



HAL
open science

Temps phonatoire, rapport s/z et a/z : repères en lien avec la prise en charge orthophonique

Etienne Sicard, Anne Menin-Sicard

► To cite this version:

Etienne Sicard, Anne Menin-Sicard. Temps phonatoire, rapport s/z et a/z : repères en lien avec la prise en charge orthophonique. [Rapport de recherche] INSA Toulouse. 2022. hal-03662213

HAL Id: hal-03662213

<https://hal.science/hal-03662213v1>

Submitted on 9 May 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Temps phonatoire, rapport s/z et a/z : repères en lien avec la prise en charge orthophonique

Etienne Sicard (1,2), Anne Menin-Sicard (2)
INSA-GEI, 135 Avenue de Rangueil, 31077 Toulouse (1)
Laboratoire LURCO, UNADREO www.lurco.unadreo.org (2)

Résumé : L'épreuve du temps phonatoire est une épreuve classique du bilan de la phonation dans le cadre de l'évaluation orthophonique. Elle est pertinente dans des pathologies telles que la dysphonie mais aussi la dysarthrie. Les protocoles d'administration de cette épreuve diffèrent selon les pays ou les domaines d'application. Il existe dans le logiciel VOCALAB un outil d'analyse du temps de phonation qui a contribué à généraliser cette épreuve avec des spécificités que nous allons décrire. Nous synthétisons dans cet article les données disponibles sur le temps maximum de phonation, les rapports s/z et a/z, dont nous compilons les résultats sous forme de graphiques de synthèse, afin d'extraire des tendances globales selon l'âge et le sexe. Nous proposons ensuite des valeurs repères permettant de situer les performances d'un patient par rapport à un niveau considéré comme normal, altéré ou pathologique, dans le contexte d'un bilan orthophonique. L'évolution des paramètres de durée de phonation et rapport s/z en fonction des pathologies nous permet de situer la sensibilité de ces métriques, et d'évaluer l'intérêt de mesurer l'évolution des performances avant et après prise en charge orthophonique.

Mots clé : Temps Maximum de Phonation, TPM, rapport s/z, rendement, rapport a/z, pathologies de la voix, dysphonie, nodules, kystes, orthophonie, VOCALAB

Introduction

L'épreuve qui consiste à faire prononcer à un patient une voyelle tenue « le plus longtemps possible » est très commune dans les bilans de phonation tels que ceux décrits dans [Dejonckere 2011], [Ghio 2007], [Menin-Sicard 2013], [Mornet 2014] ou [Laganaro 2021]. Cette épreuve est appelée « *Temps de Phonation Maximum* » (TPM)¹. La voyelle utilisée est très majoritairement le /a:/ par son caractère universel. La voyelle /a/ est une voyelle considérée comme extrême car la plus ouverte de par la position basse de la mâchoire. Le patient doit prendre une inspiration maximale, et, à une hauteur spontanée et à une puissance confortable, prolonger la voyelle aussi longtemps que possible. L'extraction du temps phonatoire maximum se base en général sur trois essais comme recommandé dans [Dejonckere 2011] et dans le protocole de bilan VOCALAB de [Menin-Sicard 2013].

Cette mesure est largement utilisée en clinique orthophonique pour des raisons pratiques : il s'agit d'une approche non invasive, rapide et facile à mettre en œuvre permettant d'en déduire le rendement phonatoire. Il suffit de disposer d'un chronomètre ou d'utiliser un outil informatique permettant d'enregistrer la voix et extraire la durée de phonation sur la portion où l'énergie dépasse un certain seuil minimal. Cette mesure est considérée comme relativement fiable, comme en témoigne l'analyse de [Speyer 2010], mais les valeurs publiées dans la littérature sont assez variables, du fait de

¹ Son équivalent Anglais est le *Maximum Phonation Time* (MPT) ou *Maximum Phonation Duration* (MPD).

conditions de passation non standardisées. Ce manque de consensus est d'ailleurs assez récurrent dans le domaine de la mesure objective de la voix car il n'existe pas de guides méthodologiques concernant le matériel, le protocole d'enregistrement et le choix le plus pertinent des algorithmes d'analyse, ce qui rend difficile la comparaison des résultats entre les différentes études ou les valeurs produites par les différents logiciels d'analyse.

Le TPM est un des quatre paramètres entrant dans la formule du *Dysphonia Severity Index* (DSI) défini par [Wuyts 2000], et est considéré comme l'un des paramètres les mieux corrélés au degré de sévérité des dysphonies selon l'étude de [Yu 2001], ainsi qu'à la sévérité des dysarthries, selon [Rusz 2015].

L'une des compilations les plus anciennes sur le TPM est celle de [Kent 1987], qui répertorie sous forme de tableaux les valeurs de temps maximum de phonation du /a:/ en fonction de l'âge et du genre. Une revue des données plus complète a été conduite dans l'ouvrage de [Baken 2000] *Clinical Measurement of Speech and Voice*, et porte sur plus de 20 références scientifiques. Des études plus récentes ont porté notamment le TPM pour des voix âgées [Malsan 2011] ou encore la voix de l'enfants [Tavares 2012]. Cependant, nous n'avons pas pu identifier de méta-analyse actualisée permettant de situer de manière synthétique et pratique la courbe de tendance du TPM selon l'âge, ainsi que les valeurs seuil en dessous duquel on peut considérer la phonation comme altérée ou pathologique. C'est un des objectifs de ce rapport de recherches.

L'utilisation du rapport s/z comme indicateur de sévérité de la pathologie laryngée a été étudiée initialement par [Ekkel 1981]. Différentes valeurs en fonction de l'âge ont aussi été listées dans [Kent 1987] en lien avec cette métrique, complémentaire du TPM. De même, l'ouvrage de [Baken 2000] répertorie quelques valeurs de rapports s/z publiées d'une part sur les voix normales, d'autre part sur les voix pathologiques. De nombreuses études ont suivi, en lien avec différentes pathologies telles que les nodules [Rastatter 1982], le bégaiement [Salihovic 2009], les dysphonies [De Olivera Lemos 2017], l'asthme [Dogan 2007] ou la sclérose en plaque [Dogan 2007b]. Enfin le rapport a/z est beaucoup moins traité dans la littérature [Gilman 2021], bien qu'intégré dans le protocole de bilan de l'outil VOCALAB [Menin-Sicard 2013].

Nous avons souhaité regrouper dans cet article les données disponibles sur le TPM, rapport s/z et a/z, et les présenter sous forme de graphique de synthèse, afin d'extraire des tendances globales. De ces courbes de tendance en fonction de l'âge et du sexe, nous pouvons proposer des valeurs repères destinées à être intégrées dans les mises à jour de VOCALAB. L'évolution des paramètres de durée de phonation et rapport s/z en fonction des pathologies nous permet en effet de situer la sensibilité de ces métriques, en vue de mesurer l'évolution des performances avant et après prise en charge orthophonique.

Synthèse des données disponibles sur le temps phonatoire

Nous avons identifié plus de 60 valeurs repères pour une tranche d'âge donnée d'après 35 références bibliographiques différentes. Nous avons privilégié les publications en archives ouvertes, dont certaines telles que [Kent 1987] qui dressait il y a déjà 35 ans une revue de la littérature disponible sur le sujet. Chaque valeur repère donne lieu à un point sur le graphique. Nous distinguons les courbes des hommes (Figure 1) et des femmes (Figure 2). Dans ces figures, malgré un nombre N de patients très variable (de 5 à 200 individus par tranche d'âge, selon les études), nous accordons la même importance à chaque valeur moyenne, qui est représentée par un point. Nous avons reporté en Annexes A et B le détail des 60 valeurs repères hommes et 60 valeurs femmes, complétées avec le nombre de personnes et l'écart-type des valeurs obtenues.

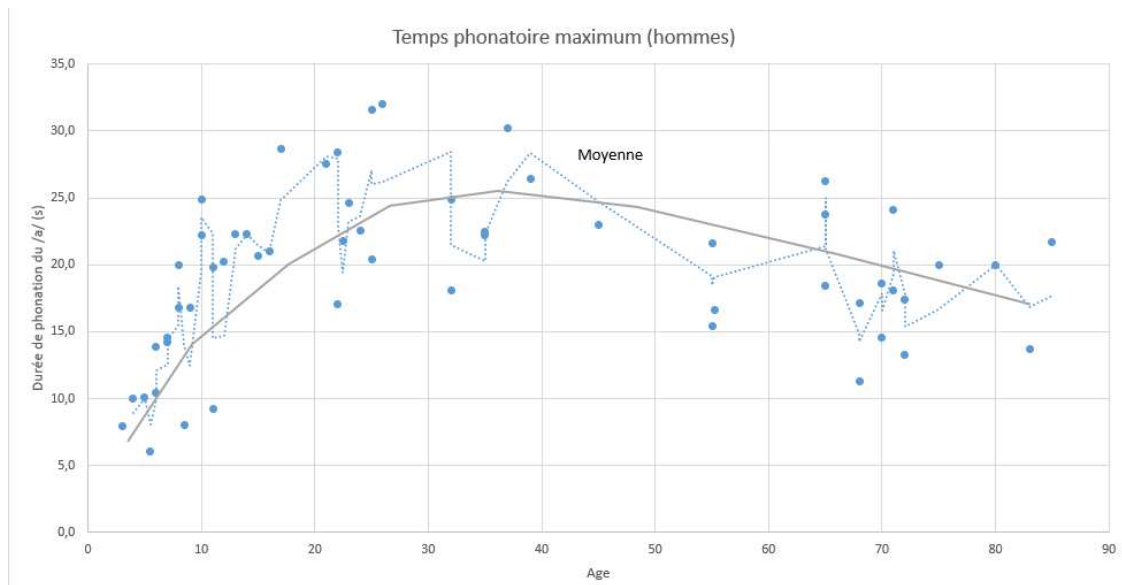


Figure 1 : TPM hommes selon 50 données de publications scientifiques, en fonction de l'âge moyen des tranches d'âges analysées, total 1950 hommes

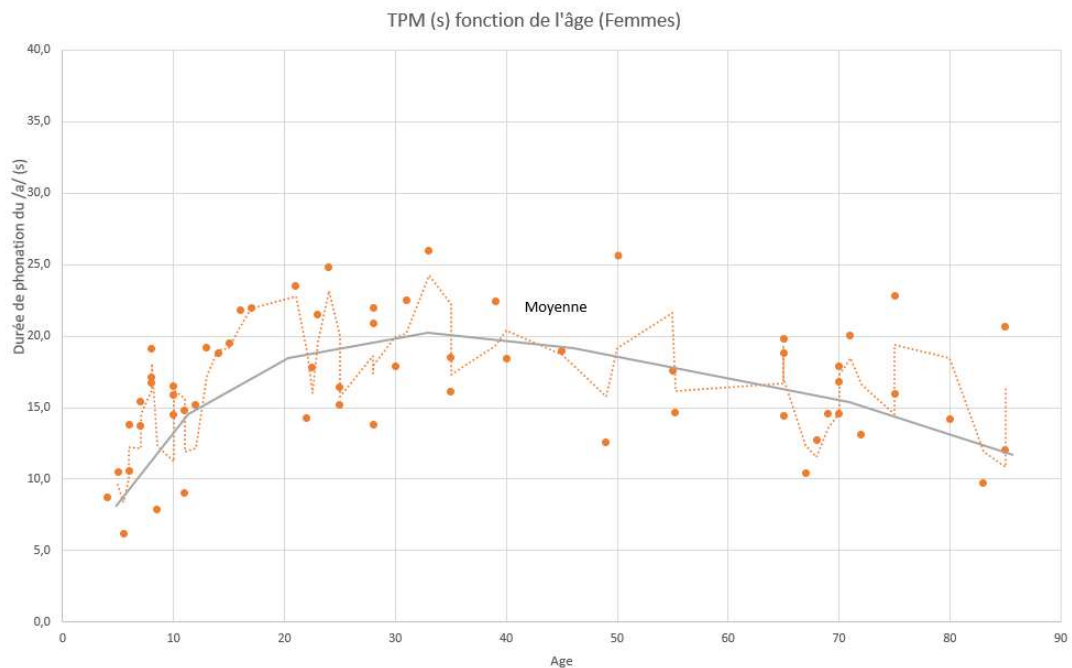


Figure 2 : TPM femmes selon 50 données de publications scientifiques, en fonction de l'âge moyen des tranches d'âges analysées, total 2100 femmes

Nous ajoutons aussi une moyenne glissante en pointillés bleus, et une moyenne lissée en gris, comme illustré aux figures 1 & 2. Les écarts entre les résultats des études, pour un âge donné, sont importants. Il est possible de distinguer une courbe haute, une courbe basse, et de nombreux points entre ces tendances extrêmes. On peut aussi noter sur la figure 1 une tendance à l'élévation jusqu'à 30 ans, avec un TPM qui atteint 25 secondes, puis une légère tendance à la baisse avec l'âge. Concernant les femmes, la forme de la courbe est similaire (figure 2), le TPM s'élevant à 20 secondes en moyenne entre 20 et 50 ans, soit 5,0 secondes de moins que les hommes. La différence moyenne entre les TPM hommes & femmes sur la tranche 15-65 ans est de 4,0 secondes environ.

