



HAL
open science

Fréquence fondamentale de la parole - Repères pour la prise en soin orthophonique

Etienne Sicard, Anne MENIN SICARD

► **To cite this version:**

Etienne Sicard, Anne MENIN SICARD. Fréquence fondamentale de la parole - Repères pour la prise en soin orthophonique. 2023. hal-04073008

HAL Id: hal-04073008

<https://hal.science/hal-04073008v1>

Submitted on 6 May 2023

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.

Public Domain

Fréquence fondamentale de la parole – Repères pour la prise en soin orthophonique

Etienne Sicard^{1,2}, Anne Menin-Sicard^{1,3}

(1) Laboratoire LURCO/UNADREO, équipe de recherche ERU 15

(2) INSA-GEI, 135 Avenue de Rangueil, 31077 Toulouse

(3) Orthophoniste, CESDA, Albi

Résumé : Dans cet article, nous proposons une revue de littérature à propos de la valeur de la fréquence fondamentale (fo) de la voix et de la parole. Des valeurs de référence pour homme, femme et enfants sont proposées, sur la base de plus de deux cent groupes de cas. Nous analysons ensuite nos propres corpus d'enfants, d'hommes et de femmes pour situer la courbe de tendance en fonction de l'âge sur deux modalités spécifiques : les voyelles tenues et la répétition de phrases types. Une synthèse des principales tendances et un modèle d'évolution de fo est proposé. Nous décrivons l'implémentation de ces valeurs de référence dans le logiciel d'aide à la prise en soin de la voix VOCALAB et de prise en soin de la parole DIADOLAB.

Mots-clés : orthophonie, voix, parole, analyse objective, fondamental usuel moyen, fo, modélisation, répétition de phrases, pathologies vocales, pathologies de la parole, voyelles, voix d'hommes, voix de femmes, voix d'enfants, ERU 15, ERU 46, VOCALAB, DIADOLAB.

Introduction

Il est communément admis que la fréquence fondamentale de la voix (fo¹) diminue progressivement de l'enfance (autour de 300 Hz) à la puberté, puis se situe autour de 100 Hz pour les hommes et 200 Hz pour les femmes, soit une différence d'une octave. De nombreuses études soulignent une tendance à la diminution de fo chez les femmes, et à l'augmentation chez les hommes en avançant en âge. Il n'y a cependant pas à notre connaissance de consensus sur ces valeurs, qui sont notamment dépendantes de la langue étudiée, du protocole d'enregistrement, de la consigne, du logiciel et du mode opératoire utilisé pour analyser la parole du patient.

Sur les aspects protocole, des différences notables sont mesurées selon que l'on demande au patient de réaliser des voyelles tenues, compter, se présenter, lire un texte ou décrire une situation particulière. Un grand nombre d'étude porte sur la langue Anglaise, dont une partie significative concerne les jeunes adultes, puisés notamment dans le réservoir des étudiants universitaires, ce qui peut nous éloigner des situations de la pratique clinique orthophonique, en lien notamment avec de jeunes enfants ainsi que des patients âgés.

¹ Nous utilisons la notation « fo » pour désigner la fréquence fondamentale de la voix en accord avec [Titze 2015]. D'autres dénominations existent telles que SFF (Speaking Fundamental Frequency), SFO (Speaking FO) ou en français FFP (Fréquence fondamentale parlée) ou FUM (Fondamental Usuel Moyen).

Le placement de la voix d'un individu à une hauteur différente de sa zone de confort peut entraîner différents types de pathologies vocales. De même, de nombreuses pathologies de la voix et de la parole affectent la valeur de fo. On pourra consulter la classification de [Verdolini 2006] à ce sujet.

La valeur de fo est considérée comme un paramètre important de l'altération de la voix, et rentre dans la formulation du *Dysphonia Severity Index* (DSI), qui vise à établir une métrique objective corrélée à la sévérité des troubles vocaux du patient [Wuyts 2000]. Par contre, d'autres indicateurs tels que le AVQI [Jayakumar 2022], considérés comme moins sensibles que le DSI par [BenBarsties 2018] n'incluent pas directement la valeur de fo dans les données d'entrée. Le constat est le même pour le *Cepstral Spectral Index of Dysphonia* (CSID) qui n'inclut pas de considération de genre ni de valeur de référence de fo, risquant de sous-estimer la sévérité de certaines pathologies, mais aussi de ne donner qu'une évaluation partielle des progrès accomplis grâce à la prise en soin orthophonique [Peterson2013].

Dans le cadre du développement des logiciels VOCALAB [Sicard 2023] et DIADOLAB [Sicard 2023b], nous donnons une place relativement modeste à la prise en compte des valeurs de fo. Des valeurs très différentes des valeurs de référence attendues génèrent toutefois des alertes et sanctionnent les scores de flexibilité vocale (VOCALAB) et d'intelligibilité (DIADOLAB). Concernant la voix, nous avons plutôt concentré nos efforts sur l'altération de la voyelle /a:/ tenue, notamment concernant l'instabilité en hauteur, en amplitude et le rapport bruit/signal, autant de métriques que l'on retrouve de manière plus ou moins comparable dans le DSI. Nous calculons aussi la pauvreté harmonique qui est directement corrélée au *cepstral peak prominence* (CPP) exploité dans les indicateurs AVQI et CSID.

