laboratoire. Cette durée s'est révélée relativement longue pour les locutrices, dans la mesure où plusieurs d'entre elles ont manifesté une fatigue générale et de la lassitude à la fin de la tâche. Selon nous, il serait difficilement envisageable de prolonger la tâche, tout du moins sans compensation financière pour les participants. De plus, allonger la tâche chez des sujets souffrant de lésions cordales pourrait comporter des risques. Cependant, le fait d'investiguer les effets d'une tâche de lecture plus longue dans de futures études pourrait permettre de mettre davantage de différences en évidence selon la durée de la charge, selon son niveau d'intensité, ainsi que selon l'état vocal des sujets (normophoniques vs dysphoniques). De manière similaire, il serait intéressant d'évaluer l'impact d'une tâche de charge vocale répétée au cours du temps, ainsi que le temps de récupération post charge. L'intérêt d'évaluer le temps de récupération serait d'apporter des lignes de conduite pour la prévention et le traitement des troubles de la voix. Quelques études se sont intéressées à ce sujet (Hunter & Titze, 2009; McCabe & Titze, 2002; Verdolini Abbott et al., 2012). Cependant, la variation du temps de récupération nécessaire en fonction de la durée de la charge vocale, de son intensité, et de l'état vocal des sujets reste ouverte. Nous émettons les hypothèses que (1) le temps de récupération post charge vocale augmente avec la durée de la charge, (2) le temps de récupération augmente avec le niveau de pression sonore de la charge, et (3) le temps de récupération est plus élevé chez des sujets dysphoniques que chez des normophoniques. Ces hypothèses constituent de futures pistes de recherche.

Comme nous l'avons soulevé, l'amélioration de certains paramètres mesurés dans ce travail est susceptible d'être le reflet d'un effet d'entraînement, engendrant leur apprentissage dû à leur répétition toutes les 30 minutes.

Cela pourrait être le cas des mesures récoltées au phonétogramme, ainsi que du temps maximum de phonation (Dejonckere et al., 2001). Afin de différencier les améliorations dues à un effet positif à court terme de la charge vocale de celles dues à un effet d'entraînement, une tâche contrôle durant laquelle les sujets effectuent 2 heures de lecture silencieuse (donc pas de charge vocale) pourrait être proposée dans les études futures. La comparaison des évaluations vocales réalisées toutes les 30 minutes dans une tâche avec charge et dans une tâche sans charge permettrait de clarifier la cause des changements observés au phonétogramme et au temps maximum de phonation.

Par ailleurs, nous avons rencontré des difficultés relatives à la fiabilité des analyses perceptives réalisées dans les études 3 et 5. Dans ces études, dix juges experts ont évalué les aspects pressé et soufflé de la voix à l'aide de jugements comparatifs par paires. Nous avons choisi cette méthode d'analyse perceptive dans l'espoir de contourner les problèmes de fiabilité causés par la comparaison des échantillons vocaux aux standards internes propres à chaque juge. La fiabilité inter- et intra-juges variait de très faible à bonne, impliquant une interprétation prudente des résultats. Le manque de fiabilité pourrait, entre autres, être dû au fait que les différences entre les échantillons à juger étaient minimales, rendant la tâche particulièrement ardue pour les juges. Il est d'ailleurs difficile de savoir si l'oreille humaine est capable de distinguer des différences liées à la charge vocale. Les problèmes de fiabilité dans les jugements perceptifs sont bien connus, et sont inhérents à la nature subjective de cette méthode d'évaluation de la voix. Dans les futurs travaux, une attention particulière devrait être accordée à l'amélioration de la fiabilité (entraînement des juges, méthode d'analyse perceptive permettant plus de possibilités de réponses de la part des juges, utilisation d'ancrages, choix judicieux des paramètres acoustiques à évaluer, etc). Les changements perceptifs consécutifs à la charge vocale sont peu décrits dans la littérature, probablement en raison des difficultés relatives à cette méthode d'analyse vocale, constituant un champ d'investigation à part entière.

Dans ce travail, nous avons étudié la charge vocale en tant que facteur favorisant les troubles de la voix. En tant que première étape, nous avons analysé l'évolution des groupes étudiés. Une seconde étape serait de réaliser une analyse individuelle du comportement de chaque individu, permettant d'observer les différentes adaptations possibles face à la charge vocale. L'identification des comportements vocaux efficaces et inefficaces en situation de charge vocale pourrait apporter des pistes préventives et thérapeutiques pour les sujets devant faire face à une utilisation vocale intensive.

Enfin, rappelons que la production vocale et ses éventuels dysfonctionnements sont multifactoriels. Nous les avons abordés sous l'angle de la charge vocale. Il serait réducteur de négliger l'impact des autres facteurs, tels que les facteurs psychologiques, émotionnels, l'état général du sujet, sa technique vocale, son expérience influençant sa réaction face à la charge, etc. Ce travail avait pour but d'apporter des éléments sur le rôle de la charge vocale parmi les facteurs pouvant favoriser la dysphonie.

## **Implications en clinique journalière**

---

A l'heure actuelle, la littérature scientifique pointe la charge vocale comme un facteur potentiellement responsable des troubles de la voix. Cependant, le parcours classique d'un patient dysphonique, du bilan à la prise en charge, inclut encore trop rarement sa prise en compte. Au vu des différents plans d'action en logopédie, les implications de ce travail de recherche peuvent intervenir dans le cadre de l'évaluation, du traitement, et de la prévention des troubles de la voix.

### **Implications pour l'évaluation des troubles de la voix**

Lorsque le patient formule une plainte, une mise au point est généralement réalisée par un ORL et un logopède. Idéalement, une anamnèse fouillée est proposée, suivie d'un examen clinique dans lequel l'ORL observe les cordes vocales en vibration, dans le but d'établir le diagnostic. Suite à la prescription de l'ORL, l'orthophoniste réalise un bilan vocal comprenant des mesures objectives et subjectives. Les mesures objectives englobent des analyses acoustiques et aérodynamiques, tandis que les mesures subjectives recensent les avis des cliniciens et du patient via des évaluations perceptives de la voix ou encore des questionnaires de qualité de vie. Le geste vocal dans sa globalité est examiné (respiration, mise en vibration des plis vocaux, résonance, posture, état de tension musculaire, etc.). Par contre, l'évaluation des troubles de la voix inclut encore trop rarement la charge vocale du patient dans sa vie quotidienne. Or, la dysphonie peut être engendrée tant par un malmenage vocal résultant d'un geste inadéquat, que par un surmenage vocal, plus difficile à apprécier lors du bilan.



## **Implications en clinique journalière**

Le bilan vocal consiste en un état des lieux réalisé à un moment donné du temps et est composé de relevés « fugaces ». Or, nous savons combien la voix est variable en fonction du moment de la journée ou de la semaine, des activités, des émotions, ou encore de la forme physique quotidienne. Le même bilan réalisé une heure, un jour, ou une semaine plus tard peut montrer des résultats parfois bien différents. Aussi, pouvoir observer la voix dans des conditions naturelles sur des périodes prolongées à l'aide de dosimètres ambulatoires devient pour le clinicien une source appréciable d'information pour l'élaboration d'un plan thérapeutique efficace. Dans la mesure où les systèmes de dosimétrie vocale sont onéreux, parfois peu conviviaux, et encore peu répandus dans la pratique clinique, l'évaluation de la charge vocale journalière reste souvent artisanale. Elle peut être réalisée via la mise au point de questionnaires que le patient remplit régulièrement et qui évaluent son usage vocal en fonction de sa tâche, de son environnement, de son état physique et émotionnel, et d'événements particuliers survenant inopinément et qui vont influencer sur sa voix. Ces questionnaires sont évidemment contraignants et chronophages. Un autre moyen d'évaluer la charge vocale journalière du patient reste de l'observer dans son environnement naturel (sur son lieu de travail, lors de ses activités de loisirs, ou dans sa vie privée). Par exemple, l'orthophoniste peut se rendre dans la classe de sa patiente enseignante et ainsi l'observer, l'enregistrer, la filmer. Encore une fois, ce type d'analyse est terriblement coûteux en temps. En Belgique, la sécurité sociale ne prévoit aucun remboursement pour ce type de travail. Néanmoins, lorsque le patient accepte, la mise en commun des observations réalisées avec celui-ci s'avère généralement fructueuse. Elle permet la mise en place de stratégies d'adaptation visant à faire face à ses exigences vocales. Signalons que les moyens d'évaluation de la charge vocale journalière, décrits ci-dessus, peuvent influencer sur la spontanéité vocale du patient et ne pas représenter totalement la réalité vocale. Cependant, ils fourniront des informations précieuses pour le bilan vocal, sans nul doute utiles pour le suivi thérapeutique.

## Implications pour le traitement des troubles de la voix

Lorsqu'une rééducation vocale est nécessaire, on remarque que les outils thérapeutiques classiques s'axent essentiellement sur le geste phonatoire. La thérapie vocale se centre sur les trois grands aspects de la voix que sont la respiration, la phonation, et la résonance. L'orthophoniste sensibilise également le patient au respect d'une bonne hygiène vocale. Outre ces concepts thérapeutiques sous-tendant la rééducation, il est important de tenir compte de la charge vocale du patient. En effet, nous pensons que la notion de surmenage est tout aussi importante que la notion de malmenage. En thérapie vocale, beaucoup d'exercices sont dédiés au malmenage. Pourtant, dans certains cas, le patient a beau adopter le geste vocal requis, il n'en reste pas moins qu'il progresse peu. Dans ce cas, il est possible que le patient soit en situation de surmenage vocal. Le rôle de l'orthophoniste est alors d'identifier les périodes de surmenage (de nature professionnelle et/ou extra-professionnelle), et de mettre en place des stratégies visant à réduire la charge vocale du patient. Le programme thérapeutique comprendra également une éducation à l'économie vocale et la mise en place de conditions environnementales optimales permettant de réduire la charge (aménagement des locaux, etc).

Afin de réduire la charge vocale, l'orthophoniste peut proposer d'utiliser un **système d'amplification**, soit sous la forme d'un micro casque ou encore d'un micro cravate. Ces systèmes d'amplification ont pour avantage de réduire drastiquement les efforts vocaux et peuvent être utilisés soit comme mesure de prévention, soit de manière ponctuelle en cas de circonstances particulières (infections de la sphère ORL, fatigue générale ou vocale), soit de manière systématique chez des sujets présentant une charge vocale élevée, tels que les enseignants. L'amplification peut également être employée comme outil thérapeutique pendant une période prolongée chez des sujets dysphoniques, pour éviter de fatiguer la voix et d'engendrer un forçage.

## Implications en clinique journalière

Parfois, il peut être judicieux de proposer un **repos vocal**. En effet, en cas de surcharge, le sujet peut se trouver en situation de détresse vocale. Un examen laryngé pourra montrer un plan glottique enflammé, voire œdématié. La sonorisation s'avérera périlleuse. Dans ce cas, poursuivre l'exercice de sa profession est difficile. Il en va de même pour la poursuite des séances d'orthophonie, qui ne ferait qu'ajouter une charge vocale supplémentaire à un locuteur déjà en surmenage. Aussi, la question du repos vocal s'impose. Cependant, celui-ci s'avère-t-il efficace et salvateur ? Si oui, quelle est la durée de silence à observer ? La littérature sur le sujet est pauvre et controversée. De plus, elle concerne principalement le repos vocal post-chirurgical. Si les chirurgiens ORL ne peuvent s'appuyer sur une réponse claire et précise concernant le type et la durée de repos à prescrire à leurs patients, ils observent généralement un principe de précaution en demandant de respecter un repos vocal strict variant de 8 à 15 jours après une chirurgie des plis vocaux. Tous évitent également de prodiguer un repos vocal trop long. Celui-ci pourrait être néfaste et conduire à une atrophie cordale, ou encore cristalliser le comportement du patient silencieux dans un geste de retenue et compliquer la reprise de la sonorisation. Ceci étant dit, le rôle d'un repos vocal prolongé reste mal connu. Comme le soulignent Ishikawa & Thibeault (2010), des études prospectives, randomisées et en double aveugle sont nécessaires pour investiguer les changements fonctionnels qu'apporterait ou non un repos vocal.