Approximation de la probabilité par une loi Normale (courbe de Gauss)

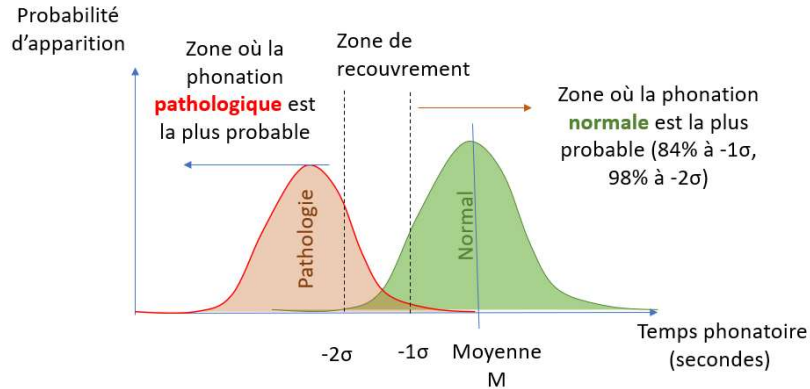


Figure 3 : distribution du TPM pour le groupe normal et le groupe pathologique selon une distribution de type Gaussienne

L'écart-type sur la tranche 15-65 ans des valeurs de TPM est de 7 secondes pour les hommes et 6 secondes pour les femmes, en faisant la moyenne des écarts types publiés dans les différentes ressources bibliographiques, qu'elle soit pondérée ou non par le nombre de patients analysés (Annexes A et B). On considère la loi normale (courbe en forme de Gaussienne, voir figure 3) comme un modèle acceptable de la distribution statistique des valeurs de TPM correspondant à une phonation normale. Nous pouvons définir (table 1) :

- Une première valeur seuil à 1 écart type σ en dessous de la moyenne. Environ 84% des personnes normales ont un TPM supérieur à ce seuil. Ce seuil vaut environ 13 secondes pour les femmes et 15 secondes pour les hommes.
- Une deuxième valeur seuil à 2 σ en dessous de la moyenne. Environ 98% des personnes des personnes normales ont un TPM supérieur à ce seuil. Ce seuil vaut environ 7 secondes pour les femmes et 8 secondes pour les hommes.

Tranche d'âge	Genre	Pondéré	TPM moyen (TPM _m , s)	Ecart type (σ , s)	TPM _m - σ (s)	TPM _m - 2 σ (s)
15-65 ans	Femmes	Non	19,4	6,0	13,4	7,5
	Hommes	Non	23,1	7,2	16,0	8,8
	Femmes	Oui	18,6	6,0	12,6	6,5
	Hommes	Oui	22,2	7,3	14,9	7,6

Table 1 : repères TPM d'après les 60 valeurs extraites des analyses bibliographiques reportées en Annexes A (hommes) et B (femmes), sans prise en compte du nombre de témoins dans l'étude (lignes 1 & 2) ou avec (lignes 3 et 4)

Le changement de méthode de calcul de la moyenne (géométrique au lieu d'arithmétique) ne change qu'à la marge les valeurs seuil (entre +/- 0.1 et 0.4 secondes). La prise en compte du nombre de patients concernés sous forme d'une moyenne pondérée donne par contre une importance considérable à un petit nombre d'études telles que [Tavares 2012] avec 1660 enfants ou [Laganaro 2021] avec 202 femmes et 187 hommes.

Le principal écueil de l'étude de [Tavares 2012] est que les valeurs publiées sont significativement en dessous de toutes les autres à un âge comparable, ce qui reviendrait à abaisser la courbe de tendance, en privilégiant un protocole en particulier, ce qui semble dangereux et pourrait biaiser l'ensemble de l'étude.

En utilisant un poids logarithmique (3^{ème} et 4^{ème} lignes du tableau 1) pour limiter l'effet du nombre de témoins tout en intégrant un effet de pondération pour prendre en compte le nombre de cas dans l'étude, la moyenne des TPM et des seuils s'abaissent de 1,0 seconde environ, tandis que l'écart type reste sensiblement le même. Nous conserverons par la suite ces valeurs pondérées.

Conditions de passation

Les résultats de TPM peuvent être significativement différents en fonction du nombre d'essais (de 1 à 10 selon les auteurs), et selon l'algorithme utilisé (le maximum ou la moyenne). Nous dressons un tableau des différentes approches en reportant le nombre d'essais, la recherche de maximum ou calcul de moyenne, l'existence ou non d'un modèle, et la durée des pauses entre les essais (Table 2).

PUBLICATION	NOMBRE D'ESSAIS	CALCUL	MODELE PROPOSE	PAUSE
[SHANKS 1977]	10	Max	Oui	60 secondes
[JOHNSON 2015]	3	Max	Oui	60 secondes
[LAGANARO 2021]	Non contraint	Max des 2 essais enregistrés		
[TAVARES 2012]	3	Max	Oui	
[KNUIJT 2017]	1		Non	
[MASLAN 2011]	3	Max	Oui	60 secondes
[MENIN-SICARD 2016]	3	Moyenne	Non Consigne fournie	Pas de pause
[CUNHA 2019]	3	Moyenne		Libre
[VACA 2017]	3	Max		
[GILMAIN 2021]	1		Oui	
[VIRMANI 2016]	3	Moyenne	Non	

Table 2 : conditions de passation selon les publications

L'hétérogénéité des approches est une des explications possibles à la diversité des mesures reportées aux figures 1 et 2, et la présence de courbes « hautes » et courbes « basses ». Le calcul de la moyenne donnera des résultats en général 5 à 10% inférieurs à la recherche de maximum sur plusieurs essais, avec pause longue. Concernant cette dernière, la durée de pause entre les productions de voyelles tenues est assez variable : le temps d'une inspiration spontanée [Menin-Sicard 2016] jusqu'à une minute de récupération [Maslan 2011].

D'autres variations dans le protocole ont été étudiées, comme [Cunha 2019] qui n'observe pas de différence significative entre le TPM obtenu assis ou debout. Les valeurs des deuxièmes essais sont toujours légèrement plus élevées que pour le 1^{er} (de l'ordre de 5%).

Certaines raisons pour lesquelles les valeurs de TPM de certaines études peuvent être considérablement plus longs que ceux observés dans d'autres études sont évoquées par [Maslan 2011] : critères d'inclusion et d'exclusion plus stricts, prise en compte de sons de puissance très faible en fin de phonation, durée du repos, coaching entre les essais, nature de la consigne, effet d'entraînement ou non dans le cas des essais.

Intérêt de l'analyse des 3 essais

L'intérêt de mesurer 3 essais successifs du temps de phonation maximum sur le /a/, /s/ et /z/ est d'analyser l'évolution des durées de phonation, qui peut, en plus de situer la valeur moyenne par rapport à différents seuils, amener une information supplémentaire à l'orthophoniste.

- Si les temps de phonation s'améliorent au cours des essais, cela signifie que le patient met en place une adaptation pertinente, ce que l'on peut considérer comme une adaptation à la

situation. La possibilité d'un effet d'apprentissage est donc vu ici comme un indice positif et non un biais à éviter comme dans [Gilman 2021].

- Si les valeurs sont les mêmes au cours des 3 essais, cela signifie que le patient ne cherche pas spontanément des adaptations pour améliorer ou n'a pas les capacités phonatoires pour le faire.
- Si les valeurs au cours des 3 essais se dégradent, cela met en évidence une fatigabilité. Les reprises inspiratoires peuvent s'avérer inefficaces entre les essais.

Seuils utilisés dans VOCALAB

Une approche possible pour définir les seuils de temps phonatoire normal/altéré est de se baser sur les valeurs moyennes moins un écart type (ce qui inclut 85% des TPM normaux) et le seuil de temps phonatoire altéré/pathologique à -2 écart type (98% des TPM normaux). Ces seuils ont été calculés à la table 1, en version pondérée ou non par le nombre de témoins inclus dans les études. Nous définissons des seuils un peu plus bas que les moyennes pondérées pour les raisons suivantes :

- L'épreuve « Temps Phonatoire » telle que conçue dans VOCALAB est une épreuve d'effort dans la mesure où le protocole n'inclut pas de temps de récupération dans les 3 essais demandés du /a/, puis du /s/ et enfin du /z/, soit 9 phonations enchaînées. Plusieurs protocoles de la méta-analyse incluent une durée de récupération entre chaque essai d'une minute, comme étudié au tableau 2, ce qui n'est pas le cas ici. Le seuil doit donc être revu un peu à la baisse.
- Le calcul des indicateurs se base non pas sur le maximum des 3 valeurs, mais sur la moyenne des 3 valeurs. Nous considérons en effet que la progression ou la régression des valeurs est un indicateur intéressant des aptitudes du patient. Le seuil doit donc être une nouvelle fois revu un peu à la baisse.
- Nous ne faisons pas écouter de modèle ni ne fournissons d'exemple au patient afin de se rapprocher au maximum de la phonation spontanée. Certains auteurs tels que [Soman 1994] ont montré que la fourniture d'un modèle permettait à certains patients de prolonger la phonation un peu plus longtemps.

Les seuils Normal/Altéré et Altéré/Pathologique utilisés par VOCALAB [Sicard 2022] sont listés au tableau 3. Pour les enfants, le TPM est proportionnel à l'âge et rejoint la courbe adulte à 15 ans. Pour les personnes âgées, nous considérons au-delà de 65 ans une pente de décroissance des seuils de l'ordre de -2 secondes tous les 15 ans, en se calquant sur la tendance observée sur les courbes de tendance des figures 1 et 2. Ainsi, à 80 ans, la limite normal/altérée est abaissée à 10,0 secondes pour un homme, et à 8 secondes pour une femme.

<i>Tranche d'âge</i>	<i>Genre</i>	<i>Seuil Normal/ Altéré (s)</i>	<i>Seuil Altéré/ Pathologique (s)</i>
<i>Enfant 6-8 ans</i>	Enfant	6	4
<i>Adulte 15-65 ans</i>	Femme	10	7
	Hommes	12	8

Table 3 : Seuil TPM normal/Altéré dans VOCALAB 4.5 [Sicard 2022]

Mise sous forme d'indicateurs normalisés

Les seuils de référence sont fonction du sexe et de l'âge. L'intérêt de donner, en supplément des valeurs absolues, la performance sous forme d'un indicateur normalisé permet de s'affranchir des changements de valeurs seuils, et de présenter toujours les résultats de la même façon : plus la performance est élevée, plus l'indice de pathologie est bas, plus la couleur associée sera verte. Le seuil limite est à 1.0, indépendamment de l'âge et du sexe. Nous précisons à la table 4 le code des couleurs utilisé.

L'exemple de la figure 4 correspond au cas AS033, une femme de 64 ans avec atteinte du nerf laryngé supérieur, associé à une désynchronisation des cordes vocales (CV). L'examen laryngé a révélé une surface d'accolement limitée, une déperdition d'air, et un fonctionnement des CV asymétrique. Les valeurs affichées correspondent au cas AS033 [Menin-Sicard 2021] avant prise en charge :

- le /a/ est prononcé en moyenne 4.7 secondes, en dessous de la norme de 10 secondes pour une femme,
- Le /s/ est aussi un peu court, 8.4 secondes
- Le /z/ très court. 3.5 secondes

On note une tendance à la réduction des temps de phonation à partir du milieu de l'épreuve. La plupart des indicateurs sont hors des zones de normalité.

Indice de pathologie	Couleur	Signification
Inférieur à 0.8	Verte	TPM supérieur au seuil Normal/Altéré
0.9-1.3	Orange	TPM légèrement inférieur au seuil Normal/Altéré
Au-dessus de 1,4	Rouge	TPM inférieur au seuil Altéré/Pathologique

Table 4 : Signification des valeurs d'indice de pathologie du module Temps Phonatoire

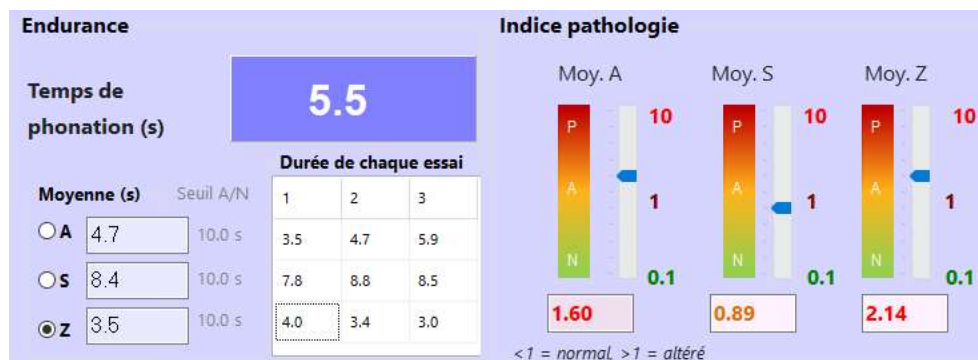


Figure 4 : Correspondance en durées de phonation et indicateurs d'altération de la phonation dans le module Temps Phonatoire, cas AS033 [Menin-Sicard 2021]

Nous définissons dans le module *Temps Phonatoire* de VOCALAB quatre zones de couleurs distinctes (figure 5) : la zone en rouge correspond à un TPM pathologique, une zone en orange correspond à un TPM altéré, la zone en vert à un TPM normal, et la zone la plus en droite, en vert plus foncé, correspond à une durée performante. Les seuils utilisés sont ceux de la table 3. Dans l'exemple présenté, les valeurs du /a/ et /z/ se situent dans la zone pathologique, le /s/ étant dans la zone altérée. Chaque barre horizontale représente une réalisation du phonème considéré, ce qui permet de juger d'un seul coup d'œil les différentes performances au cours des essais. Ici, le tableau est clairement pathologique.