Nous avons proposé des outils en lien avec l'analyse objective de la prosodie [Sicard 2021] : variation de fo sur la voix conversationnelle, étendue vocale dans VOCALAB, variation de fo sur des phrases courtes dans DIADOLAB. Il existe aussi un indicateur avant/après concernant fo [Menin-Sicard 2021] mais celui joue un rôle relativement mineur dans l'évaluation de la macro-compétence « Flexibilité vocale » dans VOCALAB. Dans DIADOLAB, fo rentre en compte dans la macro-compétence « Intelligibilité ». L'évaluation de fo reste cependant pertinente et porteuse d'information [Verdolini 2006].

Dans cette étude, nous avons souhaité remettre en question les repères de valeur de moyenne de fo pour hommes, femmes et enfants, en bénéficiant des données accessibles grâce aux archives ouvertes, notamment depuis scholar.google.com et hal.science. Nous nous posons notamment la question de l'influence du protocole d'enregistrement et l'effet de l'âge et du genre sur la variation de fo. Pour dégager des tendances avec une force statistique solide, nous avons procédé à une synthèse bibliographique des données ouvertes en lien avec le fondamental de la voix d'homme, de femme et d'enfant, dont nous avons extrait des courbes de tendance (Section II). Grâce à un corpus important de voyelles tenues et phrases type en langue Française au plus près de la clinique orthophonique, nous avons conduit des analyses statistiques dont nous avons extrait des propositions de valeurs repère, étayées par des publications de référence (Section III). Nous expliquons enfin comment nous avons fait évoluer les repères de fréquence fondamentale dans les logiciels VOCALAB et DIADOLAB (Section IV).

Etude bibliographique

Nous avons recherché des publications en archives ouvertes portant sur l'étude du *fondamental usuel de la parole* (FUM), en Anglais *Speaking Fundamental Frequency* (SFF), *Speaking F0* (SF0) pour hommes, femmes et enfants, sans pathologie, selon différentes modalités de parole : voyelle tenue, lecture de texte, parole spontanée. Dans la suite de cet article, nous noterons ce paramètre fo, selon les recommandations de [Titze 2015]. Nous abandonnons la notation F0 qui prête à confusion par rapport à la notation usuelle des formants (F1..Fn), le « f » voulant dire fréquence et « o » oscillation.

Nous nous sommes en particulier basés sur les données ouvertes publiées dans [Berger 2019], [De Pinto 1982], [Deliyski 2011], [Eichhorn 2018] [Fougeron 2021] [Fukuda 2023] [Fitch 1970], [Gilmore 1992], [Goy 2013], [Graddol 1983], [Lee 1999], [Leung 2020], [Murry 1995], [Nishio 2008], [Pemberton 1998], [Poulain 2020], [Remacle 2020], [Russel 1995], [Sebastian 2012], [Sicard 2019], [Spazzapan 2020], [Tavares 2010], [Trollinger 2003], [Troughear 1979] [Weirich 2013] et [Zraick 2006]. Nous avons aussi eu accès à la synthèse de [Baken 2000] sur le sujet. Différentes données compilées dans la revue de littérature de [Spazzapan 2019] sont aussi reportées. Les données utilisées dans cet article sont reportées en Annexe A (hommes) et Annexe B (femmes).

Les publications que nous avons utilisées se basent sur des calculs basés principalement sur PRAAT [Boersma 2017], ainsi que d'autres outils tels que MDVP, Dr. Speech, CSL et DIADOLAB. L'évaluation des différences entre les valeurs de fo selon les programmes a été étudiée par [Batalla 2014] entre PRAAT et Dr. Speech montrant une corrélation acceptable (0.7) mais bien moindre que le rapport bruit/signal (0.9), ou par [Amir 2009] entre PRAAT et MDVP avec une corrélation de seulement 0.5 sur le /a:/, ce qui veut dire que de nombreuses différences peuvent être observées selon le logiciel utilisé. Nous avons pour notre part comparé PRAAT et VOCALAB sur fo de voix d'enfants [Sicard 2019] avec une corrélation de 0.88 sur des voyelles tenues, avec quelques divergences notamment pour des voix éraillées. L'étude comparative de [Vaz-Freitas 2018] entre MDVP, VoiceStudio, Dr. Speech & PRAAT montre une corrélation excellente pour la détection du fo sur la portion stable d'un /a:/ (>0.9) mais de fortes différences sur la déviation standard de fo (corrélation <0.5). En général, les comparaisons entre logiciels sont faites en prenant peu de risque : voyelle tenue, portion courte après une à deux secondes de phonation, ce qui limite les aléas.

L'enregistrement du /a:/ tenu est certes très commun dans les protocoles de bilan de la phonation [Ghio 2012] [Henrich-Bernardoni 2014] [Menin-Sicard 2016] et de la parole [Fougeron 2016] [Sicard 2020b]. Cependant, l'analyse de la parole spontanée est au moins aussi importante, et nous devons anticiper des variations significatives de valeurs de fo selon les logiciels et les configurations utilisées.