## Implications pour la prévention des troubles de la voix

Outre l'évaluation et le traitement des troubles de la voix, l'orthophoniste a également un rôle dans leur prévention. En ce qui concerne le concept de charge vocale, la prévention va essentiellement s'adresser aux professionnels de la voix présentant une utilisation vocale importante, tels que les enseignants. Bien qu'il existe des recommandations établies par le Bureau International d'Audiophonologie (BIAP) concernant la prévention et la prise en charge des troubles vocaux chez les professionnels de la voix (BIAP, 2007b), force est de constater que celles-ci ne sont pas appliquées chez les enseignants en Belgique. Ces recommandations mentionnent notamment que *« la compétence vocale dépend d'une bonne connaissance des structures et des mécanismes de la voix et de leur utilisation correcte. (...) Le professionnel devra recevoir une information théorique relative aux mécanismes concernés comprenant une description anatomique et dynamique des organes respiratoires, du larynx et des résonateurs supra glottiques. (...) Le professionnel devra par ailleurs recevoir une formation lui permettant de développer son savoir-faire et d'adapter ainsi son geste vocal. (...) Il devra recevoir une information concernant les risques de la désorganisation du geste vocal. Il pourra avoir recours à des moyens audiovisuels pour se connaître et les reconnaître. Le professionnel sera attentif à l'espace de communication et saura adapter son geste vocal grâce à une connaissance précise des facteurs de risque de malmenage vocal. Le professionnel pourrait bénéficier d'une évaluation de ses fonctions vocales et auditives parallèlement à l'exercice de son activité professionnelle. »* En plus de ces conseils, nous pensons qu'il serait judicieux de sensibiliser les enseignants au fait que leur profession implique une quantité d'utilisation vocale significative, parfois supérieure à leurs possibilités physiologiques, variables selon les individus et les circonstances. Il est important que chaque enseignant apprenne à connaître ses propres limites vocales et

## **Implications en clinique journalière**

organise son programme en en tenant compte, en alternant par exemple les activités nécessitant un usage vocal élevé avec des activités permettant la récupération et le repos vocal. Selon nous, les enseignants devraient recevoir des informations leur permettant de détecter les signes de surcharge vocale. Ils devraient également bénéficier de conseils relatifs à l'économie vocale et aux divers moyens permettant de réduire leur charge vocale. A notre sens, le manque d'information concernant le fonctionnement et l'utilisation de la voix dans la formation des futurs enseignants constitue une lacune évidente, dans la mesure où la voix est l'outil de travail de l'enseignant et constitue un des principaux vecteurs de transmission des apprentissages aux élèves. De manière similaire, une étude menée en Belgique néerlandophone (Van Houtte et al., 2011) plaide pour la mise en place d'un cours sur la physiologie phonatoire et l'hygiène vocale dans la formation de tous les futurs enseignants, comme stratégie préventive. Cette même étude encourage le maintien et la mise à jour des connaissances vocales des enseignants au cours de leur carrière, via des formations continues.

En complément de l'utilisation vocale proprement dite, les facteurs environnementaux sont également à prendre en compte. Un moyen de prévenir la dysphonie chez les professionnels de la voix serait de les sensibiliser aux facteurs influençant la voix et la charge vocale, c'est à dire l'environnement acoustique, le bruit de fond, la distance entre les interlocuteurs, et les facteurs hygrométriques. Concernant l'intelligibilité de la parole en milieu scolaire, le BIAP (2007a) fournit des recommandations concernant les niveaux de bruit à ne pas dépasser, selon l'usage des salles (salle de classe : 40 dBA ; salle d'usage général : 50 dBA ; salle calme, salle maternelle : 35 dBA). Le BIAP (2007a) recommande également un temps de réverbération de 0,4 secondes dans une salle de classe vide aux dimensions normales (200 à 1000 m<sup>3</sup>). En France, le décret du 25 avril 2003 limite ce facteur de temps de réverbération entre 0,6 et 1,2 secondes pour un volume de 250 m<sup>3</sup>. Bien que des recommandations

existent, les conditions environnementales restent peu prises en compte à l'heure actuelle, que ce soit dans l'intérêt du confort d'écoute des élèves ou dans celui du confort de production vocale des professeurs.

Etant donné le rôle clé de la voix des enseignants en tant qu'outil de transmission des apprentissages aux élèves, l'impact négatif des troubles vocaux des enseignants sur les apprentissages des enfants, et le coût sociétal élevé relatif au traitement et au remplacement des enseignants dysphoniques, il est étonnant de ne pas voir davantage de réglementation, de prévention et d'intervention précoce face aux difficultés vocales des enseignants dans notre pays. Les recherches du type de celle que nous avons réalisée sont encore trop rares en Belgique, bien que plus présentes dans la partie néerlandophone que dans la partie francophone du pays. A notre connaissance, le ministère de l'éducation ne prévoit pas de volet bien-être au travail abordant les questions relatives à la voix des enseignants et ne finance pas de recherche à ce sujet. Or, nous sommes convaincue que les pistes envisagées ci-dessus mériteraient d'être prises en compte afin de prévenir et de traiter les troubles de la voix dans la population enseignante, en tenant compte de la charge vocale élevée propre à cette profession.

## **En conclusion**

---

Dans cette thèse, nous avons étudié la charge vocale principalement chez des enseignantes, via deux versants complémentaires. Dans un premier temps, nous l'avons quantifiée grâce à un système de dosimétrie vocale en situation écologique dans une population d'enseignantes, en comparant deux niveaux de l'enseignement ordinaire belge : le maternel et le primaire. Dans un deuxième temps, nous avons étudié son impact sur la fonction phonatoire et sur la qualité vocale en condition de laboratoire, durant une tâche de 2 heures de lecture. Cette tâche a été réalisée par des femmes normophoniques dans le but d'améliorer la compréhension des facteurs de durée et d'intensité de la charge vocale. Elle a également été effectuée par des enseignantes normophoniques et dysphoniques, dans le but de comparer ces deux groupes.

Nos données confirment que les enseignantes ont une charge vocale conséquente, en particulier celles du niveau maternel. Il apparaît que deux heures de charge vocale provoquent des effets tantôt positifs, tantôt négatifs, sur les différents paramètres vocaux étudiés. Les principaux résultats montrent plus d'impact de la durée que de l'intensité de la charge sur les paramètres observés. Par ailleurs, peu de différences émergent entre les deux groupes d'enseignantes au cours de la tâche, suggérant que les enseignantes dysphoniques présentent une bonne résistance durant la charge. Ce travail étaye l'hypothèse selon laquelle la charge vocale peut contribuer au développement de certains types de dysphonie, et appuie l'importance de la réduire afin de prévenir et de traiter les situations de surmenage vocal.





# **ANNEXES**



### Annexe 1. Synthèse des études réalisées en laboratoire

Etude	Population étudiée	Tâche de charge vocale (nature de la tâche, durée, intensité)	Principaux résultats
Akerlund (1993)	10 ♀ normophoniques 10 ♂ normophoniques  10 ♀ avec dysphonie fonctionnelle 10 ♂ avec dysphonie fonctionnelle	Lecture 15 min Bruit blanc à 80 dB SPL	Elévation du contour inférieur du phonétogramme (c'est-à-dire augmentation de l'intensité la plus faible) pour les hommes et les femmes dysphoniques. Pas de changement du contour supérieur (intensité la plus élevée) du phonétogramme. Aucun changement au phonétogramme pour les hommes et les femmes normophoniques.
Boucher et al. (2006)	3 ♀  5 ♂	Lecture 3 min toutes les 12 à 15 min pendant 12 à 14h 74 dB(A) à 1 m	L'électromyographie met en évidence des signes de fatigue musculaire laryngée (compression spectrale des muscles crico-aryténoïdiens latéraux liée à la fatigue) post charge vocale. On observe un changement critique au-delà duquel la fatigue musculaire persiste.
Boucher et Ayad (2010)	3 ♀  5 ♂	Lecture 3 min toutes les 12 à 15 min pendant 12 à 14h 74 dB(A) à 1 m	L'électromyographie met en évidence une fatigue des muscles laryngés suite à la charge vocale. La variation de F0 ne reflète pas systématiquement la fatigue des muscles laryngés. Le changement critique au-delà duquel la fatigue musculaire persiste est associé à une augmentation du tremblement vocal mesuré acoustiquement. Ce tremblement vocal peut être causé par la fatigue générale, et non par l'effort vocal. Au fur et à mesure que l'activité des muscles crico-aryténoïdiens latéraux diminue à cause de la fatigue, on observe

			une augmentation de l'activité du muscle thyro-aryténoïdien et du muscle crico-thyroïdien (compensation).
Buekers (1998)	12 ♀ normophoniques 20 ♀ avec fatigue vocale	Diverses tâches pour fatiguer la voix 30 min Intensité variable	L'électroglottographie montre une diminution du quotient de contact des cordes vocales à 220 Hz post charge vocale. Pas de différence des mesures acoustiques de perturbation de la fréquence et de l'intensité, dans aucun des 2 groupes. Augmentation de la fatigue, de la douleur et de l'inconfort dans la gorge pour les 2 groupes.
Chang et Karnell (2004)	5 ♀ 5 ♂	Lecture 2 heures 75-85 dB C	Le seuil de pression phonatoire augmente pendant la charge pour revenir à son niveau initial après 1 heure de repos post charge. La sensation d'effort vocal augmente pendant la charge pour revenir à son niveau initial après 1 jour de repos post charge. Corrélation entre le seuil de pression phonatoire et la sensation d'effort vocal.
De Bodt et al. (1998)	30 ♀ futures enseignantes	Lecture 20 min 75-80 dB Bruit de masquage à 85dB	Pas de changements de F0 et SPL. Augmentation de l'œdème observé à la vidéostroboscopie. 83% des sujets ont des plaintes subjectives après la tâche (fatigue vocale, sécheresse, gorge enflammée, difficulté pour déglutir, irritation, globus).
Elliot et al. (1995)	7 ♀ chanteuses amatrices 3 ♂ chanteurs amateurs	Exercices de chant 30 minutes Intensité variable	Grande variabilité interindividuelle dans l'évolution du seuil de pression phonatoire suite à la charge vocale chantée. Les résultats ne montrent pas de tendance claire, ni de différence claire entre les 2 sexes.
Gelfer et al. (1991)	26 ♀ chanteuses entraînées	Lecture 1 heure 80% de leur étendu	Pas de changements de F0, SPL, shimmer, jitter et rapport signal/bruit pour les chanteuses entraînées. Diminution du rapport signal/bruit pour les novices en chant

	24 ♀ novices en chant	d'intensité de parole	(indiquant une dégradation de la qualité vocale) et augmentation de F0, intensité et jitter.
Gelfer et al. (1996)	8 ♀ chanteuses entraînées  8 ♀ chanteuses novices	Lecture 1 heure Intensité non précisée	Pas de différence observée à la vidéostroboscopie chez les chanteuses entraînées. Augmentation de l'amplitude de l'ouverture glottique chez les chanteuses novices. Les auteurs concluent qu'une heure de lecture ne suffit pas à induire des changements laryngés.
Jilek et al. (2004)	31 sujets normophoniques  23 sujets avec dysphonie hypertonique  9 sujets avec dysphonie hypotonique	Répétition de voyelles 20 min 80 dB SPL	L'évaluation de la périodicité de la vibration cordale à l'électroglottographie met en évidence : -des perturbations plus élevées chez les sujets avec dysphonie hypertonique que chez les sujets normaux, tant pré que post charge vocale. -Des perturbations plus élevées chez les sujets avec dysphonie hypertonique que chez les hypotoniques avant la charge, et après 1 heure de repos post charge. -Des perturbations plus élevées chez les sujets avec dysphonie hypotonique que chez les contrôles après 1 heure de repos post charge vocale. -Des perturbations plus importantes chez les hypertoniques que chez les hypotoniques avant la charge, mais disparition de ces différences post charge.
Kelchner et al. (2003)	9 ♂ et 11 ♀ avec paralysie cordale unilatérale	Lecture Aussi longtemps que possible (45 minutes en moyenne) 75-80 dB SPL	Les mesures acoustiques montrent une augmentation de F0 et SPL, mais pas de changements du rapport signal/bruit. Les mesures aérodynamiques montrent une augmentation du débit d'air moyen et une diminution du temps maximum phonatoire. Pas de changement significatif des paramètres

			vidéostroboscopiques. L'auto-évaluation montre une diminution de la qualité vocale et une augmentation de l'effort vocal. Les juges experts ne perçoivent pas de changement de la qualité vocale à l'analyse perceptive.
Kelchner et al. (2006)	15 ♂ adolescents  Groupe contrôle sans lecture : 10 ♂ adolescents	Lecture 2 heures 75-80 dB SPL	Augmentation de F0 et de la sensation d'effort physique. Diminution de l'auto-évaluation de la qualité vocale. Pas de changements pour SPL, temps maximum de phonation, fréquence la plus basse et fréquence la plus élevée mesurées au phonétogramme. Pas de changement de la qualité vocale à l'analyse perceptive réalisée par des juges experts.
Laukkanen et al. (2004)	24 ♀	Lecture 45 min 70 dB à 40 cm	Augmentation de F0, SPL et ratio alpha <sup>28</sup> (reflétant une augmentation de l'adduction glottique). Augmentation des sensations subjectives de fatigue dans la gorge, difficulté à produire la voix, chatouillements dans la gorge, douleurs dans la gorge, enrrouement. Les sujets avec plus d'entraînement vocal ont un F0 moins élevé lors de la charge.
Linville (1995)	12 ♀	Lecture 15 min Intensité non précisée (très	Les modifications glottiques post charge vocale observées à la vidéostroboscopie sont surtout relevées sur des sons aigus. Augmentation de la fermeture glottique chez 5 femmes sur 12.