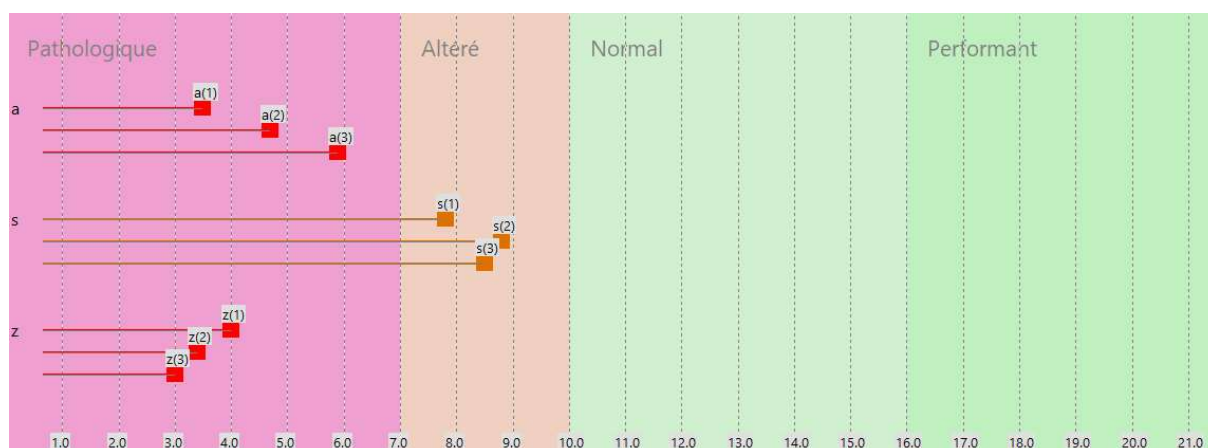


Figure 5 : Définition des durées de phonation pathologiques, altérées, et normales dans le module Temps Phonatoire, cas AS033 [Menin-Sicard 2021]

Pertinence du temps phonatoire

Différentes études comparent des groupes témoins et groupe patients en termes de temps maximum de phonation et pour des pathologies variées. Le degré de pertinence du TPM est en général assez élevé, comme en témoigne la table 5. Seulement deux études ne montrent pas de différenciation significative entre témoins et contrôles : les patients étudiés dans [Dagli 1997] avaient subi un traitement pour le cancer ORL en moyenne 3 ans avant la date d'analyse et avaient retrouvé des performances vocales quasi normales. Dans l'étude de [Salihovic 2009], les enfants avec bégaiement modéré ou sévère n'avaient pas de temps phonatoire altéré.

PATHOLOGIE	REFERENCE	AGE	N	TPM TEMOINS	TPM PATIENTS	PERTINENCE DU TPM
COVID	[Asiaee 2020]	16-77	64	H : 14,7 F : 13,5	H : 7,02 F : 6,2	***
PNEUMOPATHIE	[De Aguiar Cassiani 2013]	56-77	16	18	10,5	***
ASTHME	[Shrestha 2019]	25-60	20	14,4	7,2	***
AVC	[Ghoreyshi 2021]	45-80	100		6,7	***
GALACTOSEMIE	[Potter 2011]	4-16	33	12,3	6	***
DYSARTHRIE AVC	[De Cock 2021]	42-97	151		9	**
TUBERCULOSE	[Shrestha 2019]	25-60	20	14,4	11,3	**
DYSPHONIE	[Niebudek 2008]	23-60	133	16,6	13,3	**
PARKINSON	[Fang 2014]	55-75	16	11,3	7,3	**
DYSPHONIE DE TENSION MUSC.	[De Oliveira Lemos 2017]	47-67	30	10,8	8,15	**
SCLEROSE EN PLAQUE	[Dogan 2006]	21-56	27	23,4	15,6	**
CANCER ORL PRECOCE	[Dagli 1997]	43-86 57-87	16 4	H : 18,6 F : 16,8	H : 17 F : 15	
BEGAIEMENT	[Salihovic 2009]	7-10	34	11,2	10	

Table 5 : Pertinence de la métrique de Temps Phonatoire entre les témoins et patients selon différentes maladies. La pertinence est évaluée en général sur la base de la p-value ($p \leq 0.05$: * ; $p \leq 0.01$: ** ; $p \leq 0.001$: ***)

Rapport s/z

Les personnes ayant une phonation normale produisent en général des /s/ et des /z/ d'une durée comparable, ce qui donne un rapport de durée s/z proche de 1.0. L'idée de calculer, en plus du temps maximal de phonation du /s/ et du /z/, le rapport s/z est une idée proposée initialement par [Eckel & Boone 1981] pour tenter de mettre en évidence d'éventuels problèmes du patient à coordonner la respiration, la constriction et la phonation, qui se traduisent par un rapport s/z significativement différent de 1.0. La plage considérée comme normale est 0.8-1.2 [Tavares 2012] [Menin-Sicard 2016][De Oliveira Lemos 2017].

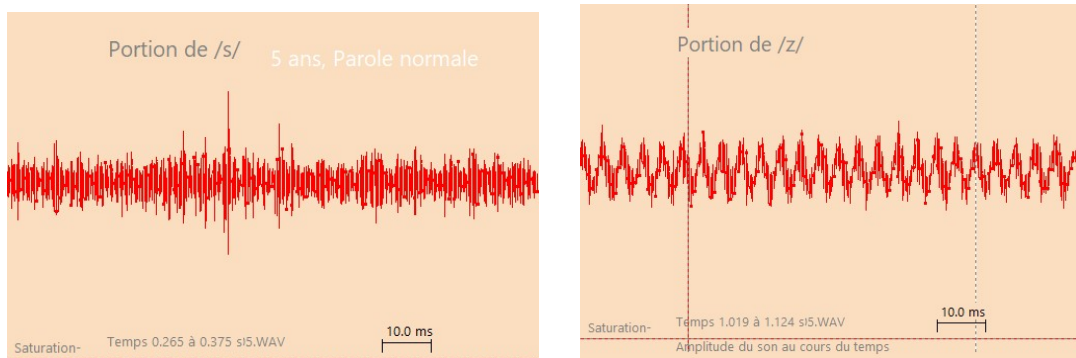


Figure 6 : Allure temporelle du /s/ (à gauche) et du /z/ (à droite), enfant de 5 ans, parole normale

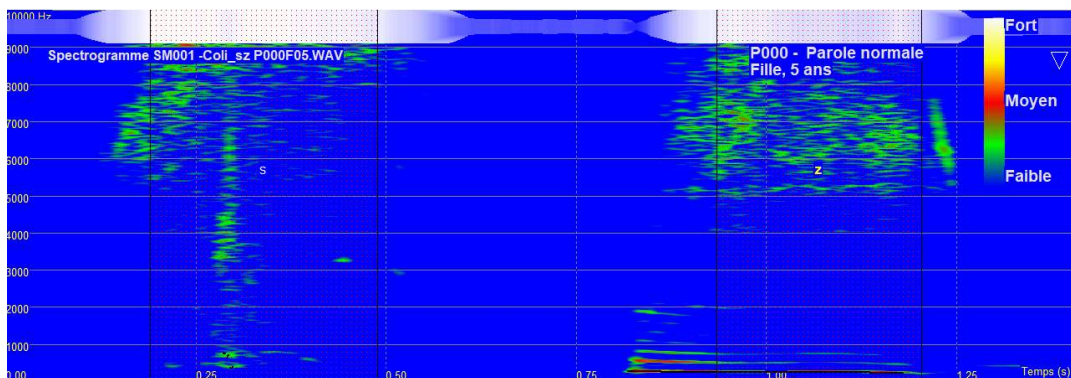


Figure 7 : Profil type du /s/ et du /z/, enfant de 5 ans, parole normale

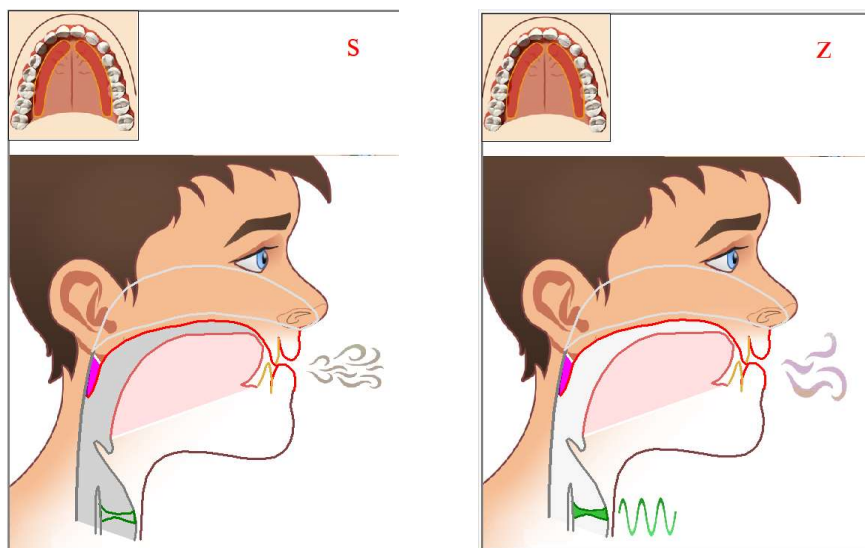


Figure 8 : Position des articulateurs pour le /s/ et le /z/ [Menin-Sicard 2019]

La signature caractéristique du /s/ et du /z/ est l'écoulement turbulent qui se traduit par du bruit à haute fréquence, principalement entre 5 et 10 KHz, comme le montre l'allure temporelle de la figure 6 et le spectrogramme de la Figure 7. La différence entre les phonèmes /s/ et /z/ est le voisement, absent pour le /s/ (on parle alors de constrictive sourde) et présent pour le /z/ (constrictive sonore), alors que les points d'articulation sont strictement identiques (figure 8).

Protocole

L'utilisation du rapport s/z dans l'évaluation clinique de la phonation a fait l'objet de nombreux débats dans la communauté scientifique dans la mesure où il existe à ce jour relativement peu de preuves de sa précision et de sa fiabilité, en partie liée à une variabilité des protocoles et aux approches d'exploitation des données différentes. A notre connaissance, aucune approche standard et d'accord de consensus à ce jour n'ont été élaborés en lien avec ce type d'analyse.

Le fait de donner ou non un modèle a par exemple une importance significative sur la durée des /s/, /z/, mais aussi du rapport s/z, comme soulignée dans [Soman 1994]. Dans cette étude, la fourniture d'un modèle entraîne des rapports s/z significativement plus élevés (1.2) qu'en l'absence de modèle (0.9), dans un test portant sur 80 femmes d'âge moyen 24 ans. Certains protocoles tels que décrit dans [Gelfer 2006] se basent sur une analyse de pression acoustique au moins égale à 60 dB, afin que le phonème soit prononcé à une puissance acceptable. Cet auteur note aussi que les durées des /s/ ont tendance à augmenter avec le nombre d'essais, les /z/ restant plutôt constants.

De son côté, [Johnson 2016] constate, pour un groupe de 10 jeunes adultes (22 ans en moyenne) et 10 adultes âgés (65 ans en moyenne) une tendance à l'augmentation de 10% de la durée de phonation sur le 2^{ème} essai, le 3^{ème} revenant aux valeurs observées en 1^{er} essai.

Influence du genre et de l'âge

Les résultats de [Tait 1980] [Alves 2015] ont indiqué qu'il n'y avait pas de différences significatives dans les valeurs de TPM /s/ et /z/ entre garçons et filles, et donc pas de différences significatives dans les rapports s/z selon le genre, ni de différences significatives en fonction de l'âge [Tavares 2012]. De manière similaire, [Gelfer2006] montre, chez 20 jeunes hommes et 20 jeunes femmes que les durées de phonation du /s/ et /z/ sont similaires, tandis que les rapports s/z sont proches de 1.0, avec cependant une variabilité notable. Les études de [Cunha 2019][Joshi 2020] montrent aussi des rapports s/z proches de 1.0, sans impact de genre.

Concernant les personnes âgées étudiées par [Pessin 2017], l'altération ou l'atrophie des cordes vocales est assez fréquent, ce qui se traduit par une diminution des performances de durée du /a/, /s/ et /z/ avec l'âge, phénomène assez net déjà mis en évidence sur les figures 1 et 2, mais sans modification importante du rapport s/z.