Fo voix de femme

Nous avons utilisé 117 résultats d'études portant sur un total de plus de 8200 femmes, essentiellement en langue Anglaise. La courbe de tendance, incluant les données d'écart type quand elles sont disponibles, montre une décroissance vers 220 Hz à 20 ans, puis une tendance à la diminution de fo avec un passage à environ 190 Hz à 40 ans et 180 Hz à 60 ans, que l'on peut approximer par une perte de 5 Hz par décennie entre 20 et 60 ans. L'écart type toutes études confondues est de 25 Hz. On peut dessiner une 1^{ère} courbe à fo- σ (195 Hz à 20 ans, 165 Hz à 40 ans, 155 Hz à 60 ans), et une 2^{ème} à fo-2 σ comme indiqué figure 1. Statistiquement, la courbe à fo- σ (ou z-score -1.0, ou 16% percentile) couvre 84% de la population féminine, si l'on considère une distribution normale. Celle à fo-2 σ (z-score -2.0 ou 2,3 percentile) couvre 98% de la population.

On ne note pas de tendance nette à une réduction de fo au-delà de 60 ans, malgré un nombre d'études significatif portant sur des corpus variés. Ce résultat est assez surprenant car il contredit les courbes de tendances anciennes telles que [Baken 2000] reproduites dans [Ghio 2012], qui portaient à l'époque sur un nombre moins important d'études, notamment sur le grand âge. Les valeurs de fo changent relativement peu avec l'âge, soit parce que le vieillissement physiologique naturel a des effets limités, soit parce que les individus compensent les changements liés à l'âge, notamment après la ménopause [Eichhorn 2018]. A l'inverse, on peut formuler l'hypothèse que si des changements soudains de valeur de fo sont observés chez un individu, ils peuvent être le signe d'une pathologie sous-jacente, ce qui justifie par ailleurs l'intérêt de réaliser cette mesure en pratique clinique.

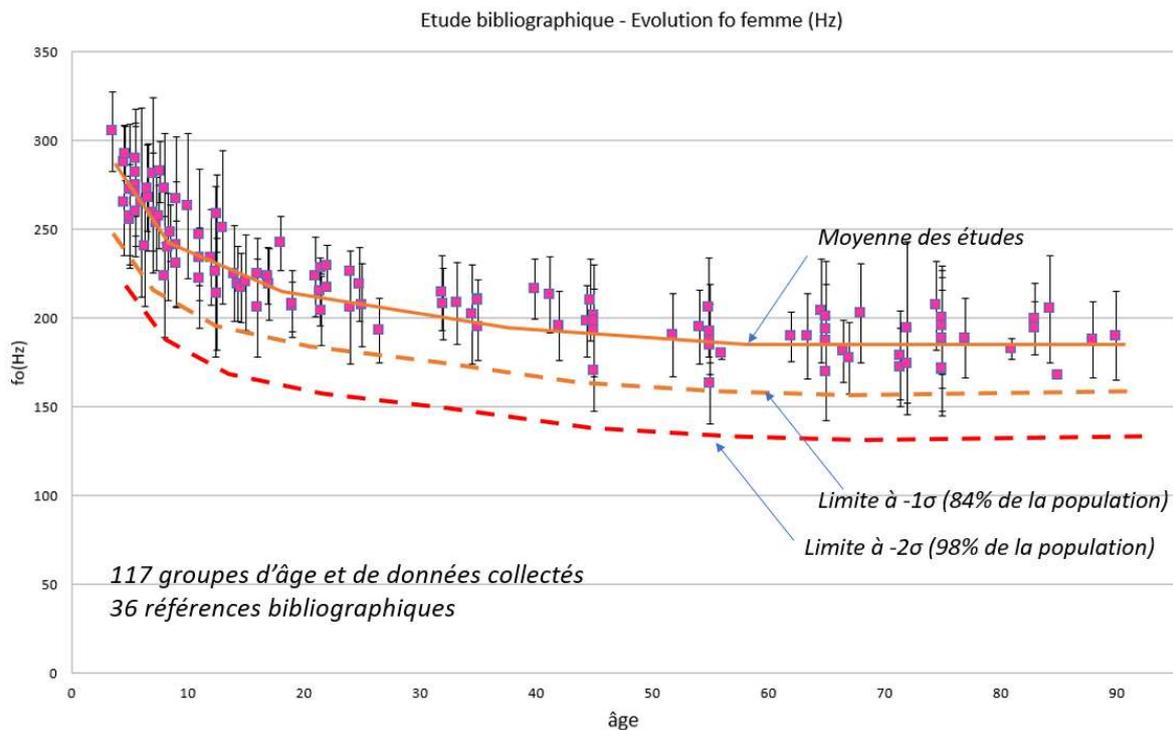


Figure 1 : compilation de 117 études sur l'analyse de fo pour les femmes

A chaque tranche d'âge plusieurs études peuvent donner des résultats assez différents. Ceci pourrait s'expliquer par les différentes modalités utilisées : voix conversationnelle, voix impliquée, et la variété des tâches demandées : /a:/ tenu, énumération, lecture de texte ou parole spontanée. Une majorité d'études porte cependant sur un /a:/ tenu [Spazzapan 2019], ne serait-ce que parce que la voyelle est universelle, simple à enregistrer, pratique à analyser et fait l'objet de pléthore d'études comparatives. Il est par ailleurs difficile d'observer une discontinuité dans la tranche d'âge 50-60 ans sous l'effet de la ménopause qui se caractérise plus par une diminution de l'intensité et de l'étendue vocale [Abitbol 1999].