<sup>28</sup> Le ratio alpha représente la distribution moyenne de l'énergie sonore le long de l'étendue fréquentielle (inclinaison spectrale). Il reflète le type de phonation et le degré d'adduction glottique. Une voix hypofonctionnelle et d'intensité faible est généralement caractérisée par un faible ratio alpha, tandis qu'une voix hyperfonctionnelle et à intensité élevée est généralement caractérisée par un ratio alpha élevé (Laukkanen et al., 2008).

		haute voix)	Augmentation de l'ouverture glottique chez 1 femme sur 12. Même configuration glottique chez 2 femmes sur 12. Patterns inconsistants chez 4 femmes sur 12.
Lohscheller et al. (2008)	3 ♀	Lecture 2h 75-80 dB à 30 cm	La cinématographie ultra-rapide et le phonovibrogramme montrent que la charge vocale affecte les caractéristiques vibratoires des cordes vocales. Les auteurs observent: -une altération des paramètres d'ouverture postérieure et de la dynamique de fermeture cordale post charge vocale. -une légère asymétrie vibratoire entre les 2 cordes post charge vocale.
Neils et Yairi (1987)	6 ♀	Lecture 45 min Dans 3 conditions de bruit : -50 dBA -70 dBA -90 dBA	L'analyse perceptive ne montre pas de changement concernant la normalité vocale. L'analyse acoustique ne montre pas de changement de F0. L'analyse aérodynamique ne montre pas de changement du débit d'air moyen. Toutefois, il y a des différences inter-sujets pour toutes les mesures.
Niebudek-Bogusz et al. (2007)	51 enseignants avec dysphonie fonctionnelle	Lecture 30 min Bruit blanc à 80 dB SPL	La vidéostroboscopie ne montre pas de changements significatifs. L'analyse acoustique montre une augmentation des paramètres de perturbation de la fréquence ( <i>jitter, relative average perturbation, pitch period perturbation quotient</i> ). L'analyse spectrale à long terme montre une augmentation du contour pitch-intensité du /a/, indiquant une instabilité vocale lors de la phonation soutenue. Pas de changement de paramètres de perturbation de l'intensité ( <i>shimmer</i> et <i>amplitude perturbation quotient</i> ) dans le groupe complet, mais augmentation du shimmer chez les sujets

			souffrant de dysphonie hyperkinétique.
Sherman & Jensen (1962)	15 ♂ normophoniques 15 ♂ avec voix rauque	Lecture 1h30 Intensité conversationnelle  Suivie de 30 minutes de repos vocal	L'analyse perceptive du degré de raucité réalisée par 32 logopèdes sur la lecture d'un texte standardisé montre : -une diminution de la raucité suite à la charge vocale chez les hommes normophoniques, puis une augmentation de la raucité pour revenir à son niveau initial après 30 minutes de repos vocal -aucune modification significative de la raucité chez les hommes ayant une voix rauque
Sihvo et Sala (1996)	10 ♀	Lecture 5 X 45 min Intensité confortable	Élévation de la courbe inférieure (intensité la plus faible) et de la courbe supérieure (intensité la plus élevée) du phonétogramme au cours de la charge vocale. Les auteurs soulignent la possibilité d'un effet d'apprentissage expliquant l'élévation de la courbe supérieure.
Solomon et DiMattia (2000)	4 ♀	Lecture 2 heures 75-80 dB(C) à 45 cm Variation du niveau d'hydratation interne	Augmentation du seuil de pression phonatoire et de la sensation d'effort vocal. L'hydratation interne atténuée ou retardée l'augmentation du seuil de pression phonatoire chez 3 des 4 femmes. La vidéostroboscopie montre une glotte en sablier après la charge chez 3 des 4 sujets.
Solomon et al. (2003)	4 ♂	Lecture 2 heures 75-80 dB C à 45 cm Variation du niveau d'hydratation interne	Augmentation du seuil de pression phonatoire et de la sensation d'effort vocal. L'hydratation interne atténuée ou retardée l'augmentation du seuil de pression phonatoire chez 2 des 4 hommes. La vidéostroboscopie montre une fuite glottique antérieure après la charge chez 2 des 4 hommes.
Stemple et al. (1995)	10 ♀	Lecture 2 heures	Augmentation de F0. Diminution du jitter (mesuré à intensité élevée, mais non à intensité moyenne et faible). Pas de



		75-80 dB à 18 inches (≈48 cm)	différences pour l'étendue fréquentielle, le temps maximum de phonation, le débit d'air et le volume phonatoire. La vidéostroboscopie montre une fuite glottique antérieure après la charge chez 6 des 10 sujets. Les plaintes principalement rapportées après la charge sont une sécheresse et des chatouillements de la gorge.
Stone et Sharf (1973)	10 ♂	Répétition de voyelles 20 min 9 conditions différentes (3 niveaux d'intensité x 3 niveaux de fréquence vocale), à raison d'une condition/jour	L'analyse perceptive montre une différence entre les 3 niveaux de fréquence : plus la voix est aiguë, plus les changements perçus au cours de la charge sont importants. Concernant la durée, un changement est perçu après 20 minutes de charge à fréquence aiguë, mais non après la charge à fréquence grave et moyenne. Pour toutes les conditions, les changements les plus importants sont observés lors des 5 premières minutes. Aucune différence n'est observée entre les 3 niveaux d'intensité auxquels la tâche a été effectuée.
Vilkman et al. (1999)	40 ♀ 40 ♂	Lecture 5 x 45 min -2 niveaux d'intensité alternatifs : <65dB SPL ou >65dB SPL (différences selon le niveau d'intensité non présentées cet article, mais bien dans Vintturi et al., 2003)	F0, SPL et pression sous-glottique sont plus élevés l'après-midi que le matin pour les 2 sexes. L'augmentation de F0, SPL et de la pression sous-glottique indique une augmentation du travail laryngé et une voix plus hyperfonctionnelle suite à la charge. Le filtrage inverse montre : -une augmentation des valeurs de l'amplitude maximale négative du débit différentiel pour les 2 sexes -une diminution de l'amplitude AC du débit glottique pour les 2 sexes, indiquant un mode de phonation pressée.
Vintturi et al. (2001b)	40 ♀ 40 ♂	Lecture 45 min -2 niveaux d'intensité: <65dB SPL ou >65dB SPL	Augmentation de la pression sous-glottique et de SPL pour les 2 sexes. Augmentation de l'énergie spectrale autour du formant du chanteur (2000 - 4000Hz), plus marquée chez les femmes. Nombreuses différences entre les 2 sexes.

		-2 positions alternatives : debout ou assis -2 niveaux d'humidité : faible ou élevé	Plus de changements vers une voix hyperfonctionnelle lorsque l'intensité de la charge vocale est élevée. Plus de changements vers une voix hyperfonctionnelle lorsque l'humidité est faible.
Vintturi et al. (2003)	40 ♀ 40 ♂	Lecture 5 x 45 min -2 niveaux d'intensité alternatifs : <65dB SPL ou >65dB SPL -2 positions alternatives : debout ou assis -2 niveaux d'humidité : faible ou élevé	Un questionnaire d'auto-évaluation montre que les symptômes sont les plus faibles lors de la 1 <sup>e</sup> session, pour ensuite augmenter et atteindre leur maximum après 3 ou 5 sessions. Les femmes ont plus de symptômes que les hommes (différences significatives uniquement pour les symptômes du cou, des épaules et du dos). Plus de symptômes lorsque le niveau d'humidité est faible. Plus de symptômes en position debout qu'en position assise. Pas de différence évidente des symptômes rapportés selon le niveau d'intensité.
Yiu et Chan (2003)	10 ♀ 10 ♂	Chant karaoké Le plus longtemps possible Intensité non précisée -2 conditions : la moitié des participants bénéficie de repos et d'hydratation interne entre les chansons, l'autre moitié pas.	Sensation de fatigue vocale retardée chez les sujets bénéficiant d'hydratation et de repos, ils chantent donc plus longtemps. Cependant, les sujets bénéficiant d'hydratation et de repos n'ont pas de meilleurs résultats à l'analyse acoustique, perceptive et au phonétogramme ; excepté les hommes sans repos ni hydratation pour qui le jitter augmente après 10 chansons, et les femmes sans repos ni hydratation qui ne parviennent plus à produire les sons aigus.

Note : seules les différences significatives sont rapportées dans ce tableau.

## Annexe 2. Synthèse des études réalisées en condition réelle

Etude	Population étudiée	Nature et durée de la charge vocale	Principaux résultats
Buekers (1998)	12 ♀ normophoniques 20 ♀ avec fatigue vocale	1 journée de travail	L'électroglottographie ne montre pas de modifications après 1 journée de travail. Pas de différence des mesures acoustiques de perturbation de la fréquence et de l'intensité. L'auto-évaluation révèle une augmentation de la fatigue après 1 journée de travail pour les normophoniques, mais pas de modifications de la fatigue, de la douleur et de l'inconfort pour les femmes avec fatigue vocale.
Doellinger et al. (2009)	1 ♀ logopède	2 x 1 journée de travail	L'analyse dynamique des cordes vocales via la cinématographie ultra-rapide et le phonovibrogramme révèle les changements suivants après 1 journée de travail : -asymétrie vibratoire entre les 2 cordes vocales -modification des mouvements d'ouverture et de fermeture des cordes vocales
Garrett et Healey (1987)	10 ♀ 10 ♂	1 journée (sans précisions sur la nature des activités effectuées)	Augmentation de F0 après la journée chez les ♂ mais pas chez les ♀. Pas de changements de SPL. Variabilité interindividuelle dans l'évolution vocale au cours de la journée.
Jonsdottir, Laukkanen, et al. (2002)	5 enseignants	1 journée de travail sans amplification 1 journée de travail avec amplification	Augmentation de F0 et SPL après 1 journée de travail (augmentation plus importante avec amplification). Les sujets rapportent moins de fatigue vocale dans la condition avec amplification.
Kostyk et Rochet (1998)	9 ♀ enseignantes avec fatigue vocale	3 x 1 journée de travail	Pas de modifications de la pression sous-glottique, du débit d'air, de la résistance du conduit glottique et du SPL après 1 journée de travail, excepté une augmentation de la pression sous-glottique