Synthèse des données disponibles sur s/z

En compilant différentes sources sur la valeur du rapport s/z pour hommes et femmes, nous constatons, contrairement aux valeurs de TPM, une relative constance des chiffres, que ce soit pour les enfants, adultes et personnes âgées. La valeur moyenne tous âges confondus est autour de 0,95 autant pour les hommes (figure 9) que pour les femmes (figure 10). On note une remarquable similitude de valeurs entre hommes et femmes, contrairement au décalage observé dans les courbes d'évolution du TPM. De ce fait, nous considérons dans VOCALAB la valeur 1,0 comme la norme pour tous âges et genres.

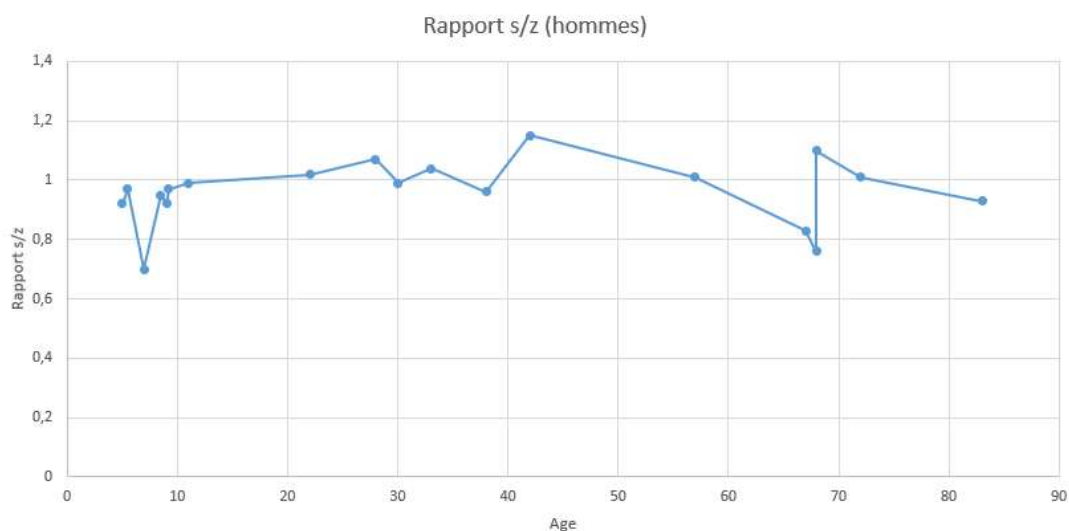


Figure 9 : Valeurs des rapports s/z publiés dans la littérature scientifique pour les hommes en fonction de l'âge.

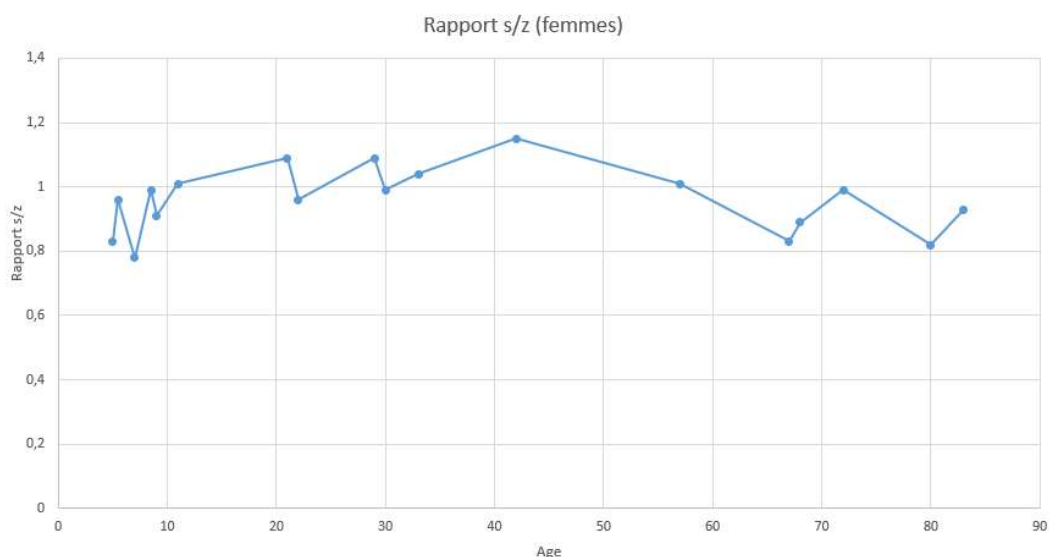


Figure 10 : Valeurs des rapports s/z publiés dans la littérature scientifique pour les femmes en fonction de l'âge.

Nous avons reporté en Annexes C et D le détail des 20 valeurs repères hommes et 20 valeurs femmes qui ont permis d'établir ces courbes, complétées avec le nombre de personnes concernées et les références aux travaux consultés.

Pertinence du rapport s/z

Nous avons rassemblé dans le tableau 6 différents résultats en lien avec des pathologies vocales et les valeurs constatées du rapport s/z. Même si dans la majorité de ces études, il n'existe pas de groupe témoin apparié, on a vu que la valeur de 1,0 pouvait être raisonnablement considérée comme une valeur de référence.

Une durée du /s/ supérieure à celle du /z/, donc un rapport s/z supérieur à 1,0 peut indiquer un problème d'accolement des cordes vocales ou une fuite d'air occasionnée par une pathologie laryngée [Roginski 2020] ou un problème de constriction. On trouve dans la littérature des rapports s/z particulièrement élevés dans [Eckel 1981], pour 28 sujets dysphoniques avec pathologie laryngée, dans [Ocal 2020] pour 47 patients ayant des polypes des cordes vocales, ou encore pour 12 jeunes adultes en hypo-hydratation [van Wyk 2017].

PATHOLOGIE	REFERENCE	AGE	N	S/Z	PERTINENCE DU RAPPORT S/Z
POLYPES	[Ocal 2020]	21-66	47	1,56	***
POLYPES, NODULES	[Watts 2014]	22-74	8	1,47	***
FUITE GLOTTIQUE	[Vaca 2017]	65-93	104	1,3	***
NODULES, POLYPES	[Eckel 1981]	Variés	28	1,4	***
PNEUMOPATHIE	[De Aguiar Cassiani 2013]	56-77	16	1,3	***
NODULES, POLYPES, KYSTES	[Virmani 2016]	20-62	30	1,37	**
DYSPHONIE ET NODULES	[Dohar 2019]	1-13	79	1,37	**
NODULES, PARALYSIE CV, OEDEME	[Thomas 2021]	Variés	524	1,2	**
HYPO HYDRATATION	[van Wyk 2017]	18-32	12	1,33	**
ASTHME	[Asnaashari 2012]	20-72	34	1,13	*
DYSPHONIE	[Eckel 1981]	Variés	36	1,0	
BEGAIEMENT	[Salihovic 2009]	7-10	34	0,92	

Table 6 : Pathologie et valeurs du rapport s/z pour le groupe patients. La pertinence est évaluée en général sur la base de la p-value ($p \leq 0.05$: * ; $p \leq 0.01$: ** , $p \leq 0.001$: ***) par rapport à un groupe contrôle, ou entre pré et post intervention

Le seuil $s/z > 1,3$ est considéré par [Vaca 2017] comme un marqueur spécifique de la fuite glottique. Sur plus de 500 cas de pathologies vocales analysés par [Thomas 2021], le rapport s/z s'élève à 1.2. En revanche, certaines dysphonies légères ou des pathologies telles que le bégaiement ne montrent pas d'impact sur le rapport s/z . On peut noter que le tableau 5 ne liste que des rapports s/z significativement supérieurs à 1.0, et aucun significativement inférieurs à 1.0.

Rapport a/z

Le /a/ est une voyelle ouverte qui n'apporte aucune résistance à l'écoulement de l'air, par comparaison au /z/ qui, grâce à la semi-occlusion et au régime turbulent de la constriction rendu possible par la position de la langue proche des dents, facilite l'efficacité phonatoire (Figure 11). L'idée de calculer le rapport a/z en plus du rapport s/z a été émise par [Menin-Sicard 2013] et implémentée dans le bilan de la phonation de VOCALAB. On trouvera des éléments en lien avec la rééducation orthophonique dans [Roginski 2020]. Contrairement au rapport s/z , il existe très peu de littérature scientifique sur le rapport a/z , à l'exception d'une publication récente de [Gilman 2021]. La table 7 résume les seuils attendus pour homme, femme et enfants pour les temps de phonation et rapports associés.

Phonème	Description	Seuil normal/altéré	Seuil altéré pathologique
/a/	Phonème le plus ouvert. N'offre aucun point d'appui articulaire. Spontané et universel. Très peu d'impédance	F : 10 s H : 12 s E : 6 s	F : 7 s H : 8 s E : 4 s
/s/	Phonème constrictif sourd, à faible débit d'air avec des composantes à très hautes fréquences sans vibration laryngée. Position des lèvres en étirement.	Identique	
/z/	Phonème constrictif sonore avec composantes à basse et très hautes fréquences. Une partie de l'air est absorbée par la vibration laryngée.	Identique	
Rapport [s/z]	Evalue l'impact de la constriction sur la phonation dans son ensemble	<0.8 ou >1.2	<0.6 ou >1.4
Rapport [a/z]	Evalue l'impact de la sonorisation sur la phonation dans son ensemble	<0.8 ou >1.2	<0.6 ou >1.4

Table 7 : Temps Phonatoire Maximum /a/, /s/, /z/, rapports s/z et a/z avec limites associées

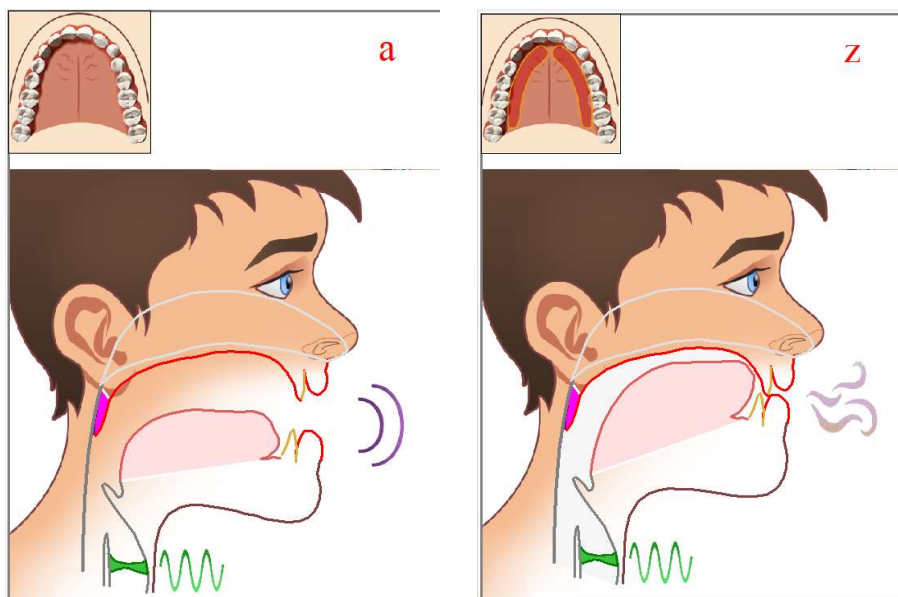


Figure 11 : Position des articulateurs pour le /a/ et le /z/ [Menin-Sicard 2019]

L'étude de [Siqueira 2020] sur les personnes âgées a montré, sur 56 seniors âgés entre 60 et 86 ans en bonne santé, une certaine tendance à la réduction du temps de phonation sur le /s/ et le /z/, tandis que le TPM du /a/ restait élevé. En d'autres termes, le rapport s/z était proche de 1.0, mais le rapport a/z serait légèrement supérieur à 1 (1.1).

Pertinence du rapport a/z

Le rapport entre la durée de la voyelle ouverte /a/ et la constrictive voisée /z/ permet d'analyser et de comprendre l'influence de l'articulation sur la sonorisation. A position d'articulateur identique (Figure 11), on cherche à savoir si la sonorisation est efficace avec constriction.