Fo voix d'homme

La courbe de tendance, basée sur 107 groupes d'hommes différents, totalisant 7500 individus, montre une phase de décroissance similaire à celle des filles de 3 à 12 ans, puis une descente rapide à l'adolescence, suivi d'un long plateau à 120 Hz de 15 à 60 ans, avant une légère tendance à la remontée à partir de 60 ans, qui pourrait être de l'ordre de 5 à 10 Hz/décennie. Considérant un écart-type moyen σ de 25 Hz, toutes études confondues, on peut considérer une courbe à $fo + 1\sigma$ et une autre à $fo + 2\sigma$, comme illustré sur la figure 2.

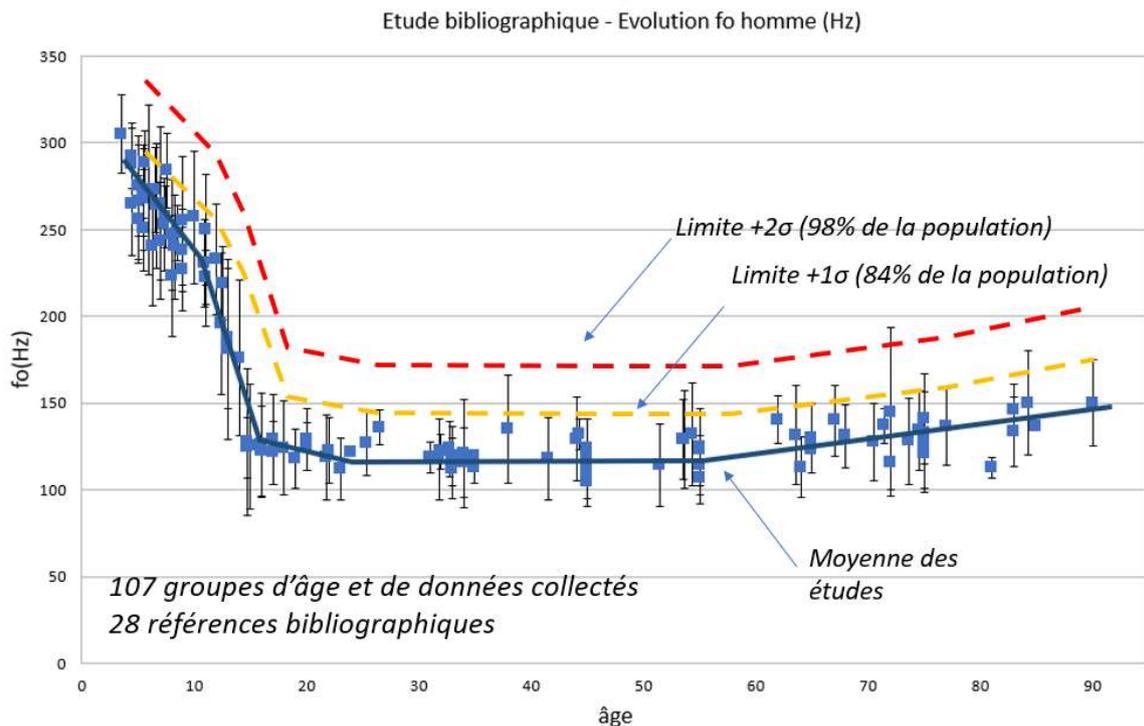


Figure 2 : compilation de 107 données publiées sur l'analyse de fo pour les hommes

Valeurs de référence

Grâce à la moyenne glissante extraite des figures 1 et 2, nous pouvons donner quelques valeurs de référence de fo selon une sélection de tranches d'âges comme indiqué au tableau 1. D'après les résultats des études bibliographiques, la limite/homme femme se situe autour de 160 Hz de 15 à 30 ans, puis s'abaisse à 150 Hz de 30 à 60 ans, avant de remonter légèrement au-delà de 60 ans. Le maximum de différence H/F se situe dans la tranche 15-20 ans, ce qu'on l'on peut considérer comme un contraste maximum des genres.

TRANCHE D'ÂGE	FEMMES	HOMMES	LIMITE H/F
2-4	300	295	
5-9	270	265	
10-14	240	230	
15-19	225	125	175
20-29	205	120	160
30-39	195	120	160
40-49	190	120	155
50-59	185	120	150
60-69	185	130	155
70-79	185	140	160
80-89	185	150	165
>90	185	160	170

Table 1 : valeurs moyenne de fo par tranche d'âge hommes et femmes, d'après les études bibliographiques

Analyses de corpus

Matériel et méthode

Nous disposons d'un corpus de 150 enregistrements de voyelles tenues produites par des témoins femmes, de 15 à 97 ans, et d'un corpus de 90 enregistrements de voyelles tenues produites par des témoins hommes, de 16 à 96 ans. Les enregistrements ont été réalisés notamment dans le cadre des mémoires de [Lefol 2015], [Barbera Frenay 2016] et [Papazian 2019]. Différents enregistrements ont aussi fournis par les orthophonistes membres des équipes de recherche [ERU 15] et [ERU 46] du laboratoire LURCO/UNADREO. Concernant les enfants, nous utilisons les corpus de [Bardelang 2020] et [Grenier 2020], ainsi que le corpus de voix d'enfant de 5 ans de [Remacle 2020], ainsi que d'enregistrements d'enfants tout-venant réalisés par les membres de l'ERU 46.