	7 ♀ enseignantes sans fatigue vocale		pour le groupe sans fatigue vocale et une diminution du débit pour le groupe avec fatigue. Aucune différence significative entre les 2 groupes.
Laukkanen et al. (2008)	79 ♀ enseignantes	1 journée de travail	Augmentation de F0, SPL, ratio alpha et de la fatigue ressentie dans la gorge après 1 journée de travail. Diminution du jitter et du shimmer.
Lehto et al. (2006)	24 ♀ conseillères service-clientèle dans un call center	1 journée de travail	Augmentation de F0 après 1 journée de travail, mais pas de modification de SPL, alpha ratio, nombre de vibrations cordales et des mesures du filtrage inverse. L'auto-évaluation démontre une augmentation de la raucité et de la fatigue vocale.
Lehto et al. (2008)	24 ♀ et 8 ♂ conseillers service-clientèle dans un call center	1 journée de travail	Augmentation de F0 après 1 journée de travail, mais pas de modification de SPL, alpha ratio, nombre de vibrations cordales et des mesures du filtrage inverse. L'auto-évaluation démontre une augmentation de la raucité pour les 2 sexes, et une augmentation de la fatigue pour les femmes.
Rantala et al. (1994)	3 ♀ enseignantes	1 journée de travail	Augmentation de F0 et de SPL après 1 journée de travail. Diminution du pourcentage de parole indiquant que les enseignantes parlent plus lors de la première leçon (41%) que lors de la dernière leçon (26%).
Rantala et Vilkman (1999)	12 ♀ enseignantes avec peu de plaintes vocales 12 ♀ enseignantes avec beaucoup de plaintes vocales	3 x 1 journée de travail	Augmentation de F0 après 1 journée de travail. Les enseignantes avec beaucoup de plaintes ont tendance à avoir un F0 plus élevé, un SPL moins élevé et des valeurs de perturbation (shimmer et jitter) plus faibles que les enseignantes avec peu de plaintes.
Rantala et al. (2002)	16 ♀ enseignantes avec peu de plaintes vocales 17 ♀ enseignantes avec	1 journée de travail	Augmentation de F0 après 1 journée de travail. L'augmentation de F0 est plus marquée pour les enseignantes ayant peu de plaintes vocales, signifiant que l'augmentation de F0 serait la

	beaucoup de plaintes vocales		conséquence d'une adaptation physiologique normale à la charge vocale.
Mann et al. (1999)	37 ♂ et 5 ♀ sergents de l'armée	6 x 1 journée de travail	Les mesures acoustiques ne montrent pas de changement significatif du jitter et du shimmer au cours des 6 jours. L'examen vidéostroboscopique montre une augmentation de l'œdème, de l'érythème et de l'irrégularité du bord libre des cordes vocales après 5 jours de travail, ainsi qu'une diminution de l'ondulation muqueuse et de l'amplitude vibratoire. Grande variabilité interindividuelle des résultats vidéostroboscopiques et acoustiques.
Rantala et al. (1998)	10 ♀ enseignantes	3 x 1 journée de travail	L'analyse spectrale montre une augmentation de l'énergie des composants spectraux les plus aigus, indiquant un changement vers un comportement vocal hyperfonctionnel post charge vocale.
Wolfe et al. (2002)	3 ♀ instructrices d'aérobic avec plaintes vocales 3 ♀ instructrices d'aérobic sans plaintes vocales	30 minutes de travail	Pas de différence significative de F0, F0 DS, SPL, temps de parole, jitter, shimmer, rapport signal/bruit et mesures récoltées à l'électroglottographie (périodicité, quotient d'ouverture et quotient de vitesse) après 30 minutes de travail.

Note : seules les différences significatives sont rapportées dans ce tableau.

### **Annexe 3. Manuel d'instruction de l'APM destiné aux enseignants**

#### **INTRODUCTION**

Notre but est de rassembler des informations sur la façon dont vous, en tant qu'enseignant(e), utilisez votre voix lors d'une semaine complète de travail. L'appareil permettant de collecter ces données a été mis au point de manière à ne pas vous gêner dans vos activités quotidiennes: vous pouvez parler, chanter, respirer et vous déplacer comme vous le faites habituellement. Ainsi nous pourrions obtenir des informations relatives à l'usage vocal normal que vous faites dans votre vie quotidienne.

La collecte de données exige que le matériel fonctionne correctement. Pour cela, il est important que vous suiviez scrupuleusement les instructions qui vous sont données concernant la manipulation de l'appareil. Afin que votre participation à cette étude soit exploitable, un calibrage de l'appareil devra être effectué chaque matin par le chercheur. Il est également important que vous remplissiez quotidiennement le questionnaire distribué.

#### **Les principaux objectifs de l'étude sont :**

- 1) Quantifier l'utilisation vocale hebdomadaire chez des enseignants belges francophones
- 2) Analyser les données récoltées pour dégager un profil d'utilisation vocale
- 3) Permettre une meilleure compréhension de la demande vocale chez les enseignants afin d'améliorer la prévention et le traitement des troubles de la voix.

Votre participation nous permettra d'atteindre ces premiers objectifs.

## À PROPOS DE L'AMBULATORY PHONATION MONITOR (APM)

L'APM est un dispositif portable permettant d'enregistrer vos comportements vocaux au cours d'une journée normale d'activité. Plus précisément, l'APM mesure combien de temps et à quels moments vous parlez, à quelle intensité et à quelle fréquence.

Une fois téléchargées sur ordinateur par le chercheur, ces données peuvent être étudiées. Les données fournissent essentiellement "un profil type" de votre comportement phonatoire pendant la période de contrôle. L'APM n'enregistre en aucun cas le contenu de votre discours, il extrait seulement les paramètres acoustiques de votre voix, qui sont ensuite stockés dans un microprocesseur.

L'extraction des données est réalisée grâce à un petit capteur de vibrations (voir Figure1) monté sur un tampon de silicone qui est collé au niveau du cou et qui peut facilement se camoufler sous le col d'une chemise, d'un pull-over ou une écharpe. Ce capteur ne gêne pas le comportement phonatoire normal. Le capteur est connecté via un câble à un module portable (le microprocesseur ; voir Figure 2) porté autour de la taille dans un sac banane.



Figure 1 : capteur de vibrations



Figure 2 : microprocesseur

## INSTRUCTIONS POUR L'ENSEIGNANT(E)

Durant cette étude, vous serez amené(e) à :

- effectuer un calibrage de l'APM chaque matin, avant de débiter vos activités,
- porter l'APM toute la journée,
- remplir le questionnaire quotidiennement, afin que l'on puisse mettre en lien les données enregistrées à l'aide de l'APM et le type d'activité effectué.

### **Ce que vous devrez faire chaque matin :**

Pendant la mise en place de l'appareil et le chargement des données, le chercheur récupèrera le questionnaire que vous aurez rempli la veille.

Pour attacher le capteur: le câble du capteur sera d'abord passé sous le vêtement et ressortira au niveau de la taille. Ensuite, avec de la colle médicale, le tampon de silicone du capteur sera collé sur votre cou. Pour s'assurer que le capteur soit bien collé, il faudra appuyer dessus 1 à 2 minutes.

Le calibrage consistera pour vous à prendre une profonde inspiration et à produire le son /a/ dans un micro en commençant par le volume le plus faible possible, et en augmentant progressivement jusqu'à atteindre le volume le plus fort possible. Des essais seront faits avant l'enregistrement.

Une fois le calibrage effectué, la collecte des données commencera. On placera l'APM dans le sac banane en s'assurant que le câble soit assez lâche pour éviter de le déconnecter lors de vos mouvements. Vous pourrez ensuite ajuster à votre convenance la ceinture du sac banane.

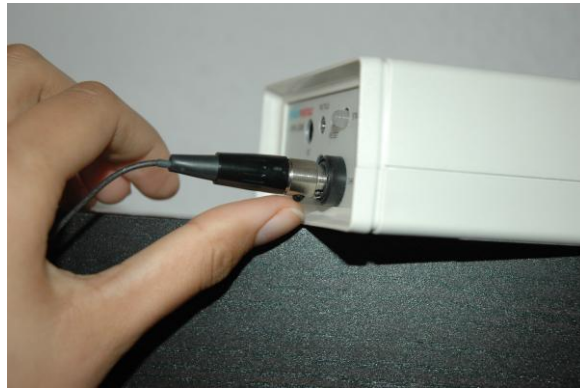
Pendant la journée, veillez à ne jamais débrancher le capteur, cela provoquerait la perte des données.



### **A la fin de la journée :**

1) déconnectez le capteur en pressant sur le bouton et en le tirant doucement en dehors du microprocesseur. Ne tirez jamais sur le câble du capteur pour le débrancher du microprocesseur, cela peut endommager le câble. Veillez à appuyer sur le petit bouton pour retirer le connecteur.

Tant que le voyant lumineux de couleur orange est allumé, l'APM fonctionne correctement. Il s'éteindra quand la batterie sera déchargée ou que le capteur sera débranché.



2) Décollez délicatement le capteur du cou en soulevant un bord du tampon de silicone. Si vous avez des difficultés à décoller le capteur, utilisez le dissolvant. Pressez sur la lingette de manière à faire couler le liquide entre la peau et le tampon de silicone. Ne décollez jamais le capteur en tirant sur le câble, cela peut endommager le câble.



3) Une fois débranché et décollé, placez le capteur dans son paquet et rangez-le dans une petite poche de la sacoche.

4) N'oubliez pas de remplir votre questionnaire journalier à la fin de la journée, il nous sera utile pour l'analyse des données.

N'oubliez pas de ramener l'APM et le capteur à l'intérieur du sac banane le lendemain.

Pour éviter le vol de l'appareil, ne le laissez pas dans votre voiture ou dans un local non fermé à clé.

### **EN CAS DE PROBLÈME...**

Si vous rencontrez le moindre problème, n'hésitez pas à nous contacter.

D'avance, nous vous remercions pour votre précieuse collaboration et votre participation à cette recherche.

**Annexe 4. Texte phonétiquement équilibré mis au point par le Professeur Bernard Harmegnies. Ce texte est utilisé lors du bilan vocal dans le service d'ORL du CHU de Liège.**

Quand René périt, un chat esseulé grogna fort.

A cet instant, Vick sortit contempler le jour naissant.

A midi, nerveux, il pensa aux blés mondés de son maître, et à tous ceux du pur roi David.

Et puis, les larmes aux yeux, il lut tout Kafka.

**Annexe 5. Interface du logiciel Pairwise mis au point par Ali Alpan  
(Laboratoires d'Images, Signaux et Dispositifs de Télécommunications,  
Université Libre de Bruxelles).**

The image shows a software interface window titled "File". The interface is designed for pairwise comparison of sounds. At the top, there is an "Initialize" button. Below it, the word "Compare" is centered. Two buttons, "Sound 1" and "Sound 2", are positioned side-by-side. Underneath these is a text input field containing the question "Selon vous, quelle est la voix la plus soufflée?". Below the input field are three radio button options: "Sound 1", "Sound 2", and "Similar". A "Next" button is located below the radio buttons. At the bottom of the interface, there are two progress indicators: "Remaining" and "Total", both showing the number "18". A "Save" button is positioned at the very bottom center.

## **Annexe 6. Consigne de passation de la tâche destinée aux juges pour le jugement perceptif de l'aspect pressé.**

Chère, cher juge,

L'épreuve de jugement perceptif qui vous est proposée s'inscrit dans le cadre d'une étude portant sur la charge vocale. D'ores et déjà, nous vous remercions infiniment pour l'aide précieuse que vous allez apporter à la réalisation de cette étude.

### **Voici ce que nous vous demandons de réaliser :**

- Vous allez entendre des paires d'échantillons vocaux. Nous vous demandons d'effectuer des jugements auditifs sur ces paires de voix, sous forme de **comparaisons**.
- Après avoir écouté chaque paire, vous devrez répondre à la question : «**Selon vous, quelle est la voix la plus pressée?** ». Cela n'implique pas que les sons proposés soient tous pressés ou pleinement pressés. Nous vous demandons simplement lequel **vous trouvez le plus pressé des deux**.

Par **voix pressée**, nous entendons une voix allant vers l'hyperfonction. Sur un même continuum, une voix pressée est à l'opposé d'une voix asthénique. En effet, dans l'échelle GRBAS, la voix asthénique est associée à une voix douce ou faible. La voix pressée, quant à elle, correspond à une voix hyperfonctionnelle. L'extrême de la voix pressée est la voix des bandes ventriculaires. D'un point de vue physiologique, la voix pressée est caractérisée par une hyper-tension des muscles laryngés. La durée importante pendant laquelle la glotte est fermée et sa fermeture abrupte s'accompagnent généralement d'une pression sous-glottique importante. En conséquence, la phonation devient globalement plus stridente, plus intense et l'énergie des harmoniques de la voix augmente.

**Pour chaque comparaison, 2 choix de réponses vous seront proposés : sound 1 – sound 2.**

Vous devrez cocher: « *sound 1* » si, pour vous, la première voix entendue est la plus pressée des 2, « *sound 2* », si, selon vous, c'est la deuxième voix qui est la plus pressée. Vous pourrez écouter autant de fois que vous le souhaitez les 2 sons proposés en appuyant sur les cases « *sound 1* » et « *sound 2* ».

**Attention, quelques remarques :**

- Vous ne pouvez pas utiliser l'option « *similar* ».
- Lorsque vous désirez passer à la question suivante, appuyez sur « *next* ».
- Veillez à ne pas appuyer sur la case « *initialize* », au risque d'effacer toutes vos réponses.
- Aussitôt la première tâche terminée, sollicitez l'examineur pour passer aux jugements suivants.

La durée de passation est estimée à 2 heures environ. Je vous invite vraiment à respecter votre rythme. N'hésitez pas à demander des pauses dès que vous sentez votre niveau d'attention diminuer.

Si vous avez des questions, n'hésitez pas à les poser. Merci d'avance pour votre participation. Bons jugements !