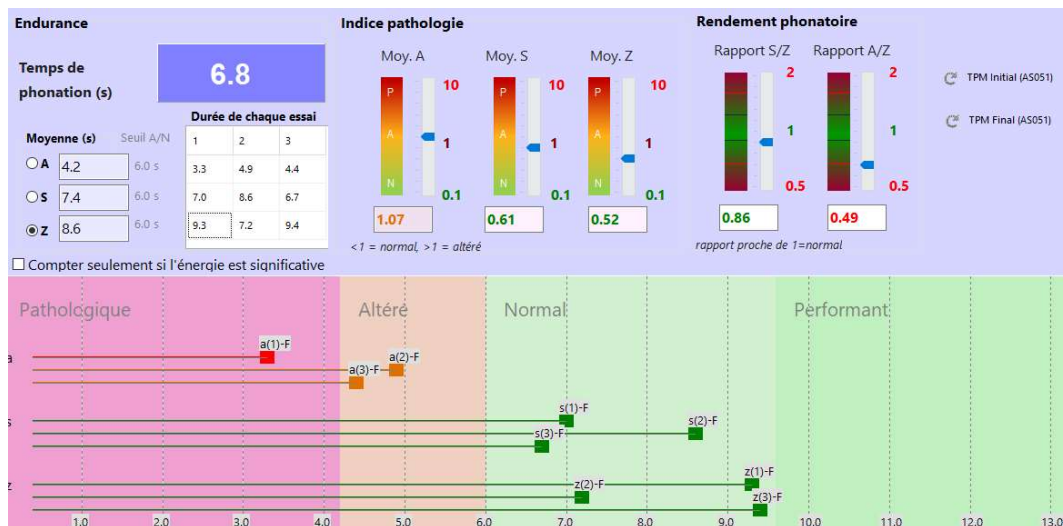


Figure 12 : Temps phonatoire après prise en charge, cas AS051 fille de 9 ans [Menin-Sicard 2021]

De manière assez générale, le /z/ a tendance à moins contenir l'air du fait de la sonorisation par relâchement spontané de la constriction, le sujet ayant tendance à s'appuyer davantage sur la sonorisation (lois de moindre effort). Si la constriction ne se relâche pas et qu'il n'y a pas d'insuffisances vélaire, le /z/ doit durer tout autant que le /s/. Le rapport s/z permet donc de savoir si le patient est en capacité de coordonner la constriction et le voisement, et s'il peut la maintenir sur la durée. Cette mesure est donc très pertinente dans le cadre de multiples pathologies telles que la dysarthrie, le trouble d'articulation, la dyspraxie verbale ou encore l'apraxie de la parole.

Il existe des pathologies pour lesquelles le TPM du /s/ et /z/ sont similaires et conformes à la norme, avec un rapport s/z proche de 1, mais le TPM du /a/ est beaucoup plus court. Pour le cas AS051 [Menin-Sicard 2021] illustré figure 12, les valeurs du TPM correspondent à une jeune fille de 9 ans, ayant un kyste intra-cordal congénital avec nodules réactionnels. Les valeurs présentées correspondent à la situation après 3 mois de prise en charge orthophonique. On constate des valeurs de TPM /s/ et /z/ assez proches, dans la norme pour l'âge, soit un rapport s/z proche de 1.0, mais un TPM du /a/ en dessous de la norme, avec un rapport a/z considéré comme pathologique. La constriction travaillée en séance avait amélioré la qualité de la pression sus-glottique et soulagé le larynx mais le kyste n'ayant pas disparu, la durée de phonation sur le /a/ demeurait altéré après 10 séances de rééducation. La tonicité vélaire n'était pas en cause puisque l'indicateur de pauvreté harmonique était redevenu conforme mais la persistance d'une efficacité glottique perturbée est ainsi mise en évidence.

Dans le cas où le /z/ est supérieur au /s/, cas de figure rencontré dans le domaine de la dysarthrie ou d'un trouble d'articulation, il y a deux causes liées aux articulateurs concernés. Soit la constriction créée par le rapprochement de la langue contre le palais et le canal médian assurant l'écoulement de l'air est inefficace (hypotonie linguale, défaut de configuration ou de position de langue), soit l'étanchéité nasale n'est pas ou peu assurée et c'est l'action du voile, (tonicité et endurance) qui est en cause. Dans ce cas, le plan glottique est efficace mais trop sollicité. La pression sus-glottique chute.

L'épreuve du temps de phonation sur 3 phonèmes est la seule épreuve du bilan de la phonation permettant une mesure indirecte de la pression sus-glottique, mesure très rarement précisée dans les comptes-rendus ORL ou phoniatriques. Cette pression sus-glottique est pourtant fondamentale pour stabiliser et soulager le plan glottique. Cette régulation de la mise en pression du conduit est étroitement dépendante du fonctionnement vélaire et du fonctionnement lingual.

La situation inverse au cas AS051 concernant les durées de /a/, /s/ et /z/ est aussi citée par [Gilman 2021] : le /a/ est soutenu 28 secondes chez un homme de 45 ans, soit un TPM normal, mais les durées du /s/ (12 secondes) et du /z/ (14 secondes) sont significativement plus courtes, proches du seuil normal/altéré, ce qui donne un rapport s/z normal et rapport a/z pathologique.

Dans [Gilman 2021], 4 groupes sont distingués, comme décrit au tableau 8 : groupe normal, fricatif, voisement ou mixte. Le rapport s/z est donc une mesure de rendement constrictivo-phonatoire, le /s/ étant une mesure d'efficacité pneumo-constrictive, le /z/ étant une mesure d'efficacité phonatoire dans son ensemble.

GROUPE	TPM	S/Z	A/Z
NORMAL	Les durées des /a/, /s/ et /z/ sont comparables et proches de la norme	1.0	1.0
FRICATIF	Durées comparables des sons fricatifs /s/ et /z/, proches de la norme, par rapport au /a/, qui est en général plus court	1.0	<<1.0
VOISEMENT	Le /z/ et le /a/ sont inférieures à la norme, et proches en durée par rapport au /s/, en général plus long.	>>1.0	1.0
MIXTE	le /s/ et le /a/ sont similaires, le /z/ est significativement plus long ou plus court.	≠1	≠1

Table 8 : Type de pathologie et influence sur les rapports s/z et a/z selon [Gilman 2021]

Le rapport a/z est tout aussi intéressant sur le plan clinique que le rapport s/z, et l'on peut s'étonner que cette mesure reste méconnue. En effet, comparer le /a/ et le /z/ permet de mesurer un paramètre crucial qui est le tonus vélaire. En produisant un /a/ tenu, le voile du palais est le seul articulateur assurant l'impédance ramenée sur le larynx, la langue ici ne jouant aucun rôle. Pour le phonème /a/ considéré comme le moins facilitateur de tous les phonèmes, seul le voile peut assurer la fonction de sphincter et de résonateur. Le rapport a/z mesure donc l'efficacité glotto-vélaire sur l'efficacité phonatoire dans son ensemble, nous l'appelons le *rendement glotto-vélo phonatoire*.

Lien avec le voile du palais

Dans le cas où le voile du palais est hypo-fonctionnel, la durée du /a/ va diminuer de façon drastique à cause de la chute de la pression sus-glottique. Le larynx compensera comme il peut cette perte d'efficacité en se contractant dans un comportement de compensation délétère et les essais comparatifs risquent de se dégrader par effet de fatigabilité. Une instabilité se manifesterait voire des interruptions de sonorisation. Ce tableau clinique est observable chez les sujets porteurs de fentes palatines ou d'insuffisance vélaire [Rousteau 2017] ou chez les patients atteints de dysarthries de type hypokinétiques. En résumé, les deux mesures de rendement s/z et a/z sont complémentaires et indissociables. Elles permettent une mesure de la pression du conduit vocal dans 3 configurations extrêmes, à forte occurrence dans la parole.

En corrélant ces mesures avec les indicateurs de qualité implémentés dans VOCALAB, nous pouvons en déduire des paramètres très importants tels que : comment se comporte la source avec impédance vélaire ou impédance linguale et surtout où se situe le problème. Son identification sera déterminante pour le choix des axes thérapeutiques. D'autre part des éléments qualitatifs tels que les signes d'effort

et de fatigabilité (essoufflements, commentaires, soulagement quand l'épreuve se termine) ainsi que la comparaison des durées au cours des essais et au cours de l'épreuve nous alerteront immédiatement sur un déséquilibre de la phonation dans son ensemble. L'intérêt de fournir des consignes strictes et un protocole contraint est de rassurer les cliniciens et de lui permettre d'acquérir une sensibilité d'interprétation des mesures au cours de sa pratique.

Implémentation

Dans l'outil VOCALAB, le module *Temps Phonatoire* permet au clinicien d'enregistrer 3 échantillons successifs du /a/, /s/ et /z/, puis, une fois les 9 réalisations complétées, de calculer les moyennes, les indices de pathologie par rapport aux durées attendues, ainsi que les rapports a/z et s/z. Les résultats peuvent être intégrés dans la fiche bilan ainsi que dans la fiche d'évolution avant/après prise en charge orthophonique.

Indices de pathologie du TPM

Les repères sont différents selon le genre et l'âge du patient. Les seuils s'abaissent en dessous de 15 ans et au-dessus de 65 ans. Les curseurs chiffrant l'indice de pathologie sur le /a/, /s/ et /z/ évaluent la distance entre les moyennes obtenues et la norme. Le code de couleur utilisé pour ces indicateurs est reporté Table 9. Pour une durée de phonation normale, l'indicateur est en dessous de 1.0, et ce indépendamment du genre et de l'âge. Plus la performance est élevée, donc plus le temps phonatoire est long, plus l'indice de pathologie est bas.

Indice de pathologie	Couleur	Signification
En dessous de 0.8	Verte	TPM normal, au-dessus de la limite normal/altéré
0.8-1.4	Orange	TPM limite normal/altéré
Au-dessus de 1,4	Rouge	TPM en dessous de la limite altéré/pathologique

Table 9 : Signification des valeurs d'indice de pathologie du module Temps Phonatoire

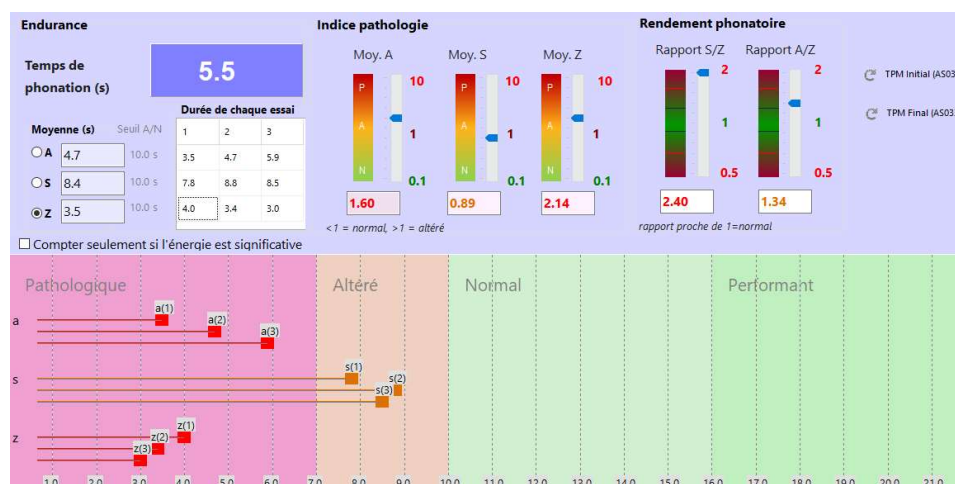


Figure 13 : Indices de pathologie associés aux durées du /a/, /s/ et /z/, et rapports associés, cas AS033, femme de 63 ans

Indices de pathologie des rapports s/z et a/z

Les curseurs des rapports s/z et a/z ont le code de couleur dont la correspondance avec la valeur calculée est illustrée à la figure 14. Les chiffres apparaissent en vert seulement pour les valeurs comprises entre 0.8 et 1.2, puis en orange entre 0.6 et 1.4, en rouge au-delà. Dans l'exemple du cas AS033 (Figure 13), le rapport s/z est rouge car très supérieur à 1.6, et le rapport a/z en orange car compris entre 1.2 et 1.4.

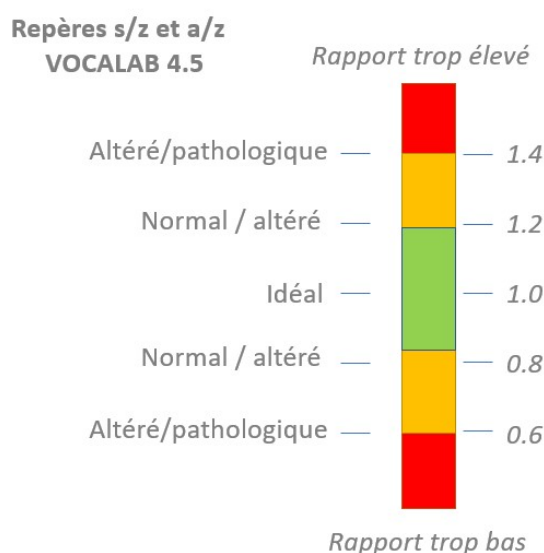


Figure 14 : Codage des couleurs selon les valeurs des rapports s/z et a/z dans VOCALAB

Analyses avant/après prise en charge

Nous dressons à la table 10 un résumé des observations extraites de différentes études avant prise en charge (PRE) puis après prise en charge (POST), concernant le temps phonatoire (TPM) et le rapport s/z.