Nous disposons également de plus de 80 échantillons de phrases type [Sicard 2020] de témoins femmes de différents âge. Concernant les hommes, nous utilisons d'une quarantaine d'enregistrements de phrases type. Toutes les personnes sont exemptes de pathologies de la voix et de la parole. Les origines sociales et les régions d'enregistrement sont assez variées. Nous n'avons pas pu étoffer le corpus de phrases avec des témoins issus d'autres corpus construits dans le cadre de programmes de recherche financés par l'ANR, tels que MonPaGe [Fougeron 2021], essentiellement pour des raisons juridiques notamment discutées dans [Ghio 2021].

Nous donnons ici les résultats obtenus avec les outils d'analyse statistique du logiciel DIADOLAB [Sicard 2023b]. Ce logiciel utilise le même algorithme de calcul de fo et d'intonation que VOCALAB [Sicard 2023], qui donne des résultats proches de PRAAT [Sicard 2019] notamment sur de la parole normale, ce qui est le cas des corpus étudiés ici.

Analyse de voyelles

Notre but est de positionner la valeur de fo d'après l'analyse de nos propres corpus en langue Française, construits au plus proche de la clinique orthophonique, par rapport aux données issues de la littérature scientifique présentées à la section précédente. Nous souhaitons en déduire les valeurs repère de fo pour l'épreuve de /a:/ tenu, ainsi que pour l'épreuve de répétition de phrases type. Ces valeurs sont destinées à être implémentées dans les logiciels d'analyse de la voix VOCALAB [Sicard 2023c] et de la parole DIADOLAB [Sicard 2023].

Voyelles enfants de 5 ans

Nous disposons d'un corpus de voyelles isolées prononcées par 50 enfants de 5 ans [Remacle 2019] pour lesquelles nous pouvons évaluer le fo moyen. Nous ne disposons pas d'un corpus similaire pour des enfants plus jeunes ou plus âgés. Les enregistrements étudiés incluent les voyelles extrêmes du triangle vocalique /a,i,ou/ [Sicard 2020c]. Comme on peut le voir sur la figure 3, le fo moyen sur l'ensemble du corpus est autour de 263 Hz, avec un écart-type de 13 Hz, soit une variabilité deux fois moindre que celle usuellement constatée (25 Hz).

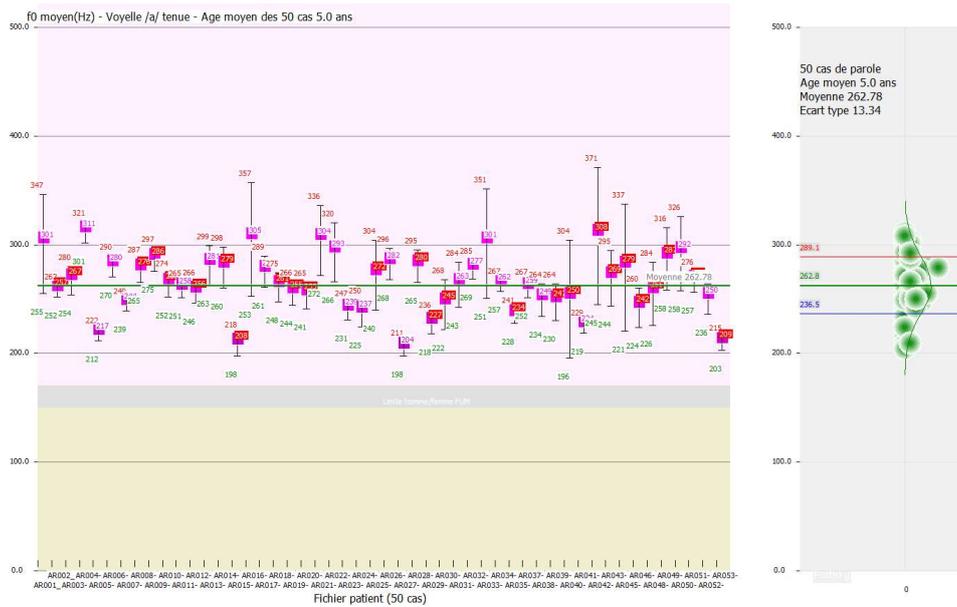


Figure 3 : f0 extrait de voyelles tenues pour 52 enfants de 5 ans [Remacle 2019]

Voyelles femmes

Les valeurs obtenues sur les voyelles tenues (principalement /a:/ tenu), reportées figure 4, sont conformes aux tendances relevées pour les femmes de la figure 1 de 20 à 35 ans, mais se révèlent globalement plus hautes en valeur de f0 (Hz) au-delà. Il est possible que la modalité d'enregistrement de voyelle tenue « du mieux que vous pouvez » ait incité les témoins à utiliser la voix impliquée, voire pour certains la voix chantée, décalant la valeur de f0 vers les plus hautes fréquences. Deux cas (moins de 2% du corpus) se situent en dessous de 150 Hz, et 6 cas (4%) sont dans la zone 150-170Hz. L'erreur de prédiction entre la courbe du f0 femme issue de la méta-analyse et le nuage de points de f0, est de 20 à 30 Hz selon les décades (Figure 4 en haut).