## **Annexe 7. Consigne de passation de la tâche destinée aux juges pour le jugement perceptif de l'aspect soufflé**

Chère, cher juge,

L'épreuve de jugement perceptif qui vous est proposée s'inscrit dans le cadre d'une étude portant sur la charge vocale. D'ores et déjà, nous vous remercions infiniment pour l'aide précieuse que vous allez apporter à la réalisation de cette étude.

### **Voici ce que nous vous demandons de réaliser :**

- Vous allez entendre des paires d'échantillons vocaux. Nous vous demandons d'effectuer des jugements auditifs sur ces paires de voix, sous forme de **comparaisons**.
- Après avoir écouté chaque paire, vous devrez répondre à la question : «**Selon vous, quelle est la voix la plus soufflée?** ». Cela n'implique pas que les sons proposés soient tous soufflés ou pleinement soufflés. Nous vous demandons simplement lequel **vous trouvez le plus soufflé des deux**.

La **voix soufflée** est une caractéristique de la qualité vocale largement évaluée en clinique au sein de l'échelle perceptuelle GRBAS. Le souffle perçu sur la voix correspond à une fuite d'air au niveau laryngé, causée par un manque de fermeture des cordes vocales. La glotte est alors élargie, ce qui implique un débit d'air excessif en phonation et, occasionnellement, une voix terne due à l'appauvrissement du timbre.

**Pour chaque comparaison, 2 choix de réponses vous seront proposés : sound 1 – sound 2.**

Vous devrez cocher: « *sound 1* » si, pour vous, la première voix entendue est la plus soufflée des 2, « *sound 2* », si, selon vous, c'est la deuxième voix qui est la plus soufflée. Vous pourrez écouter autant de fois que vous le souhaitez les 2 sons proposés en appuyant sur les cases « *sound 1* » et « *sound 2* ».

**Attention, quelques remarques :**

- Vous ne pouvez pas utiliser l'option « *similar* ».
- Lorsque vous désirez passer à la question suivante, appuyez sur « *next* ».
- Veillez à ne pas appuyer sur la case « *initialize* », au risque d'effacer toutes vos réponses.
- Aussitôt la première tâche terminée, sollicitez l'examineur pour passer aux jugements suivants.

La durée de passation est estimée à 2 heures environ. Je vous invite vraiment à respecter votre rythme. N'hésitez pas à demander des pauses dès que vous sentez votre niveau d'attention diminuer.

Si vous avez des questions, n'hésitez pas à les poser. Merci d'avance pour votre participation. Bons jugements !



**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

- Airo, E., Olkinuora, P., & Sala, E. (2000). A method to measure speaking time and speech sound pressure level. *Folia Phoniatica et Logopedica*, 52(6), 275-288.
- Akerlund, L. (1993). Phonetograms before and after exposure to noise. *Scandinavian Journal of Logopedics and Phoniatrics*, 18, 93-97.
- Aronsson, C., Bohman, M., Ternström, S., & Södersten, M. (2007). Loud voice during environmental noise exposure in patients with vocal nodules. *Logopedics, Phoniatrics, Vocology*, 32(2), 60-70.
- Baken, R. J. (1987). *Clinical Measurement of Speech and voice*. Boston, MA: Little, Brown and Company.
- Batty, S. V., Howard, D. M., Garner, P. E., Turner, P., & White, A. D. (2002). Clinical pilot study assessment of a portable real-time voice analyser. *Logopedics, Phoniatrics, Vocology*, 27(2), 59-62.
- Bele, I. V. (2005). Reliability in perceptual analysis of voice quality. *Journal of Voice*, 19(4), 555-573.
- Bergan, C. C., Titze, I. R., & Story, B. (2004). The perception of two vocal qualities in a synthesized vocal utterance: Ring and pressed voice. *Journal of Voice*, 18(3), 305-317.
- Bermudez de Alvear, R. M., Javier Baron, F., & Martinez-Arquero, A. G. (2011). School teachers' vocal use, risk

factors, and voice disorder prevalence: Guidelines to detect teachers with current voice problems. *Folia Phoniatica et Logopedica*, 63, 209-215.

BIAP. (2007a). *Recommandation biap 09/10-4 : Intelligibilité de la parole dans les salles de classe*. Retrieved from <http://www.biap.org/fr/recommandations/68-ct-9-bruit/23-recommandation-biap-0910-4--intelligibilite-de-la-parole-dans-les-salles-de-classe->

BIAP. (2007b). *Recommandation biap 27/1 : Informations concernant la prévention et la prise en charge des troubles vocaux chez les professionnels de la voix*. Retrieved from <http://www.biap.org/fr/recommandations/80-ct-27-voix-/51-recommandation-biap-271--informations-concernant-la-prevention-et-la-prise-en-charge-des-troubles-vocaux-chez-les-professionnels-de-la-voix>

Bond, Z. S., Moore, T. J., & Gable, B. (1989). Acoustic-phonetic characteristics of speech produced in noise and while wearing an oxygen mask. *Journal of the Acoustical Society of America*, 85(2), 907-912.

Bottalico, P. (2010). *Acoustical safety in classrooms*. (Unpublished doctoral dissertation), Politecnico di Torino, Torino, Italy.

Bottalico, P., & Astolfi, A. (2012). Investigations into vocal doses and parameters pertaining to primary school

teachers in classrooms. *Journal of the Acoustical Society of America*, 131(4), 2817-2827.

Bottalico, P., Garcia, D., Astolfi, A., & Brunskog, J. (2010). *Measurement of vocal doses in virtual classrooms*. Paper presented at the Internoise 2010, Lisbon, Portugal.

Boucher, V. J., Ahmarani, C., & Ayad, T. (2006). Physiologic features of vocal fatigue: Electromyographic spectral-compression in laryngeal muscles. *Laryngoscope*, 116(6), 959-965.

Boucher, V. J., & Ayad, T. (2010). Physiological attributes of vocal fatigue and their acoustic effects: A synthesis of findings for a criterion-based prevention of acquired voice disorders. *Journal of Voice*, 24(3), 324-336.

Brin, F., Courier, C., Lederlé, E., & Masy, V. (2004). *Dictionnaire d'orthophonie*. Isbergues, France: Ortho Edition.

Buekers, R. (1998). Are voice endurance tests able to assess vocal fatigue? *Clinical Otolaryngology*, 23, 533-538.

Buekers, R., Bierens, E., Kingma, H., & Marres, E. H. (1995). Vocal load as measured by the voice accumulator. *Folia Phoniatica et Logopedica*, 47(5), 252-261.

- Butler, J. E., Hammond, T. H., & Gray, S. D. (2001). Gender-related differences of hyaluronic acid distribution in the human vocal fold. *Laryngoscope*, *111*(5), 907-911.
- Carroll, T., Nix, J., Hunter, E. J., Emerich, K., Titze, I. R., & Abaza, M. (2006). Objective measurement of vocal fatigue in classical singers: A vocal dosimetry pilot study. *Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, *135*(4), 595-602.
- Chan, K. M., & Yiu, E. M. (2002). The effect of anchors and training on the reliability of perceptual voice evaluation. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *45*(1), 111-126.
- Chang, A., & Karnell, M. P. (2004). Perceived phonatory effort and phonation threshold pressure across a prolonged voice loading task: A study of vocal fatigue. *Journal of Voice*, *18*(4), 454-466.
- Chen, S. H., Chiang, S.-C., Chung, Y.-M., Hsiao, L.-C., & Hsiao, T.-Y. (2010). Risk factors and effects of voice problems for teachers. *Journal of Voice*, *24*(2), 183-190.
- Cheyne, H. A., Hanson, H. M., Genereux, R. P., Stevens, K. N., & Hillman, R. E. (2003). Development and testing of a portable vocal accumulator. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *46*(6), 1457-1467.

- Cohen, S. M., Kim, J., Roy, N., Asche, C., & Courey, M. (2012). Prevalence and causes of dysphonia in a large treatment-seeking population. *Laryngoscope*, *122*(2), 343-348. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/lary.22426>
- Comins, D. (2002). *Survey of UK voice clinics 2001/2: Voice Care Network UK*.
- Daugherty, J. F., Manternach, J. N., & Price, K. K. (2011). Student Voice Use and Vocal Health During an All-State Chorus Event. *Journal of Research in Music Education*, *58*(4), 346–367.
- De Bodt, M. S., Wuyts, F. L., Van de Heyning, P. H., & Croux, C. (1997). Test-retest study of the GRBAS scale: Influence of experience and professional background on perceptual rating of voice quality. *Journal of Voice*, *11*(1), 74-80.
- De Bodt, M. S., Wuyts, F. L., Van de Heyning, P. H., Lambrechts, L., & Vanden Abeele, D. (1998). Predicting vocal outcome by means of a vocal endurance test: A 5-year follow-up study in female teachers. *Laryngoscope*, *108*(9), 1363-1367.
- De Jong, F. I. C. R. S., Kooijman, P. G. C., Thomas, G., Huinck, W. J., Graamans, K., & Schutte, H. K. (2006). Epidemiology of voice problems in Dutch teachers. *Folia Phoniatrica et Logopedica*, *58*(3), 186-198.

- De Medeiros, A. M., Barreto, S. M., & Assuncao, A. A. (2008). Voice disorders (dysphonia) in public school female teachers working in Belo Horizonte: Prevalence and associated factors. *Journal of Voice*, 22(6), 676-687.
- Dejonckere, P. H. (2001a). Gender differences in the prevalence of occupational voice disorders. In P. H. Dejonckere (Ed.), *Occupational voice: Care and cure* (pp. 11-20). The Hague, The Netherlands: Kugler.
- Dejonckere, P. H. (2001b). Introduction: The concept of occupational voice disorders. In P. H. Dejonckere (Ed.), *Occupational voice: Care and cure* (pp. vii-xii). The Hague, The Netherlands: Kugler.
- 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.
- Dejonckere, P. H., & Pepin, F. (1983). Study of the Lombard effect by measuring equivalent sound level. *Folia Phoniatica*, 35(6), 310-315.
- Doellinger, M., Lohscheller, J., McWhorter, A., & Kunduk, M. (2009). Variability of normal vocal fold dynamics for different vocal loading in one healthy subject

- investigated by phonovibrograms. *Journal of Voice*, 23(2), 175-181.
- Eadie, T. L., & Baylor, C. R. (2006). The effect of perceptual training on inexperienced listeners' judgments of dysphonic voice. *Journal of Voice*, 20(4), 527-544.
- Elliot, N., Sundberg, J., & Gramming, P. (1995). What happens during vocal warm-up? *Journal of Voice*, 9(1), 37-44.
- Epstein, R., Remacle, A., & Morsomme, D. (2011). From reactive intervention to proactive prevention: The evolution of occupational dysphonia. *Perspectives on Voice and Voice Disorders*, 21(2), 48-55. doi: 10.1044/vvd21.2.48
- Eskenazi, L., Childers, D. G., & Hicks, D. M. (1990). Acoustic correlates of vocal quality. *Journal of Speech and Hearing Research*, 33(2), 298-306.
- Etnic. (2010). *Statistiques du personnel de l'enseignement: Annuaire 2008-2009*. Retrieved from <http://www.enseignement.be/index.php?page=26287>
- Etnic. (2011). *Les indicateurs de l'enseignement 2011*. Retrieved from <http://www.enseignement.be/index.php?page=26464>
- Eudydice, & Eurostat. (2009). *Chiffres clés de l'éducation en Europe 2009*. Retrieved from



[http://eacea.ec.europa.eu/education/eurydice/documents/key\\_data\\_series/105FR.pdf](http://eacea.ec.europa.eu/education/eurydice/documents/key_data_series/105FR.pdf)

Eurostat. (2012). *Enseignants (CITE 0-4) et professeurs/personnel académique (CITE 5-6) par âge et sexe*. Retrieved from [http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=educ\\_pers1d&lang=fr](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=educ_pers1d&lang=fr)

Eurydice, & Eurostat. (2012). *Key Data on Education in Europe 2012*. Retrieved from <http://eacea.ec.europa.eu/education/eurydice>

Finck, C. (2005). Structure cordale et pathologies vocales. *Revue de Laryngologie Otologie Rhinologie*, 126(5), 295-300.

Finck, C. (2008). *Implantation d'acide hyaluronique estérifié lors de la microchirurgie des lésions cordales bénignes*. (Thèse de Doctorat en sciences médicales non publiée), Université de Liège, Liège, Belgique.

Finck, C., & Lejeune, L. (2009). Structure and oscillatory function of the vocal folds. In S. M. Brudzynski (Ed.), *Handbook of Mammalian Vocalization: A Neuroscience Approach* (pp. 427-438). Oxford, United Kingdom: Elsevier.