PATHO	REFERENCE	CORPUS	TPM PRE	TPM POST	NORME TPM	S/Z PRE	S/Z POST	NORME
LESION DES CORDES VOCALES	[Virmani 2016]	19 H 11 F	9,43	14,5	>12,5 >10,5	1,37	1,15	0.8-1.2
TROUBLES VOCAUX	[De Oliveira Lemos 2017]	8 H 22F	7,91 8,15	10,8 10,6	>12,5 >10,5	30%<0.8 23%>1.2	90% dans la norme	0.8-1.2
DYSPHONIE	[Niebudek 2008]	186 F	13,3	16,6	>10,5			
NODULES, POLYPES	[Watts 2015]	8 F	12,4	15,5	>10,5	1,47	1,05	0.8-1.2
FONCT. VOIX	[Verma 2010]	62 H 38 F	14 10	16,3 13,3	>12,5 >10,5	1,27	1,04	0.8-1.2

Table 10 : Synthèse de différentes études montrant l'impact d'une thérapie sur le Temps Phonatoire et le rapport s/z

Trente patients adultes atteints de troubles vocaux bénins (8 hommes, 22 femmes) ont été pris en charge selon les protocoles standards de thérapie vocale pendant 6 mois dans [De Oliveira Lemos 2017]. Avant la prise en charge, seulement 47% des rapports s/z étaient dans la fourchette 0.8-1.2, chiffre qui s'élève à 90% après prise en charge. A noter que le TPM du /a/ progresse, les femmes passant en moyenne au-dessus du seuil altéré/normal.

Trente patients adultes (19 hommes, 11 femmes, âge moyen 42 ans) atteints de lésions des cordes vocales (polypes, nodules, kystes) ont été pris en charge selon des protocoles d'orthophonie standards dans [Virmani 2016]. La mesure du TPM sur le /a/, /s/, /z/ a été faite avant traitement, puis à 3 et 6 mois de thérapie. Le TPM sur le /a:/ a augmenté de 9,4 secondes à 14,2 secondes à 3 mois et 14,46 secondes à 6 mois. Le rapport S/Z s'est réduit de 1,37 à 1,16 à 3 mois et 1,15 à 6 mois.

L'étude de [Niebudek 2008] portant sur 186 enseignantes âgées de 23 à 60 ans (âge moyen 39 ans) ayant des troubles de la voix, a montré une augmentation significative du temps maximum de phonation après avoir suivi un programme de formation vocale adapté à leur profession. Nous trouvons aussi des performances améliorées en termes de temps phonatoire et rapport s/z dans l'étude de [Watts 2015] portant sur 8 femmes bénéficiant d'une thérapie vocale appelée « stretch-and-flow » à raison d'une fois par semaine pendant 6 semaines. Enfin, nous pouvons citer les effets de la phono-chirurgie des cordes vocales sur une centaine de patients étudiés dans [Verma 2010] où l'on constate une amélioration significative du TPM et un rapport s/z qui redevient normal après la chirurgie.

Nous présentons figures 15 & 16 les performances d'une fille de 9 ans concernant le temps phonatoire sur /a/, /s/ et /z/ permet de situer les performances selon les seuils de phonation normale, altérée ou pathologique. La figure 15 correspond au cas AS051 avant prise en charge : les performances du /a:/ sont très faibles, les valeurs de /s:/, très faibles, mais le /z:/ proche de la norme. Les rapports s/z et a/z sont très éloignés de 1. Phénomène assez rare pour être signalé, le rapport s/z est très bas.

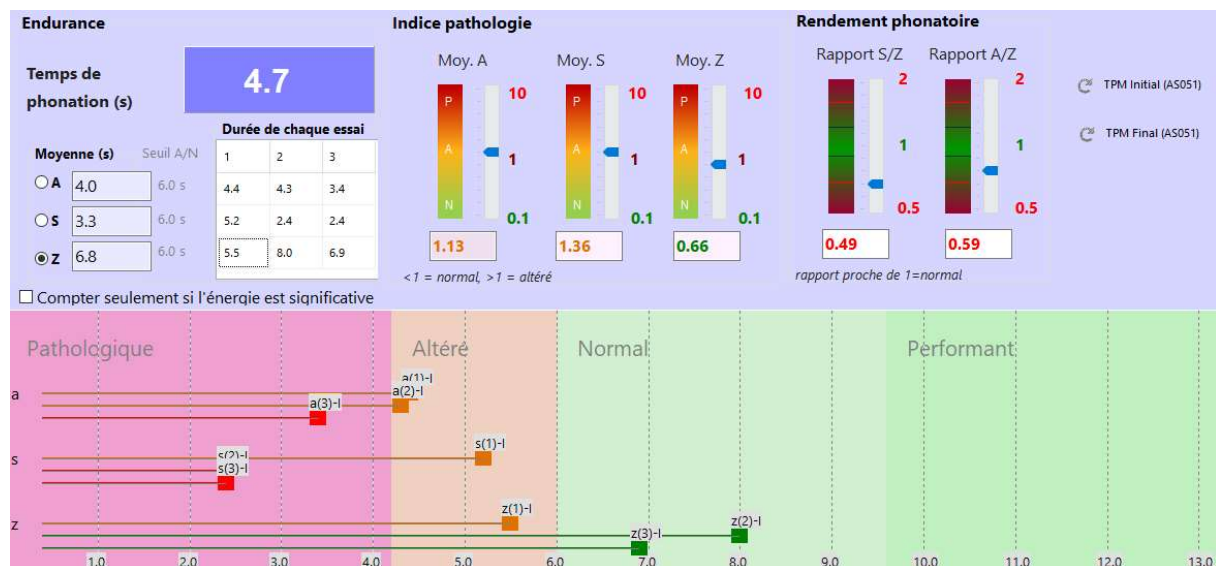


Figure 15 : Temps phonatoire du cas AS051, avant prise en charge [Menin-Sicard 2021]

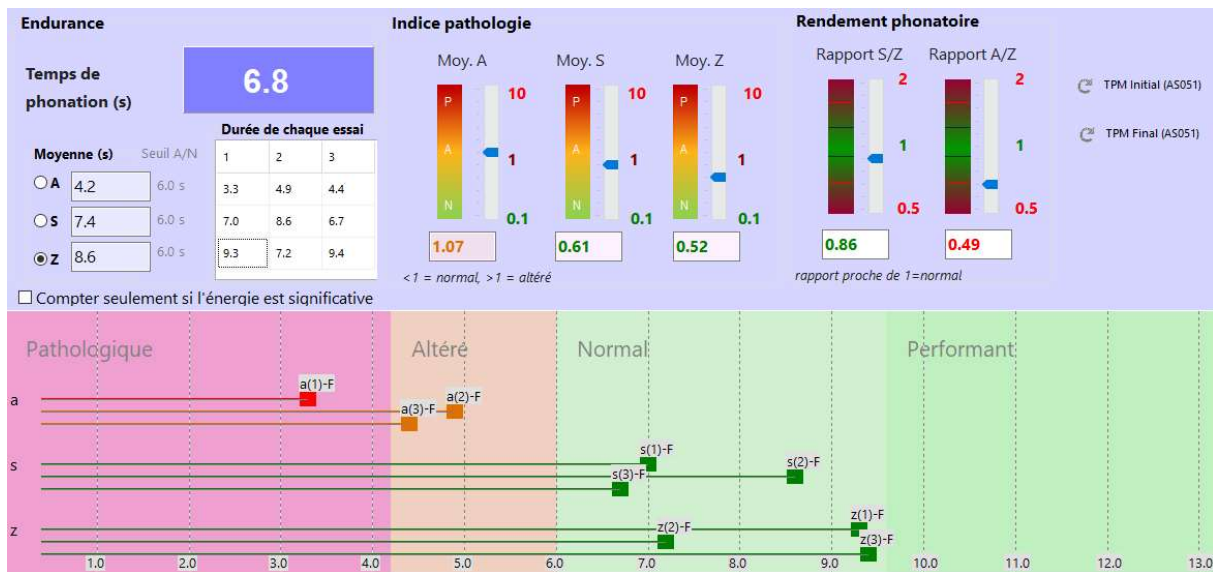


Figure 16 : Temps phonatoire du cas AS051, après prise en charge [Menin-Sicard 2021]

Après prise en charge (figure 16), les temps ne s'améliorent guère concernant le /a:/, mais les 3 réalisations du /s/ et du /z/ passent dans la zone normale après prise en charge. Le rapport s/z est revenu dans la plage nominale 0.8-1.2, mais le rapport a/z reste non conforme.

Discussion

Les conditions d'enregistrement de la voix, les réglages de la chaîne d'acquisition du son et les algorithmes de traitement du signal ont un impact sur fiabilité, la reproductibilité et la validité des analyses objectives. On peut cependant considérer que les analyses très simples comme celle du temps phonatoire maximum et des rapports s/z et a/z étudiés dans cet article sont plus influencées par la variabilité des protocoles de passation de ces épreuves, que par l'outil informatique lui-même.

Nous avons souligné l'intérêt d'effectuer 3 essais, sans aller au-delà, de ne pas donner de modèle, mais en revanche de bien donner la consigne en termes précis et surtout identiques à tous les patients et d'un bilan à l'autre, ce qui rend pertinente la comparaison avant/après prise en charge.

L'analyse des données de temps phonatoire ou de rapports s/z ou a/z ne devrait pas se concentrer uniquement sur les valeurs brutes, mais doivent prendre en compte aussi la qualité de la phonation, ou d'autres paramètres objectifs tels que l'attaque, la stabilité en hauteur et en amplitude par exemple. La figure 17 montre l'exemple d'une production de son à puissance régulière (en haut) comparée à une production de son à puissance irrégulière, pour un temps de phonation comparable. La mesure de temps phonatoire ne dispense pas d'une analyse spécifique du /a:/ tenu, notamment des paramètres d'attaque, d'instabilité en hauteur, en amplitude, en bruit et pauvreté harmonique, tels qu'évalués à l'aides d'indicateurs dédiés dans VOCALAB [Sicard 2013].

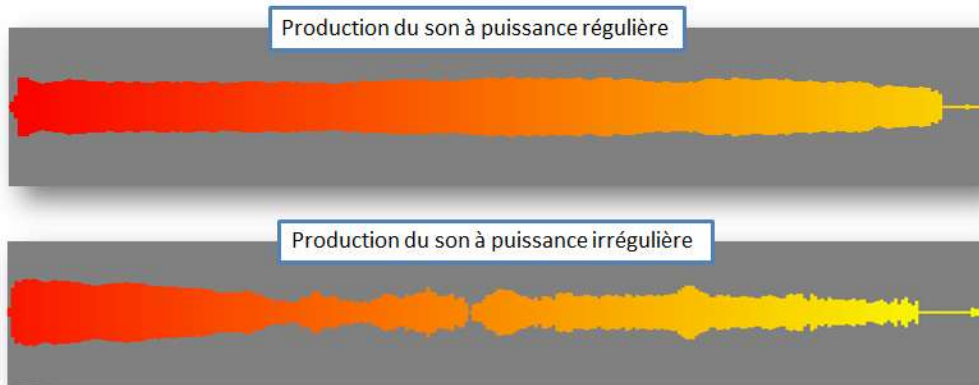


Figure 17: Puissance régulière (en haut) et irrégulière (en bas), illustration de l'efficacité de la pression expiratoire

Nous avons proposé par le biais du logiciel VOCALAB et de la méthodologie de bilan associée, des spécifications assez précises pour l'instrumentation à utiliser (microphone directif, carte son, réglage optimal), afin de contrôler aux mieux les facteurs environnementaux de l'enregistrement de la voix du patient. Nous avons aussi tenté de cadrer le plus possible les consignes de passation, afin que les tâches vocales à demander au patient soient bien comprises et que les performances soient reproductibles et donc comparables d'un bilan à un autre. Nous nous sommes appuyés sur une base la plus large possible de connaissances scientifiques pour extraire des repères sur ce que l'on peut considérer comme une phonation normale, altérée ou pathologique. Nous donnons ici la synthèse des connaissances actuelles et suggérons une approche raisonnable pour en extraire les valeurs repères.

Les seuils proposés ne doivent pas être considérés comme des limites rigides, où la voix est considérée comme fonctionnelle au-dessus d'une certaine valeur, et non fonctionnelle en dessous. La grande variabilité des résultats extraits des nombreuses publications scientifiques citées et les différentes approches possibles pour calculer les valeurs limites doivent nous inciter à une certaine prudence. Cependant, l'évolution favorable des métriques telles que l'augmentation du temps phonatoire ou le retour des rapports s/z et a/z dans une plage normale constituent des indications probantes de l'efficacité de la prise en charge orthophonique.

Conclusion

Du fait d'une grande variabilité des données disponibles sur le temps de phonation maximum en fonction de l'âge et du genre, il nous est apparu nécessaire de compiler un grand nombre de résultats publiés sous forme de graphique de synthèse, afin d'extraire des tendances globales selon l'âge et le sexe. Nous avons mixé des données obtenues à l'aide de protocoles différents et de méthodes de calculs pouvant soit réduire, soit augmenter les valeurs, mais nous avons espéré que le grand nombre de publications permette de contourner la difficulté de comparer les données entre elles en dessinant sur le nuage de valeurs une courbe de tendance.