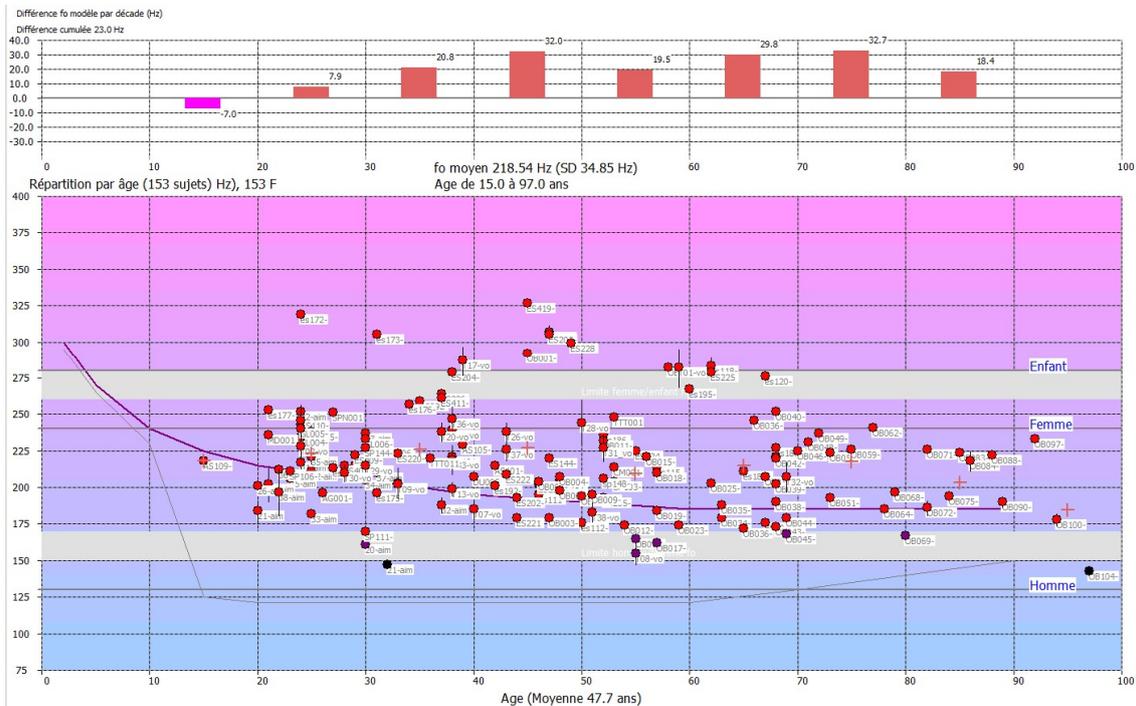


Figure 4 : f0 extrait de voyelles tenues pour 150 témoins femmes avec évaluation de la différence avec la courbe modèle