Fraj, S., Schoentgen, J., & Grenez, F. (2011). The reliability of perceptual scores of grade, roughness and breathiness

assigned to disordered voices does not depend on the number of years of professional experience of the raters. *Vocologie: Stem en Stemstoornissen*, 4, 81-86.

Fritzell, B. (1996). Voice disorders and occupations. *Logopedics, Phoniatrics, Vocology*, 21, 7-21.

Garnier, M. (2007). *Communiquer en environnement bruyant: De l'adaptation jusqu'au forçage vocal*. (Thèse de Doctorat en Acoustique Musicale non publiée), Université Paris 6, Paris.

Gaskill, C. S., O'Brien, S. G., & Tinter, S. R. (2012). The effect of voice amplification on occupational vocal dose in elementary school teachers. *Journal of Voice*, 26(5), 667.e619-667.e627. doi: 10.1016/j.jvoice.2011.10.010

Gelfer, M. P. (1995). Fundamental frequency, intensity, and vowel selection: Effects on measures of phonatory stability. *Journal of Speech and Hearing Research*, 38(6), 1189-1198.

Gelfer, M. P., Andrews, M. L., & Schmidt, C. P. (1991). Effects of prolonged loud reading on selected measures of vocal function in trained and untrained singers. *Journal of Voice*, 5(2), 158-167.

Gelfer, M. P., Andrews, M. L., & Schmidt, C. P. (1996). Documenting laryngeal change following prolonged

loud reading: A videostroboscopic study. *Journal of Voice*, 10(4), 368-377.

Ghio, A., Dufour, S., Rouaze, M., Bokanowski, V., Pouchoulin, G., Révis, J., & Giovanni, A. (2011). Perceptual assessment of dysphonia: A training protocol with natural speech. *Revue de Laryngologie Otologie Rhinologie*, 132(1), 1-9.

Giovanni, A. (2004). *Le bilan d'une dysphonie: État actuel et perspectives*. Marseille, France: Solal.

Giovanni, A., Sacre, J., & Robert, D. (2007). Forçage vocal. *Oto-rhino-laryngologie*, 20-720-A-40.

Gramming, P., Sundberg, J., Ternström, S., Leanderson, R., & Perkins, W. (1988). Relationship between changes in voice pitch and loudness. *Journal of Voice*, 2(2), 118-126.

Granqvist, S. (2003). The self-to-other ratio applied as a phonation detector for voice accumulation. *Logopedics, Phoniatrics, Vocology*, 28(2), 71-80.

Gray, S. D., Hammond, E., & Hanson, D. F. (1995). Benign pathologic responses of the larynx. *Annals of Otology, Rhinology and Laryngology*, 104(1), 13-18.

Gray, S. D., & Thibeault, S. L. (2002). Diversity in voice characteristics—interaction between genes and

environment, use of microarray analysis. *Journal of Communication Disorders*, 35(4), 347-354. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0021-9924\(02\)00089-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0021-9924(02)00089-8)

Gunter, H. E. (2004). Modeling mechanical stresses as a factor in the etiology of benign vocal fold lesions. *Journal of Biomechanics*, 37(7), 1119-1124.

Herrington-Hall, B. L., Lee, L., Stemple, J. C., Niemi, K. R., & McHone, M. M. (1988). Description of laryngeal pathologies by age, sex, and occupation in a treatment-seeking sample. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 53(1), 57-64.

Hillman, R. E., Heaton, J. T., Masaki, A., Zeitels, S. M., & Cheyne, H. A. (2006). Ambulatory monitoring of disordered voices. *Annals of Otology, Rhinology, and Laryngology*, 115(11), 795-801.

Hillman, R. E., & Mehta, D. D. (2011). Ambulatory monitoring of daily voice use. *Perspectives on Voice and Voice Disorders*, 21(2), 56-61.

Hirano, M. (1974). Morphological structure of the vocal cord as a vibrator and its variations. *Folia Phoniatica (Basel)*, 26(2), 89-94.

Hirano, M. (1981a). *Clinical examination of voice*. New York, NY: Springer-Verlag.

- Hirano, M. (1981b). Psycho-acoustic evaluation of voice: GRBAS scale for evaluating the hoarse voice. *Clinical Evaluation of Voice*. New York, NY: Springer Verlag.
- Horacek, J., Laukkanen, A.-M., Sidlof, P., Murphy, P., & Svec, J. G. (2009). Comparison of acceleration and impact stress as possible loading factors in phonation: A computer modeling study. *Folia Phoniatrica et Logopedica*, 61(3), 137-145.
- Howard, D. M., & Angus, J. A. S. (2001). Room acoustics: How they affect vocal production and perception. In P. H. Dejonckere (Ed.), *Occupational voice: Care and cure* (pp. 29-46). The Hague, The Netherlands: Kugler.
- Hsiung, M. W., Pai, L., & Wang, H. W. (2002). Correlation between voice handicap index and voice laboratory measurements in dysphonic patients. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 259(2), 97-99.
- Hunter, E. J. (2009). A comparison of a child's fundamental frequencies in structured elicited vocalizations versus unstructured natural vocalizations : A case study. *International Journal of pediatric Otorhinolaryngology*, 73, 561-571.
- Hunter, E. J. (2012). Teacher response to ambulatory monitoring of voice. *Logopedics, Phoniatrics, Vocology*, 37(3), 133-135.

- Hunter, E. J., Halpern, A. E., & Spielman, J. L. (2012). Impact of Four Nonclinical Speaking Environments on a Child's Fundamental Frequency and Voice Level: A Preliminary Case Study. *Language, Speech & Hearing Services in Schools, 43*, 253–263.
- Hunter, E. J., Tanner, K., & Smith, M. E. (2011). Gender differences affecting vocal health of women in vocally demanding careers. *Logopedics, Phoniatrics, Vocology, 36*(3), 128-136.
- Hunter, E. J., & Titze, I. R. (2009). Quantifying vocal fatigue recovery: Dynamic vocal recovery trajectories after a vocal loading exercise. *Annals of Otology, Rhinology, and Laryngology, 118*(6), 449-460.
- Hunter, E. J., & Titze, I. R. (2010). Variations in intensity, fundamental frequency, and voicing for teachers in occupational versus nonoccupational settings. *Journal of Speech, Language, & Hearing Research, 53*(4), 862-875.
- Illomaki, I., Leppanen, K., Kleemola, L., Tyrmi, J., Laukkanen, A.-M., & Vilkmann, E. (2009). Relationships between self-evaluations of voice and working conditions, background factors, and phoniatriac findings in female teachers. *Logopedics, Phoniatrics, Vocology, 34*(1), 20-31.
- Inserm. (2006). *La voix : Ses troubles chez les enseignants*. Paris, France: Inserm.

- Ishikawa, K., & Thibeault, S. (2010). Voice rest versus exercise: A review of the literature. *Journal of Voice*, 24(4), 379-387. doi: 10.1016/j.jvoice.2008.10.011
- Jacobson, B. H., Johnson, A., Grywalski, C., Silbergleit, A., Jacobson, G., Benninger, M. S., & Newman, C. W. (1997). The voice handicap index (VHI): Development and validation *American Journal of Speech-Language Pathology*, 6, 66-70.
- Jiang, J., Verdolini, K., Aquino, B., Ng, J., & Hanson, D. (2000). Effects of dehydration on phonation in excised canine larynges. *Annals of Otology, Rhinology, and Laryngology*, 109(6), 568-575.
- Jilek, C., Marienhagen, J., & Hacki, T. (2004). Vocal stability in functional dysphonic versus healthy voices at different times of voice loading. *Journal of Voice*, 18(4), 443-453.
- Jones, K., Sigmon, J., Hock, L., Nelson, E., Sullivan, M., & Ogren, F. (2002). Prevalence and risk factors for voice problems among telemarketers. *Archives of Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, 128(5), 571-577.
- Jonsdottir, V. (2002). Cordless amplifying system in classrooms. A descriptive study of teachers' and students' opinions. *Logopedics, Phoniatrics, Vocology*, 27(1), 29-36.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Jonsdottir, V., Boyle, B. E., Martin, P. J., & Sigurdardottir, G. (2002). A comparison of the occurrence and nature of vocal symptoms in two groups of Icelandic teachers. *Logopedics, Phoniatics, Vocology*, 27(3), 98-105.
- Jonsdottir, V., Laukkanen, A.-M., & Vilkmán, E. (2002). Changes in teachers' speech during a working day with and without electric sound amplification. *Folia Phoniatica et Logopedica*, 54(6), 282-287.
- Jonsdottir, V., Rantala, L., Laukkanen, A. M., & Vilkmán, E. (2001). Effects of sound amplification on teachers' speech while teaching. *Logopedics, Phoniatics, Vocology*, 26(3), 118-123.
- Kacha, A., Grenez, F., & Schoentgen, J. (2005). *Voice quality assessment by means of comparative judgments of speech tokens*. Paper presented at the Interspeech 2005, Lisbon, Portugal.
- KayPENTAX. (2009). Ambulatory Phonation Monitor, Model 3200 (Version 1.5). Montvale, NJ.
- Kelchner, L. N., Lee, L., & Stemple, J. C. (2003). Laryngeal function and vocal fatigue after prolonged reading in individuals with unilateral vocal fold paralysis. *Journal of Voice*, 17(4), 513-528.
- Kelchner, L. N., Toner, M. M., & Lee, L. (2006). Effects of prolonged loud reading on normal adolescent male



voices. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 37(2), 96-103.

Kent, R. D. (1996). Hearing and believing: Some limits to the auditory-perceptual assessment of speech and voice disorders. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 5(3), 7-23.

Klein-Dallant, C. (2006). *Voix parlée et chantée*. Ville-d'Avray, France: Klein-Dallant, C.

Kooijman, P. G. C., de Jong, F. I. C. R. S., Thomas, G., Huinck, W., Donders, R., Graamans, K., & Schutte, H. K. (2006). Risk factors for voice problems in teachers. *Folia Phoniatica et Logopedica*, 58(3), 159-174.

Kooijman, P. G. C., Thomas, G., Graamans, K., & de Jong, F. I. C. R. S. (2007). Psychosocial impact of the teacher's voice throughout the career. *Journal of Voice*, 21(3), 316-324.

Kostyk, B. E., & Rochet, A. P. (1998). Laryngeal airway resistance in teachers with vocal fatigue: A preliminary study. *Journal of Voice*, 12(3), 287-299.

Kreiman, J., & Gerratt, B. R. (2000). Sources of listener disagreement in voice quality assessment. *Journal of the Acoustical Society of America*, 108(4), 1867-1876.

Kreiman, J., Gerratt, B. R., Kempster, G. B., Erman, A., & Berke, G. S. (1993). Perceptual evaluation of voice quality:

- Review, tutorial, and a framework for future research. *Journal of Speech and Hearing Research*, 36(1), 21-40.
- Kreiman, J., Gerratt, B. R., Precoda, K., & Berke, G. S. (1992). Individual differences in voice quality perception. *Journal of Speech and Hearing Research*, 35(3), 512-520.
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33, 159-174.
- Laukkanen, A.-M., Ilomaki, I., Leppanen, K., & Vilkmán, E. (2008). Acoustic measures and self-reports of vocal fatigue by female teachers. *Journal of Voice*, 22(3), 283-289.
- Laukkanen, A.-M., Jarvinen, K., Artkoski, M., Waaramaa-Maki-Kulmala, T., Kankare, E., Sippola, S., . . . Salo, A. (2004). Changes in voice and subjective sensations during a 45-min vocal loading test in female subjects with vocal training. *Folia Phoniátrica et Logopedica*, 56(6), 335-346.
- Lauri, E. R., Alku, P., Vilkmán, E., Sala, E., & Sihvo, M. (1997). Effects of prolonged oral reading on time-based glottal flow waveform parameters with special reference to gender differences. *Folia Phoniátrica et Logopedica*, 49(5), 234-246.