Nous avons pu ainsi extraire un temps de phonation maximum sur la voyelle /a:/ de l'ordre de 25 secondes en moyenne pour les hommes, et 20 secondes en moyenne pour les femmes, toutes études confondues, dans la plage 15-65 ans. Ces valeurs tendent à se réduire avec l'âge. De la courbe de tendance, et en tenant compte de la force statistique des études, nous avons défini un niveau normal/altéré autour de 12 secondes pour les hommes, 10 secondes pour les femmes, ainsi qu'un niveau altéré/pathologique de 8 secondes pour les hommes et 7 secondes pour les femmes. Ces valeurs ont été intégrées dans l'outil de temps phonatoire du logiciel VOCALAB.

Nous avons aussi procédé à une étude des rapports s/z et a/z publiés dans la littérature scientifique, en trouvant généralement des valeurs proches de 1 pour la phonation normale, cette fois indépendamment de l'âge et du genre. L'analyse des publications scientifiques a aussi montré une tendance à l'élévation du rapport s/z, principalement pour des pathologies telles que les nodules, kystes ou œdèmes des cordes vocales, même si quelques exemples de rapports s/z ou a/z très bas ont aussi été mentionnés. Au travers de quelques études sur l'efficacité de la prise en charge orthophonique, la métrique du temps phonatoire et du rapport s/z se sont révélées intéressantes pour étayer l'évaluation objective des progrès au cours de la remédiation orthophonique. Nous avons enfin défendu l'intérêt du rapport a/z, moins traité dans la littérature, comme autre métrique intéressante du bilan de phonation.

Remerciements

Nous saluons les efforts de mise en archive ouvertes d'un très grand nombre de résultats scientifiques, en particulier dans le domaine de la voix et de la parole, ce qui permet une diffusion très large, simple et sans droit d'accès, autorisant de ce fait des analyses comparatives et méta-analyses qui accélèrent leur mise en application clinique.

Nous remercions particulièrement les orthophonistes de l'équipe ERU 15 du laboratoire LURCO de l'UNADREO pour la construction d'une base de données de voix. Nous remercions aussi Marina LAGANARO pour les précisions en lien avec le TPM du protocole MonPaGe, et Marina GILMAN pour son éclairage sur le rapport a/z.

Enfin, nous remercions l'ensemble des orthophonistes, étudiants et chercheurs qui nous ont accordé leur confiance en utilisant nos méthodologies, approches et outils dans le cadre de leur pratique clinique ou de leurs travaux scientifiques.

A propos des auteurs



Etienne SICARD est professeur à l'INSA Toulouse en électronique, informatique et traitement du signal. Il est directeur de recherches de l'équipe ERU 46 sur la parole pathologique au Laboratoire LURCO de l'UNADREO. Il a été chercheur associé à l'IRIT dans le cadre du projet ANR C2SI sur la voix de

patient ayant eu un cancer ORL, et ANR Voice4PD sur le diagnostic différentiel des Syndromes Parkinsoniens. Etienne SICARD est co-auteur des logiciels VOCALAB et DIADOLAB pour le bilan et la rééducation orthophonique de la voix et la parole. Il a co-écrit une vingtaine d'ouvrages et plus de 250 publications scientifiques, dont 50 sur l'analyse de la voix et 50 sur l'analyse de la parole, les plus significatives étant en archives ouvertes.

Site : www.etienne-sicard.fr

Email : etienne.sicard@insa-toulouse.fr



Anne MENIN-SICARD est orthophoniste et titulaire d'un master recherche en Sciences du langage de l'université de Grenoble. Elle a exercé en libéral à Toulouse de 1994 à 2015. Anne MENIN-SICARD est co-auteur des logiciels VOCALAB et DIADOLAB.

Dans le cadre de AMS Formation,

elle organise et anime des formations aux orthophonistes sur le bilan et la prise en charge de la voix et parole pathologique. Elle a fondé en 2019 un organisme de formation en ligne personnalisée à destination des orthophonistes. Chercheuse associée à l'ERU 46 du LURCO, elle développe des outils de mesures objectives et de rééducation de la parole en lien avec le logiciel DIADOLAB. Elle est co-auteur d'un ouvrage sur l'évaluation objective de la voix (DeBoeck, 2017) ainsi que plus d'une centaine de publications dans le domaine de la voix et de la parole pathologique.

Site : <https://www.formationsvoixparole.fr>

Email : anne.sicard2@orange.fr

Références

[Asiaee 2020] Asiaee, M., Vahedian-Azimi, A., Atashi, S. S., Keramatfar, A., & Nourbakhsh, M. (2020). Voice quality evaluation in patients with COVID-19: An acoustic analysis. *Journal of Voice*.

- [Asnaashari 2012] Asnaashari, A. M., (2012). The effect of asthma on phonation: a controlled study of 34 patients. *Ear, Nose & Throat Journal*, 91(4), 168-171.
- [Alves 2015] Alves, E. L. O., Coelho, C. S., Leite, A. P. D., & Santos, R. S. (2015). Maximum phonation time and its relation to gender, age and lifestyle in healthy elderly. *Distúrb Comun*, 27(3), 530-9.
- [Baken 2000] Baken, R.J., Orlikoff, R. F. (2000). *Clinical Measurement of Speech and Voice*. Springer-Verlag. 2nd edition. pp 371-372
- [Cohen 2012] Cohen, W., Wynne, D. M., Kubba, H., & McCartney, E. (2012). Development of a minimum protocol for assessment in the paediatric voice clinic. Part 1: evaluating vocal function. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 37(1), 33-38.
- [Cunha 2019] Cunha, L. J., Pereira, E. C., Ribeiro, V. V., & Dassi-Leite, A. P. (2019). Influence of the body position and emission number in the results of the maximum phonation times of adults without vocal complaints. *Journal of Voice*, 33(6), 831-837.
- [Dagli 1997] Dagli, A. S., Mahieu, H. F., & Festen, J. M. (1997). Quantitative analysis of voice quality in early glottic laryngeal carcinomas treated with radiotherapy. *European archives of oto-rhino-laryngology*, 254(2), 78-80.
- [De Aguiar Cassiani 2013] De Aguiar Cassiani, R., (2013). Glottal competence in chronic obstructive pulmonary disease. *Audiology-Communication Research*, 18(3), 149-154.
- [De Cock 2021] De Cock, E., (2021). Dysarthria following acute ischemic stroke: Prospective evaluation of characteristics, type and severity. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 56(3), 549-557.
- [Dejonckere 2001] Dejonckere, P. H., (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.
- [De Oliveira Lemos 2017] De Oliveira Lemos, I., et al. (2017). Effects of a voice therapy program for patients with muscle tension dysphonia. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 69(5-6), 239-245.
- [Dogan 2007] Dogan, M., (2007). Subjective and objective evaluation of voice quality in patients with asthma. *Journal of Voice*, 21(2), 224-230.
- [Dogan 2007b] Dogan, M., et al. (2007). Objective and subjective evaluation of voice quality in multiple sclerosis. *Journal of Voice*, 21(6), 735-740.
- [Dohar 2019] Dohar, J. E., (2019). Pediatric dysphonia: It's not about the Nodules. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 125, 147-152.
- [Eckel 1981] Eckel, F. C., & Boone, D. R. (1981). The s/z ratio as an indicator of laryngeal pathology. *Journal of speech and hearing disorders*, 46(2), 147-149.
- [Finnegan 1985] Finnegan, D. E. (1985). Maximum phonation time for children with normal voices. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 37(5-6), 209-215.
- [Gelfer 2006] Gelfer, M. P., & Pazera, J. F. (2006). Maximum duration of sustained /s/ and /z/ and the s/z ratio with controlled intensity. *Journal of Voice*, 20(3), 369-379.
- [Gilman 2021] Gilman, M. (2021). Revisiting Sustained Phonation Time of /s/, /z/, and /α/. *Journal of Voice*, 35(6), 935-e13.

- [Ghio 2007] Ghio, A., et al. (2007). Approches complémentaires pour l'évaluation des dysphonies: bilan méthodologique et perspectives. *Travaux Interdisciplinaires du Laboratoire Parole et Langage d'Aix-en-Provence (TIPA)*, 26, 33-74.
- [Ghoreyshi 2021] Ghoreyshi, Z., (2021). The Incidence of Aphasia, Cognitive Deficits, Apraxia, Dysarthria, and Dysphagia in Acute Post Stroke Persian Speaking Adults. *Indian Journal of Otolaryngology and Head & Neck Surgery*, 1-11.
- [Hufnagle 1988] Hufnagle, J., & Hufnagle, K. K. (1988). S/Z ratio in dysphonic children with and without vocal cord nodules. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 19(4), 418-422.
- [Johnson 2016] Johnson, A. M., & Goldfine, A. (2016). Intrasubject reliability of maximum phonation time. *Journal of Voice*, 30(6), 775-e1.
- [Karlsen 2020] Karlsen, T., (2020). Acoustic voice analysis and maximum phonation time in relation to voice handicap index score and larynx disease. *Journal of Voice*, 34(1), 161-e27.
- [Kent 1987] Kent, R. D., Kent, J. F., & Rosenbek, J. C. (1987). Maximum performance tests of speech production. *Journal of speech and hearing disorders*, 52(4), 367-387
- [Knuijt 2019] Knuijt, S., et al. (2019). Reference values of maximum performance tests of speech production. *International journal of speech-language pathology*, 21(1), 56-64.
- [Kreul 1972] Kreul, E. J. (1972). Neuromuscular control examination (NMC) for Parkinsonism: Vowel prolongations and diadochokinetic and reading rates. *Journal of Speech and Hearing Research*, 15(1), 72-83.
- [Laganaro 2021] Laganaro, M., (2021). Sensitivity and specificity of an acoustic-and perceptual-based tool for assessing motor speech disorders in French: The MonPaGe-screening protocol. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 35(11), 1060-1075
- [Menin-Sicard 2013] Menin-Sicard, A. (2013). Approche métacognitive dans le cadre de l'évaluation et la réévaluation de la voix. *Rééducation orthophonique*, Ortho édition, 2013, Dossier « L'évaluation vocale », 254 (254), pp.121-134. [\[hal-01081646\]](#)
- [Menin-Sicard 2016] Menin-Sicard A., Sicard E., (2016) "Evaluation et réhabilitation de la voix - Approche clinique et objective", De Boeck Supérieur, ISBN 9782353273188, 288 pp.
- [Menin-Sicard 2019] Menin-Sicard, A, Sicard. E. (2019) DIADOLAB 3 - Logiciel d'évaluation et de rééducation de la parole - Manuel d'utilisation. Archives ouvertes <https://hal.archivesouvertes.fr/hal-02073314>
- [Menin-Sicard 2021] Menin-Sicard, A., Sicard, E. (2021). Etude de cas de voix dans le cadre de la prise en charge orthophonique. Rapport de recherche Lurco/UNADREO, INSA Toulouse. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03186341>
- [Maslan 2011] Maslan, J., Leng, X., Rees, C., Blalock, D., & Butler, S. G. (2011). Maximum phonation time in healthy older adults. *Journal of Voice*, 25(6), 709-713.
- [Moreno 2021] Moreno, E. G. H., (2021). Maximum phonation time in the pulmonary function assessment. *Revista CEFAC*, 23.
- [Mornet 2014] Mornet, E., et al. (2014). Bilan d'une dysphonie chronique de l'enfant. *Annales françaises d'Oto-rhino-laryngologie et de Pathologie Cervico-faciale*, 131(5), 296-300.