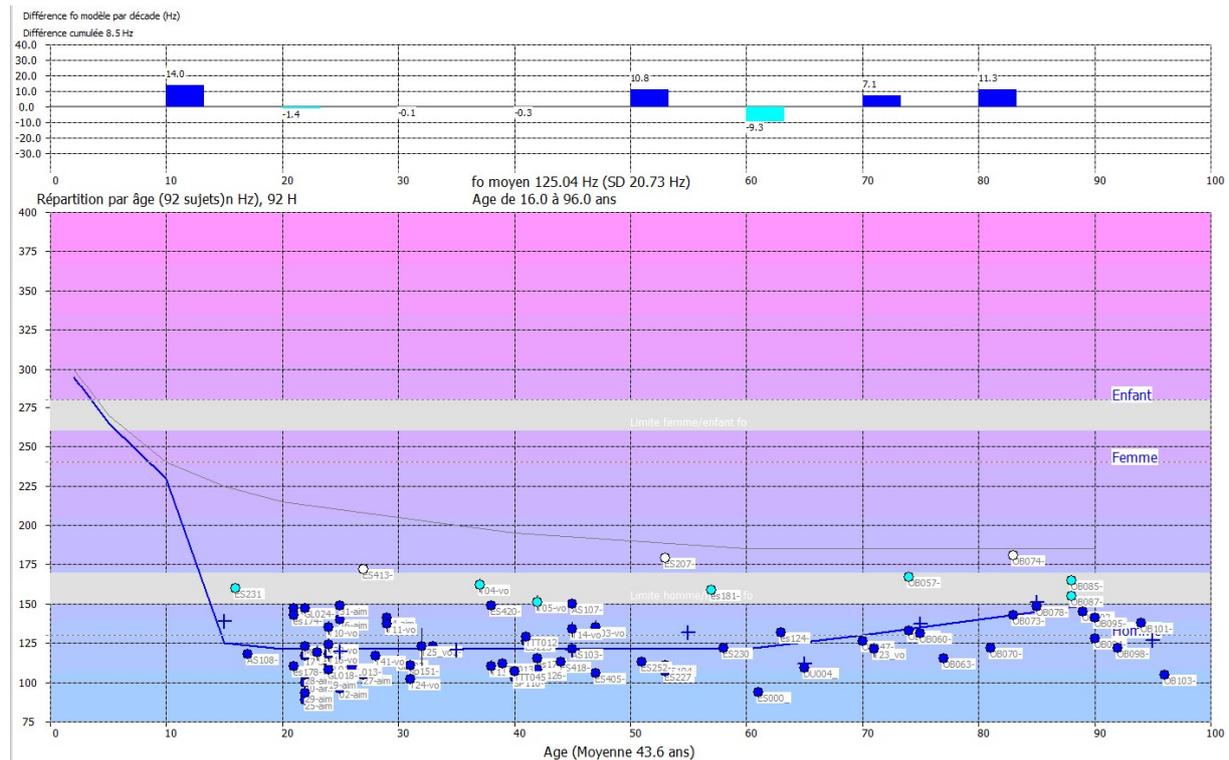


Figure 5 : fo extrait de voyelles tenues pour une centaine de témoins hommes

Voyelles hommes

Concernant les voyelles hommes (Figure 5), on note une bonne concordance entre la trajectoire moyenne et le nuage des points de fo en fonction de l'âge, avec une erreur cumulée de 8 Hz, ce qui est particulièrement faible. Environ 3% des points sont au-dessus de 170 Hz, et 8% dans la zone de transition 150-170Hz.

Analyse de phrases type

Phrases type enfants

L'évolution de fo en fonction de l'âge des enfants de 3 à 8 ans, sur la base d'une tâche de répétitions de phrases courtes [Bardelang 2020] [Grenier 2020], est donnée figure 6. On note une décroissance régulière de fo avec l'âge, de l'ordre de 8 Hz/an, et une réduction significative de l'écart-type, qui se divise quasiment par deux entre 3 et 8 ans. Les valeurs moyennes correspondent bien à l'étude bibliographique, comme le montre la figure 7.