- Le Huche, F., & Allali, A. (2010). *La voix: Anatomie et physiologie des organes de la voix et de la parole* (4e ed. Vol. 1). Issy-les-Moulineaux, France: Elsevier Masson.
- Lehto, L., Laaksonen, L., Vilkmán, E., & Alku, P. (2006). Occupational voice complaints and objective acoustic measurements: Do they correlate? *Logopedics, Phoniatrics, Vocology*, 31(4), 147-152.
- Lehto, L., Laaksonen, L., Vilkmán, E., & Alku, P. (2008). Changes in objective acoustic measurements and subjective voice complaints in call center customer-service advisors during one working day. *Journal of Voice*, 22(2), 164-177.
- Lejska, V. (1967). Profesionální poruchy hlasu u učitelů [Occupational voice disorders in teachers]. *Pracovní lékařství*, 19, 119-121.
- Lindstrom, F., Ohlsson, A.-C., Sjöholm, J., & Waye, K. P. (2010). Mean F0 values obtained through standard phrase pronunciation compared with values obtained from the normal work environment: A study on teacher and child voices performed in a preschool environment. *Journal of Voice*, 24(3), 319-323.
- Lindstrom, F., Ren, K., Li, H., & Waye, K. P. (2009). Comparison of two methods of voice activity detection in field studies. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 52(6), 1658-1663.

- Lindstrom, F., Waye, K. P., Sodersten, M., McAllister, A., & Ternström, S. (2011). Observations of the relationship between noise exposure and preschool teacher voice usage in day care center environments. *Journal of Voice*, 25(2), 166-172.
- Linville, S. E. (1995). Changes in glottal configuration in women after loud talking. *Journal of Voice*, 9(1), 57-65.
- Lohscheller, J., Doellinger, M., McWhorter, A. J., & Kunduk, M. (2008). Preliminary study on the quantitative analysis of vocal loading effects on vocal fold dynamics using phonovibrograms. *Annals of Otology, Rhinology, and Laryngology*, 117(7), 484-493.
- Lombard, E. (1911). Le signe de l'élévation de la voix. *Annales des Maladies de l'Oreille et du Larynx*, 37, 101-119.
- Ma, E. P., & Yiu, E. M. (2001). Voice activity and participation profile: Assessing the impact of voice disorders on daily activities. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 44(3), 511-524.
- Mann, E. A., McClean, M. D., Gurevich-Uvena, J., Barkmeier, J., McKenzie-Garner, P., Paffrath, J., & Patow, C. (1999). The effects of excessive vocalization on acoustic and videostroboscopic measures of vocal fold condition. *Journal of Voice*, 13(2), 294-302.

- Masuda, T., Ikeda, Y., Manako, H., & Komiyama, S. (1993). Analysis of vocal abuse: Fluctuations in phonation time and intensity in 4 groups of speakers. *Acta Oto-Laryngologica*, *113*(4), 547-552.
- Mattiske, J. A., Oates, J. M., & Greenwood, K. M. (1998). Vocal problems among teachers: A review of prevalence, causes, prevention, and treatment. *Journal of Voice*, *12*(4), 489-499.
- McAllister, A. M., Granqvist, S., Sjolander, P., & Sundberg, J. (2009). Child voice and noise: A pilot study of noise in day cares and the effects on 10 children's voice quality according to perceptual evaluation. *Journal of Voice*, *23*(5), 587-593.
- McCabe, D. J., & Titze, I. R. (2002). Chant Therapy For Treating Vocal Fatigue Among Public School Teachers: A Preliminary Study. *American Journal of Speech-Language Pathology*, *11*, 356-369.
- McCormick, C. A., & Roy, N. (2002). The ChatterVox portable voice amplifier: A means to vibration dose reduction? *Journal of Voice*, *16*(4), 502-508.
- McFarland, D. H. (2006). *L'anatomie en orthophonie: Parole, voix et déglutition*. Paris, France: Masson.

- Morrow, S. L., & Connor, N. P. (2011a). Comparison of voice-use profiles between elementary classroom and music teachers. *Journal of Voice*, 25(3), 367-372.
- Morrow, S. L., & Connor, N. P. (2011b). Voice amplification as a means of reducing vocal load for elementary music teachers. *Journal of voice*, 25(4), 441-446.
- Morsomme, D., Minel, L., & Verduyckt, I. (2011). Impact of teachers' voice quality on children's language processing skills. *Vocologie: Stem en Stemstoornissen*, 4, 9-15.
- Morton, V., & Watson, D. R. (2001). The impact of impaired vocal quality on children's ability to process spoken language. *Logopedics, Phoniatrics, Vocology*, 26(1), 17-25.
- Munier, C., & Kinsella, R. (2008). The prevalence and impact of voice problems in primary school teachers. *Occupational Medicine (Oxford)*, 58(1), 74-76.
- Neils, L. R., & Yairi, E. (1987). Effects of speaking in noise on vocal fatigue and vocal recovery. *Folia Phoniatrica*, 39(2), 104-112.
- Netter, F. H. (2007). Atlas d'anatomie humaine (P. Kamina, Trans.) (4e ed.). Balsamo, Italie: Masson. (Travail original publié 2006).

- Niebudek-Bogusz, E., Kotylo, P., & Sliwinska-Kowalska, M. (2007). Evaluation of voice acoustic parameters related to the vocal-loading test in professionally active teachers with dysphonia. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 20(1), 25-30. doi: 10.2478/v10001-007-0001-9
- Nix, J., Svec, J. G., Laukkanen, A.-M., & Titze, I. R. (2007). Protocol challenges for on-the-job voice dosimetry of teachers in the United States and Finland. *Journal of Voice*, 21(4), 385-396.
- Ohlsson, A. C., Brink, O., & Lofqvist, A. (1989). A voice accumulation: Validation and application. *Journal of Speech and Hearing Research*, 32(2), 451-457.
- Popolo, P. S., Rogge-Miller, K., Svec, J. G., & Titze, I. R. (2002). Technical considerations in the design of a wearable voice dosimeter. *The National Center for Voice and Speech Online Technical Memo*, 5. Retrieved from [www.ncvs.org](http://www.ncvs.org)
- Popolo, P. S., Svec, J. G., Hunter, E. J., Starr, A. C., Rogge-Miller, K., Nix, J., & Titze, I. R. (2004). Teachers' guide to voice dosimetry. *The National Center for Voice and Speech Online Technical Memo*, 4. Retrieved from [www.ncvs.org](http://www.ncvs.org)
- Popolo, P. S., Svec, J. G., & Titze, I. R. (2005). Adaptation of a pocket PC for use as a wearable voice dosimeter.

*Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 48(4), 780-791.

Preciado, J. A., Garcia Tapia, R., & Infante, J. C. (1998). Prevalence of voice disorders among educational professionals: Factors contributing to their appearance or their persistence. *Acta Otorrinolaringologica Espanola*, 49(2), 137-142.

Rantala, L., Haataja, K., Vilkmán, E., & Korkko, P. (1994). Practical arrangements and methods in the field examination and speaking style analysis of professional voice users. *Scandinavian Journal of Logopedics and Phoniatics*, 19, 43-54.

Rantala, L., Paavola, L., Korkko, P., & Vilkmán, E. (1998). Working-day effects on the spectral characteristics of teaching voice. *Folia Phoniatica et Logopedica*, 50(4), 205-211.

Rantala, L., & Vilkmán, E. (1999). Relationship between subjective voice complaints and acoustic parameters in female teachers' voices. *Journal of Voice*, 13(4), 484-495.

Rantala, L., Vilkmán, E., & Bloigu, R. (2002). Voice changes during work: Subjective complaints and objective measurements for female primary and secondary schoolteachers. *Journal of Voice*, 16(3), 344-355.



- Remacle, A., Finck, C., Roche, A., & Morsomme, D. (2012). Vocal impact of a prolonged reading task at two intensity levels: Objective measurements and subjective self-ratings. *Journal of Voice*, 26(4), 177-186. doi: 10.1016/j.jvoice.2011.07.016
- Remacle, A., Morsomme, D., Berru , E., & Finck, C. (2012). Vocal impact of a prolonged reading task in dysphonic versus normophonic female teachers. *Journal of voice*, 26(6), 820. doi: 10.1016/j.jvoice.2012.06.002
- Remacle, M. (2003). Troubles de la voix. In J.-A. Rondal & X. Seron (Eds.), *Troubles du langage: Bases théoriques, diagnostic et r education*. Sprimont, Belgique: Mardaga.
- Remacle, M., Friedrich, G., Dikkers, F. G., & de Jong, F. (2003). Phonosurgery of the vocal folds: A classification proposal. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 260(1), 1-6.
- Revis, J., Giovanni, A., Wuyts, F., & Triglia, J. (1999). Comparison of different voice samples for perceptual analysis. *Folia Phoniatica et Logopedica*, 51(3), 108-116.
- Rogerson, J., & Dodd, B. (2005). Is there an effect of dysphonic teachers' voices on children's processing of spoken language? *Journal of Voice*, 19(1), 47-60.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Roy, N., Merrill, R. M., Gray, S. D., & Smith, E. M. (2005). Voice disorders in the general population: Prevalence, risk factors, and occupational impact. *Laryngoscope*, *115*(11), 1988-1995.
- Roy, N., Merrill, R. M., Thibeault, S., Gray, S. D., & Smith, E. M. (2004). Voice disorders in teachers and the general population: Effects on work performance, attendance, and future career choices. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *47*(3), 542-551.
- Roy, N., Merrill, R. M., Thibeault, S., Parsa, R. A., Gray, S. D., & Smith, E. M. (2004). Prevalence of voice disorders in teachers and the general population. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *47*(2), 281-293.
- Russell, A., Oates, J., & Greenwood, K. M. (1998). Prevalence of voice problems in teachers. *Journal of Voice*, *12*(4), 467-479.
- Ryu, S., Komiyama, S., Kannae, S., & Watanabe, H. (1983). A newly devised speech accumulator. *Journal for Oto-Rhino-Laryngology and Its Related Specialties*, *45*(2), 108-114.
- Sala, E., Airo, E., Olkinuora, P., Simberg, S., Strom, U., Laine, A., . . . Suonpaa, J. (2002). Vocal loading among day care center teachers. *Logopedics, Phoniatrics, Vocology*, *27*(1), 21-28.

- Sala, E., Laine, A., Simberg, S., Pentti, J., & Suonpaa, J. (2001). The prevalence of voice disorders among day care center teachers compared with nurses: A questionnaire and clinical study. *Journal of Voice, 15*(3), 413-423.
- Sander, E. K., & Ripich, D. E. (1983). Vocal fatigue. *Annals of Otolaryngology, Rhinology, and Laryngology, 92*(2), 141-145.
- Sapir, S., Keidar, A., & Mathers-Schmidt, B. (1993). Vocal attrition in teachers: Survey findings. *European Journal of Disorders of Communication, 28*(2), 177-185.
- Schloneger, M. J. (2011). Graduate student voice use and vocal efficiency in an opera rehearsal week: A case study. *Journal of Voice, 25*(6), e265-273.
- Sherman, D., & Jensen, P. J. (1962). Harshness and oral-reading time. *Journal of Speech and Hearing Disorders, 27*, 172-177.
- Sihvo, M., Laippala, P., & Sala, E. (2000). A study of repeated measures of softest and loudest phonations. *Journal of Voice, 14*(2), 161-169.
- Sihvo, M., & Sala, E. (1996). Sound level variation findings for pianissimo and fortissimo phonations in repeated measurements. *Journal of Voice, 10*(3), 262-268.

- Simberg, S., Laine, A., Sala, E., & Ronnema, A. M. (2000). Prevalence of voice disorders among future teachers. *Journal of Voice, 14*(2), 231-235.
- Simberg, S., Sala, E., Laine, A., & Ronnema, A. M. (2001). A fast and easy screening method for voice disorders among teacher students. *Logopedics, Phoniatrics, Vocology, 26*(1), 10-16.
- Simberg, S., Sala, E., & Ronnema, A. M. (2004). A comparison of the prevalence of vocal symptoms among teacher students and other university students. *Journal of Voice, 18*(3), 363-368.
- Sliwinska-Kowalska, M., Niebudek-Bogusz, E., Fiszler, M., Los-Spychalska, T., Kotylo, P., Sznurowska-Przygocka, B., & Modrzewska, M. (2006). The prevalence and risk factors for occupational voice disorders in teachers. *Folia Phoniatica et Logopedica, 58*(2), 85-101.
- Smith, E., Gray, S. D., Dove, H., Kirchner, L., & Heras, H. (1997). Frequency and effects of teachers' voice problems. *Journal of Voice, 11*(1), 81-87.
- Smith, E., Kirchner, H. L., Taylor, M., Hoffman, H., & Lemke, J. H. (1998). Voice problems among teachers: Differences by gender and teaching characteristics. *Journal of Voice, 12*(3), 328-334.