- [Morsomme 1997] Morsomme, D., et al. (1997). Presbyphonia: voice differences between the sexes in the elderly. Comparison by Maximum Phonation Time, Phonation Quotient and Spectral Analysis. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 22(1), 9-14.
- [Neiman 1981] Neiman, G. S., & Edeson, B. (1981). Procedural aspects of eliciting maximum phonation time. *Folia Phoniatrica*, 33(5), 285-293.
- [Niebudek-Bogusz 2008] Niebudek-Bogusz, E., et al. (2008). The effectiveness of voice therapy for teachers with dysphonia. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 60(3), 134-141.
- [Ocal 2020] Ocal, B. (2020). Evaluation of voice quality in patients with vocal fold polyps: the size of a polyp matters or does it?. *Journal of Voice*, 34(2), 294-299.
- [Potter 2011] Potter, N. L. (2011). Voice disorders in children with classic galactosemia. *Journal of inherited metabolic disease*, 34(2), 377-385.
- [Ptacek 1966] Ptacek, P. H., (1966). Phonatory and related changes with advanced age. *Journal of speech and hearing research*, 9(3), 353-360.
- [Rastatter 1982] Rastatter, M. P., & Hyman, M. (1982). Maximum phoneme duration of /s/and/z/by children with vocal nodules. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 13(3), 197-199.
- [Roginski 2020] Roginski, N. (2020). Le Bilan orthophonique des troubles de la voix, à la recherche du timbre perdu. *Rééducation Orthophonique*. N° 281. pp. 95-112
- [Rousteau 2017] Rousteau, G., Talmant, J. C., & Talmant, J. C. (2017). L'évaluation des insuffisances vélo-pharyngées par l'aérophonoscope: essai de classification et incidences thérapeutiques. *Rev Laryngol Otol Rhinol*, 138(4), 143-156
- [Rusz 2015] Rusz, J., et al. (2015). Speech disorders reflect differing pathophysiology in Parkinson's disease, progressive supranuclear palsy and multiple system atrophy. *Journal of neurology*, 262(4), 992-1001.
- [Salihovic 2009] Salihovic, N., Junuzovic-Zunic, L., Ibrahimagic, A., & Beganovic, L. (2009). Characteristics of voice in stuttering children. *Acta Medica Saliniana*, 38(2), 67.
- [Shanks 1977] Shanks, S. J., & Mast, D. (1977). Maximum duration of phonation: objective tool for assessment of voice. *Perceptual and Motor Skills*, 45(3_suppl), 1315-1322.
- [Shrestha 2019] Shrestha, S., & Adhikari, A. K. (2019). Comparison of Maximum Phonation Duration and S/Z Ratio in Individuals with Asthma, Tuberculosis and Clinically Normal Voice. *Medical Journal of Shree Birendra Hospital*, 18(2), 16-21.
- [Sicard 2013] Sicard, E. Menin-Sicard, A. (2013). Implémentation dans VOCALAB d'indicateurs objectifs de la qualité de la voix dans le cadre de l'évaluation de la voix. *Rééducation orthophonique*, Ortho édition, 2013, pp.23-27. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00836912>
- [Sicard 2021] Sicard, E., Menin-Sicard, A., & Ruffle, L. (2021, September). VOCALAB: A User-Friendly Software For Voice Analysis And Therapy. In *Choice for Voice*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03353490/>
- [Sicard 2022] Sicard, E., Menin-Sicard, A. (2022). VOCALAB 4.5. Manuel d'utilisation. A paraître 2022. GERIP/Humensis.

- [Siqueira 2020] Siqueira, L. T. D., (2020). Influence of vocal and aerodynamics aspects on the voice-related quality of life of older adults. *Journal of Applied Oral Science*, 28.
- [Soman 1997] Soman, B. (1997). The effect of variations in method of elicitation on maximum sustained phoneme duration. *Journal of Voice*, 11(3), 285-294.
- [Speyer 2010] Speyer, R., et al. (2010). Maximum phonation time: variability and reliability. *Journal of Voice*, 24(3), 281-284.
- [Tait 1980] Tait, N. A., Michel, J. F., & Carpenter, M. A. (1980). Maximum duration of sustained/s/and/z/in children. *Journal of speech and hearing disorders*, 45(2), 239-246.
- [Tavares 2012] Tavares, E. L. M., et al. (2012). Maximum phonation time and s/z ratio in a large child cohort. *Journal of Voice*, 26(5), 675-e1.
- [Thomas 2021] Thomas, P. M., (2021). Prevalence and Voice Characteristics in an Indian Treatment-seeking Population for Voice Disorders. *Otorhinolaryngology Clinics*, 13(3), 110-117.
- [Tsai 2016] Tsai, Y. C. (2016). The effects of expiratory muscle strength training on voice and associated factors in medical professionals with voice disorders. *Journal of Voice*, 30(6), 759-e21.
- [Vaca 2017] Vaca, M., Cobeta, I., Mora, E., & Reyes, P. (2017). Clinical assessment of glottal insufficiency in age-related dysphonia. *Journal of Voice*, 31(1), 128-e1.
- [Van Wyk 2017] Van Wyk, L., et al. (2017). The effect of hydration on the voice quality of future professional vocal performers. *Journal of Voice*, 31(1), 111-e29.
- [Verma 2010] Verma, P., (2010). Objective acoustic analysis of voice improvement after phonosurgery. *Indian Journal of Otolaryngology and Head & Neck Surgery*, 62(2), 131-137.
- [Virmani 2016] Virmani, N., Sharma, A., & Dabholkar, J. P. (2016). Outcome analysis in patients with benign vocal fold lesions. *Int J Phonosurg Laryngol*, 6(1), 8-13.
- [Watts 2015] Watts, C. R., (2015). The effect of stretch-and-flow voice therapy on measures of vocal function and handicap. *Journal of Voice*, 29(2), 191-199.
- [Wuyts 2000] Wuyts, F. L., et al. (2000). The dysphonia severity index: an objective measure of vocal quality based on a multiparameter approach. *Journal of speech, language, and hearing research*, 43(3), 796-809.
- [Yu 2001] Yu, P., Ouaknine, M., Revis, J., & Giovanni, A. (2001). Objective voice analysis for dysphonic patients: a multiparametric protocol including acoustic and aerodynamic measurements. *Journal of voice*, 15(4), 529-542.

Annexe A – Temps Maximum de Phonation (TPM) Hommes

<i>Age moyen des hommes</i>	<i>Nombre de personnes</i>	<i>Temps maximum de phonation (s)</i>	<i>Ecart type (s)</i>	<i>Sources</i>
3	5	7,9	1,8	Finnegan
4	10	10,0	2,5	Finnegan
5	10	10,1	3,0	Finnegan
5,5	185	6,0	1,8	Tavares
6	9	13,9	3,0	Finnegan
6	44	10,4	5,1	Harden
7	9	14,6	2,8	Finnegan
7	10	14,2	3,3	Beckett
8	10	16,8	6,0	Finnegan
8	10	20,0	8,0	Lewis
8,5	483	8,1	2,0	Tavares
9	10	16,8	6,1	Finnegan
10	10	22,2	4,7	Finnegan
10	10	24,9	7,0	Lewis
11	10	19,8	3,8	Finnegan
11	156	9,2	2,3	Tavares
12	9	20,2	5,7	Finnegan
13	10	22,3	8,2	Finnegan
14	10	22,3	6,9	Finnegan
15	10	20,7	5,3	Finnegan
16	10	21,0	4,4	Finnegan
17	10	28,7	7,1	Finnegan
21	30	27,5	8,7	Moreno
22	30	28,4	11,1	shanks
22	30	17,1	5,9	Cunha
22,5	10	21,8	8,0	Johnson
23	31	24,6	6,7	Ptacek
24	5	22,6	6,1	Isshiki
25	10	31,6	7,9	Rau
25	76	20,4	9,0	Knuijt
26	5	32,0	7,5	Isshiki
29	21	17,8	2,2	Lechien
32	40	24,9	9,5	Ptacek
32	33	18,1	6,2	Karlsen
35	28	22,5	9,0	Knuijt
35	35	22,2	9,2	Daubison
37	11	30,2	9,7	Yanagihara
39	30	26,5	5,9	Moreno
45	27	23,0	9,0	Knuijt
50	31	16,6	1,1	Lechien
55	5	15,4	5,0	Mueller
55	37	21,6	9,0	Knuijt

55	187	16,6	6,8	Laganaro
65	7	26,2	7,0	Maslan
65	30	23,8	9,0	Knuijt
65	10	18,4	6,8	Johnson
67	19	14,4	5,5	Pessin
68	16	11,3	6,3	Fang
68	17	17,2	8,6	Siqueira
69	28	18,7	2,2	Lechien
70	16	18,6	3,0	Dagli
70	10	14,6	5,5	Kreul
71	30	24,1	10,0	Moreno
71	27	18,1	6,6	Ptacek
72	7	17,4	5,6	Fox
72	11	13,3	5,3	Alves
75	26	20,0	9,0	Knuijt
80	10	20,0	9,0	Morsomme
83	13	13,7	4,8	Pessin
85	14	21,7	1,5	Maslan

Note : dans certaines études, les TPM hommes et femmes ne sont pas différenciables, la moyenne a été réduite de 2 secondes pour les femmes et augmentée de 2 secondes pour les hommes. L'âge de la 1^{ère} colonne correspond à l'âge moyen du corpus. Les sources anciennes sont compilées dans [Kent 1987].

Annexe B – Temps Maximum de Phonation (TPM) femmes

<i>Age moyen des femmes</i>	<i>Nombre de personnes</i>	<i>Temps maximum de phonation (s)</i>	<i>Ecart type (s)</i>	<i>Sources</i>
4	10	8,7	1,8	Finnegan
5	10	10,5	2,6	Finnegan
5,5	204	6,2	2,0	Tavares
6	9	13,8	3,6	Finnegan
6	58	10,6	6,3	Harden
7	10	13,7	2,4	Finnegan
7	10	15,4	2,7	Beckett
8	10	17,1	4,6	Finnegan
8	10	19,1	5,0	Lewis
8	7	16,7	3,0	Reich
8,5	473	7,9	2,0	Tavares
10	9	14,5	3,8	Finnegan
10	10	15,9	6,0	Finnegan
10	10	16,5	3,0	Lewis
11	10	14,8	2,1	Finnegan
11	159	9,1	2,0	Tavares
12	10	15,2	3,9	Finnegan
13	10	19,2	4,6	Finnegan
14	10	18,8	5,2	Finnegan
15	10	19,5	4,7	Finnegan
16	10	21,8	4,5	Finnegan
17	10	22,0	6,3	Finnegan
21	30	23,5	8,7	Moreno
22	30	14,3	4,5	Cunha
22,5	10	17,8	8,0	Johnson
23	30	21,5	6,4	Shanks
24	9	24,8	5,4	Rau
25	5	15,2	5,0	Isshiki
25	76	16,4	7,4	Knuijt
28	31	20,9	5,7	Ptacek
28	21	13,8	2,2	Lechien
28	10	22,0	4,2	Peppard
30	40	17,9	6,4	Ptacek
31	11	22,5	6,1	Yanagihara
33	10	26,0	8,0	Stemple
35	28	18,5	7,4	Knuijt
35	65	16,1	6,2	Karlsen
39	30	22,5	5,9	Moreno

40	41	18,4	7,3	Daubison
45	27	19,0	7,4	Knuijt
49	31	12,6	1,1	Lechien
50	25	25,7	7,0	Hirano
55	37	17,6	5,0	Knuijt
55	202	14,7	5,8	Laganaro
65	7	18,8	7,0	Maslan
65	30	19,8	7,4	Knuijt
65	10	14,4	6,8	Johnson
67	25	10,4	5,5	Pessin
68	39	12,7	7,3	Siqueira
69	28	14,6	2,2	Lechien
70	12	14,6	5,8	Kreul
70	7	17,9	5,0	Fox
70	4	16,8	2,8	Dagli
71	30	20,1	10,0	Moreno
72	44	13,1	5,8	Alves
75	26	16,0	7,4	Knuijt
75	13	22,8	6,0	Maslan
80	36	14,2	5,6	Ptacek
83	15	9,7	4,8	Pessin
85	30	12,0	5,0	Morsomme
85	14	20,6	3,0	Maslan

Note : dans certaines études, les TPM hommes et femmes ne sont pas différenciables, la moyenne a été réduite de 2 secondes pour les femmes et augmentée de 2 secondes pour les hommes. L'âge de la 1^{ère} colonne correspond à l'âge moyen du corpus. Les sources anciennes sont compilées dans [Kent 1987].

Annexe C – Rapport s/z Hommes

<i>Age</i>	<i>Rapport s/z</i>	<i>Référence</i>
5	0,92	Tait 1980
5,5	0,97	Tavares 2012
7	0,7	Tait 1980
8,5	0,95	Tavares 2012
9	0,92	Tait 1980
9,2	0,97	Salihovic 2009
11	0,99	Tavares 2012
22	1,02	Cunha 2019
28	1,07	Joshi 2020
30	0,99	Eckel 1981
33	1,04	Verma 2010
35	0,94	Asnaashari 2012
38	0,96	Shrestha 2019
42	1,15	Virmani 2016
57	1,01	De oliveira Lemos 2017
67	0,83	Pessin 2017
68	0,76	Fang 2014
68	1,1	Siqueira 2020
72	1,01	Alves 2015
83	0,93	Pessin 2017

Note : dans certaines études, les rapports s/z hommes et femmes ne sont pas différenciables. Les sources anciennes sont compilées dans [Kent 1987]. L'âge correspond à l'âge moyen du corpus.

Annexe D – Rapport s/z Femmes

<i>Age</i>	<i>Rapport s/z</i>	<i>Référence</i>
5	0,83	Tait 1980
5,5	0,96	Tavares 2012
7	0,78	Tait 1980
8,5	0,99	Tavares 2012
9	0,91	Tait 1980
11	1,01	Tavares 2012
21	1,09	Van Wyk 2017
22	0,96	Cunha 2019
29	1,09	Joshi 2020
30	0,99	Eckel 1981
33	1,04	Verma 2010
35	0,94	Asnaashari 2012
42	1,15	Virmani 2016
57	1,01	De Oliveira 2017
67	0,83	Pessin 2017
68	0,89	Siqueira 2020
72	0,99	Alves 2015
80	0,82	Young
83	0,93	Pessin 2017

Note : dans certaines études, les rapports s/z hommes et femmes ne sont pas différenciables. Les sources anciennes sont compilées dans [Kent 1987]. L'âge correspond à l'âge moyen du corpus.

Annexe E – Synthèse des repères de TPM dans VOCALAB

Repères TPM VOCALAB 4.5
/a/, /s/ et /z/