- Smith, E., Lemke, J., Taylor, M., Kirchner, H. L., & Hoffman, H. (1998). Frequency of voice problems among teachers and other occupations. *Journal of Voice, 12*(4), 480-488.
- Sodersten, M., Granqvist, S., Hammarberg, B., & Szabo, A. (2002). Vocal behavior and vocal loading factors for preschool teachers at work studied with binaural DAT recordings. *Journal of Voice, 16*(3), 356-371.
- Södersten, M., & Hammarberg, B. (1993). Effects of voice training in normal-speaking women: Videostroboscopic, perceptual, and acoustic characteristics. *Scandinavian Journal of Logopedics and Phoniatics, 18*, 33-42.
- Sodersten, M., Hertegard, S., & Hammarberg, B. (1995). Glottal closure, transglottal airflow, and voice quality in healthy middle-aged women. *Journal of Voice, 9*(2), 182-197.
- Sodersten, M., & Lindestad, P. A. (1990). Glottal closure and perceived breathiness during phonation in normally speaking subjects. *Journal of Speech and Hearing Research, 33*(3), 601-611.
- Sodersten, M., Ternstrom, S., & Bohman, M. (2005). Loud speech in realistic environmental noise: Phonetogram data, perceptual voice quality, subjective ratings, and gender differences in healthy speakers. *Journal of Voice, 19*(1), 29-46.

- Solomon, N. P., & DiMattia, M. S. (2000). Effects of a vocally fatiguing task and systemic hydration on phonation threshold pressure. *Journal of Voice*, *14*(3), 341-362.
- Solomon, N. P., Glaze, L. E., Arnold, R. R., & Van Mersbergen, M. R. (2003). Effects of a vocally fatiguing task and systemic hydration on men's voices. *Journal of Voice*, *17*(1), 31-46.
- Stemple, J. C., Stanley, J., & Lee, L. (1995). Objective measures of voice production in normal subjects following prolonged voice use. *Journal of Voice*, *9*(2), 127-133.
- Stone, R., & Scharf, D. (1973). Vocal change associated with the use of atypical pitch and intensity levels. *Folia Phoniatica et Logopedica*, *25*, 91-103.
- Sundberg, J., Thalen, M., Alku, P., & Vilkman, E. (2004). Estimating perceived phonatory pressedness in singing from flow glottograms. *Journal of Voice*, *18*(1), 56-62.
- Svec, J. G., Popolo, P. S., & Titze, I. R. (2003). Measurement of vocal doses in speech: Experimental procedure and signal processing. *Logopedics, Phoniatrics, Vocology*, *28*(4), 181-192.
- Svec, J. G., Titze, I. R., & Popolo, P. S. (2003). Vocal dosimetry: Theoretical and practical issues. In G. Schade, F. Müller, T. Wittenberg & M. Hess (Eds.), *Proceeding Papers for the Conference Advances in Quantitative Laryngology*,

*Voice and Speech Research* (pp. 1-8). Stuttgart, Germany: IRB Verlag.

Szabo, A., Hammarberg, B., Håkansson, A., & Södersten, M. (2001). A voice accumulator device: Evaluation based on studio and field recordings. *Logopedics, Phoniatrics, Vocology*, 26(3), 102-117.

Ternström, S., Bohman, M., & Södersten, M. (2006). Loud speech over noise: Some spectral attributes, with gender differences. *Journal of the Acoustical Society of America*, 119(3), 1648-1665.

Ternstrom, S., Sodersten, M., & Bohman, M. (2002). Cancellation of simulated environmental noise as a tool for measuring vocal performance during noise exposure. *Journal of Voice*, 16(2), 195-206.

Teston, B. (2004). L'évaluation instrumentale des dysphonies : État actuel et perspectives d'évolution. In A. Giovanni (Ed.), *Le bilan d'une dysphonie : État actuel et perspectives*. Marseille, France: Solal.

Thibeault, S. L., Merrill, R. M., Roy, N., Gray, S. D., & Smith, E. M. (2004). Occupational risk factors associated with voice disorders among teachers. *Annals of Epidemiology*, 14(10), 786-792.

Thomas, G., de Jong, F. I. C. R. S., Cremers, C. W. R. J., & Kooijman, P. G. C. (2006). Prevalence of voice

complaints, risk factors and impact of voice problems in female student teachers. *Folia Phoniatica et Logopedica*, 58(2), 65-84.

Thomas, G., Kooijman, P. G. C., Donders, A. R. T., Cremers, W. R. J., & de Jong, F. I. C. R. S. (2007). The voice handicap of student-teachers and risk factors perceived to have a negative influence on the voice. *Journal of Voice*, 21(3), 325-336.

Titze, I. R. (1994). Mechanical stress in phonation. *Journal of Voice*, 8(2), 99-105.

Titze, I. R. (1999). Toward occupational safety criteria for vocalization. *Logopedics, Phoniatrics, Vocology*, 24(2), 49-54.

Titze, I. R. (2000). *Principles of Voice Production* (2nd ed.). Iowa City, IA: National Center for Voice and Speech.

Titze, I. R. (2001). Criteria for occupational risk in vocalization. In P. H. Dejonckere (Ed.), *Occupational voice: Care and cure* (pp. 1-10). The Hague, The Netherlands: Kugler.

Titze, I. R., Hunter, E. J., & Svec, J. G. (2007). Voicing and silence periods in daily and weekly vocalizations of teachers. *Journal of the Acoustical Society of America*, 121(1), 469-478.



- Titze, I. R., Lemke, J., & Montequin, D. (1997). Populations in the U.S. workforce who rely on voice as a primary tool of trade: A preliminary report. *Journal of Voice, 11*(3), 254-259.
- Titze, I. R., Svec, J. G., & Popolo, P. S. (2003). Vocal dose measures: Quantifying accumulated vibration exposure in vocal fold tissues. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 46*(4), 919-932.
- UNESCO. (2012). *Education Statistics: Teachers as percentage of labor force (most recent) by country*. Retrieved from [http://www.nationmaster.com/graph/edu\\_tea\\_as\\_per\\_of\\_lab\\_for-education-teachers-percentage-labor-force](http://www.nationmaster.com/graph/edu_tea_as_per_of_lab_for-education-teachers-percentage-labor-force)
- Van Den Berg, J. (1958). Myoelastic-aerodynamic theory of voice production. *Journal of Speech and Hearing Research, 1*(3), 227-244.
- Van Houtte, E., Claeys, S., Wuyts, F., & Van Lierde, K. (2011). The impact of voice disorders among teachers: Vocal complaints, treatment-seeking behavior, knowledge of vocal care, and voice-related absenteeism. *Journal of Voice, 25*(5), 570-575.
- Van Houtte, E., Van Lierde, K., D'Haeseleer, E., & Claeys, S. (2010). The prevalence of laryngeal pathology in a treatment-seeking population with dysphonia. *Laryngoscope, 120*(2), 306-312. doi: 10.1002/lary.20696

- Van Lierde, K., Claeys, S., Dhaeseleer, E., Deley, S., Derde, K., Herregods, I., Strybol, I. and Wuyts, F. (2010). The vocal quality in female student teachers during the 3 years of study. *Journal of Voice*, 24(5), 599-605.
- Vargas, F. (2002). *Coule la Seine*. Paris, France: J'ai lu.
- Verdolini Abbott, K., Li, N. Y. K., Branski, R. C., Rosen, C. A., Grillo, E., Steinhauer, K., & Hebda, P. A. (2012). Vocal exercise may attenuate acute vocal fold inflammation. *Journal of Voice*, 26(6), 814.e811-814.e813. doi: 10.1016/j.jvoice.2012.03.008
- Verdolini, K., & Ramig, L. O. (2001). Review: Occupational risks for voice problems. *Logopedics, Phoniatrics, Vocology*, 26(1), 37-46.
- Verdolini, K., Titze, I. R., & Fennell, A. (1994). Dependence of phonatory effort on hydration level. *Journal of Speech and Hearing Research*, 37(5), 1001-1007.
- Vilkman, E. (2000). Voice problems at work: A challenge for occupational safety and health arrangement. *Folia Phoniatica et Logopedica*, 52, 120-125.
- Vilkman, E. (2004). Occupational safety and health aspects of voice and speech professions. *Folia Phoniatica et Logopedica*, 56(4), 220-253.

- Vilkman, E., Lauri, E. R., Alku, P., Sala, E., & Sihvo, M. (1997). Loading changes in time-based parameters of glottal flow waveforms in different ergonomic conditions. *Folia Phoniatica et Logopedica*, 49(5), 247-263.
- Vilkman, E., Lauri, E. R., Alku, P., Sala, E., & Sihvo, M. (1999). Effects of prolonged oral reading on F0, SPL, subglottal pressure and amplitude characteristics of glottal flow waveforms. *Journal of Voice*, 13(2), 303-312.
- Villanueva-Reyes, A. (2011). Voice disorders in the metropolitan area of San Juan, Puerto Rico: Profiles of occupational groups. *Journal of Voice*, 25(1), 83-87.
- Vintturi, J. (2001). *Studies on voice production with a specific emphasis on vocal loading, gender, some exposure factors and intensity regulation*. (Unpublished doctoral Thesis), Helsinki University Central Hospital, University of Oulu and Helsinki University of Technology, Helsinki and Oulu, Finland.
- Vintturi, J., Alku, P., Lauri, E. R., Sala, E., Sihvo, M., & Vilkman, E. (2001a). The effects of post-loading rest on acoustic parameters with special reference to gender and ergonomic factors. *Folia Phoniatica et Logopedica*, 53(6), 338-350.
- Vintturi, J., Alku, P., Lauri, E. R., Sala, E., Sihvo, M., & Vilkman, I. (2001b). Objective analysis of vocal warm-up with special reference to ergonomic factors. *Journal of Voice*, 15(1), 36-53.

- Vintturi, J., Alku, P., Sala, E., Sihvo, M., & Vilkmán, E. (2003). Loading-related subjective symptoms during a vocal loading test with special reference to gender and some ergonomic factors. *Folia Phoniatrica et Logopedica*, 55(2), 55-69.
- Wallonie-Bruxelles, F. (2012). Organisation de l'enseignement maternel et primaire ordinaire: Circulaire pour l'année scolaire 2012-2013, from [http://www.gallilex.cfwb.be/document/pdf/37568\\_000.pdf](http://www.gallilex.cfwb.be/document/pdf/37568_000.pdf)
- Ward, A., & Litman, D. (2007). Automatically measuring lexical and acoustic/prosodic convergence in tutorial dialog corpora. *Speech and Language Technology in Education, October 1-3*. Retrieved from <http://www.isca-speech.org/archive>
- Watanabe, H., Shin, T., Oda, M., Fukaura, J., & Komiyama, S. (1987). Measurement of total actual speaking time in a patient with spastic dysphonia. *Folia Phoniatrica et Logopedica*, 39(2), 65-70.
- Welham, N. V., & MacLagan, M. A. (2003). Vocal fatigue: Current knowledge and future directions. *Journal of Voice*, 17(1), 21-30.
- Woisard, V., Bodin, S., & Puech, M. (2004). The voice handicap index: Impact of the translation in French on the validation. *Revue de Laryngologie Otologie Rhinologie*, 125(5), 307-312.

- Woisard, V., Bodin, S., Yardeni, E., & Puech, M. (2007). The voice handicap index: Correlation between subjective patient response and quantitative assessment of voice. *Journal of Voice, 21*(5), 623-631.
- Wolfe, V., Fitch, J., & Martin, D. (1997). Acoustic measures of dysphonic severity across and within voice types. *Folia Phoniatrica et Logopedica, 49*(6), 292-299.
- Wolfe, V., Long, J., Youngblood, H. C., Williford, H. N., & Olson, M. S. (2002). Vocal parameters of aerobic instructors with and without voice problems. *Journal of Voice, 16*(1), 52-60.
- Wolfe, V., & Martin, D. (1997). Acoustic correlates of dysphonia: Type and severity. *Journal of Communication Disorders, 30*(5), 403-415.
- Wuyts, F. L., De Bodt, M. S., & Van de Heyning, P. H. (1999). Is the reliability of a visual analog scale higher than an ordinal scale? An experiment with the GRBAS scale for the perceptual evaluation of dysphonia. *Journal of Voice, 13*(4), 508-517.
- Yang, W., & Bradley, J. S. (2009). Effects of room acoustics on the intelligibility of speech in classrooms for young children. *Journal of the Acoustical Society of America, 125*(2), 922-933.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Yiu, E. M., & Chan, R. M. (2003). Effect of hydration and vocal rest on the vocal fatigue in amateur karaoke singers. *Journal of Voice, 17*(2), 216-227.
- Yiu, E. M., & Ho, P. S. (1991). Voice problems in Hong Kong: A preliminary report. *Australian Journal of Human Communication Disorders, 19*, 45-58.