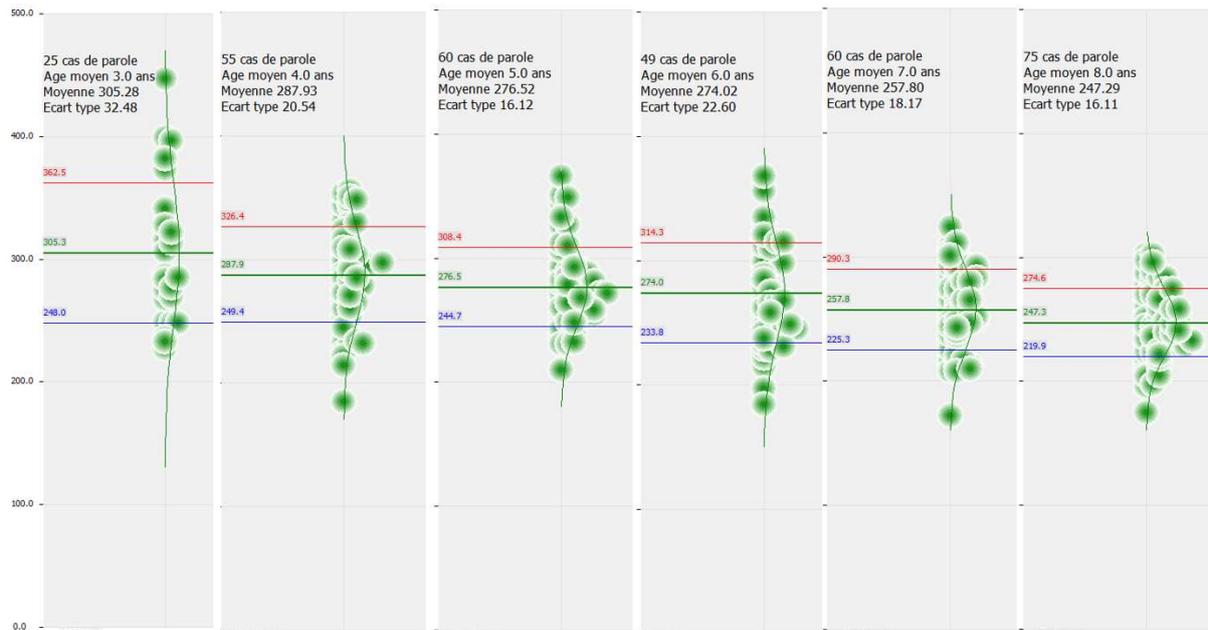


Figure 6 : fo extrait de phrases type pour des enfants de 3 à 8 ans

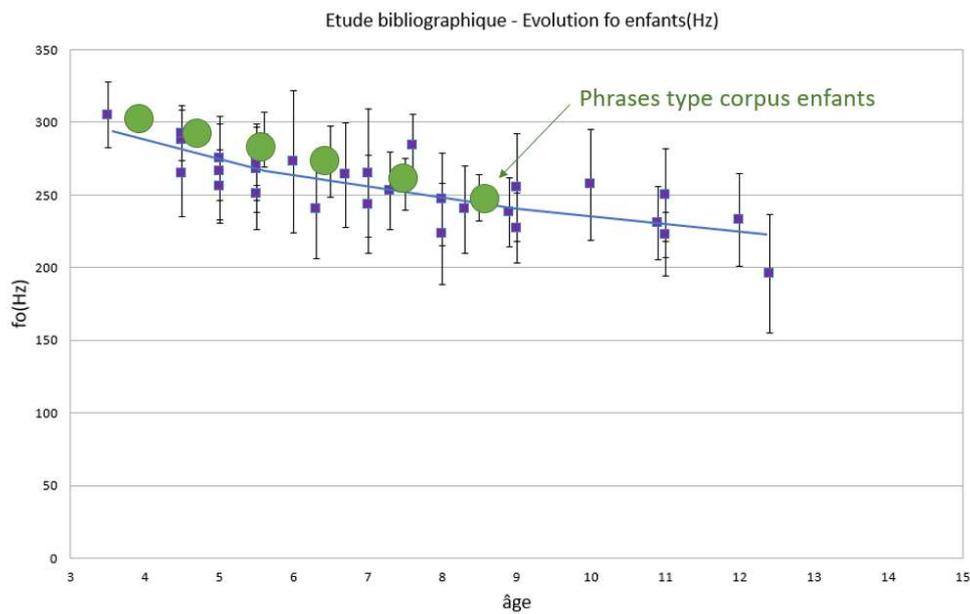


Figure 7 : Superposition de la courbe de tendance de fo pour de jeunes enfants (garçons et filles confondus) et des valeurs moyennes de fo pour des phrases type prononcées par des enfants de 3 à 8 ans

AGE	N	FO (HZ)	ECART TYPE (HZ)
3-3,9	25	305	32,5
4-4,9	55	288	20,5
5-5,9	60	277	16,0
6-6,9	49	274	22,5
7-7,9	60	258	18,0
8-8,9	75	247	16,0

Table 2 : évolution de fo pour de jeunes enfants (garçons et filles confondus) de 3 à 9 ans, basé sur la répétition de phrases courtes

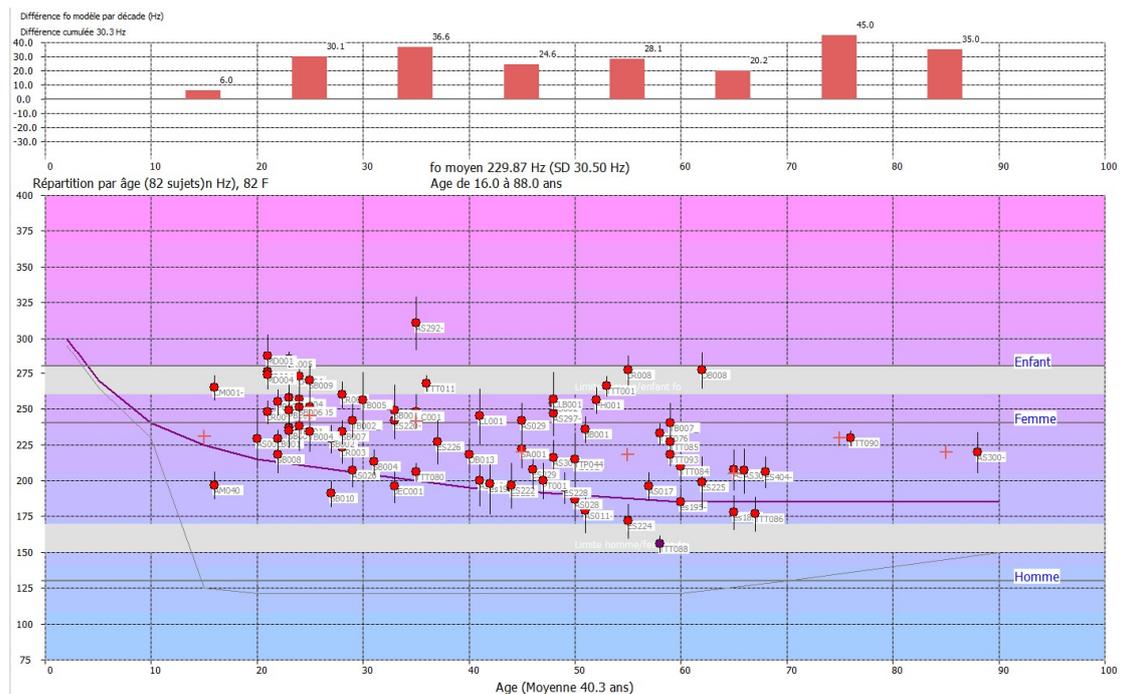


Figure 8 : fo extrait de phrases type ou voix conversationnelle pour 82 témoins femmes

Phrases type femmes

Nous reportons pour chaque phrase le fo moyen (rond rouge), le trait vertical associé symbolisant +/- un écart type de l'intonation. Les croix roses sont les moyennes par décades. On observe une décroissance régulière des valeurs, de l'ordre de 5 Hz/décade jusqu'à 70 ans, ce qui est conforme à la tendance observée dans les méta-analyses. Au-delà de 70 ans, nous ne disposons pas d'un nombre suffisant de points.

Par contre, le report des différences entre moyennes et repères (haut de la figure 8) , permet d'observer un décalage significatif vers les hautes fréquences, de 20 à 30 Hz dans les décades centrales. Ce décalage peut trouver son origine dans la richesse intonative des phrases analysées, contrairement à un /a:/ tenu. Un seul point de données se situe dans la zone 150-170 Hz. Par rapport aux moyennes obtenues pour les voyelles tenues, les valeurs sur les phrases type sont plus élevées, de l'ordre de 11,5 Hz.

Phrases type hommes

Nous disposons d'un nombre assez faible de phrases type prononcées par des hommes (38 échantillons de 14 à 86 ans). Nous constatons sur la figure 9 une erreur cumulée entre la courbe de prédiction de fo et les moyennes par décade de 13 Hz, soit beaucoup moins que pour les femmes. Environ 8% sont hors limite (fo>170 Hz) et 5% dans la zone de transition 150-170 Hz.

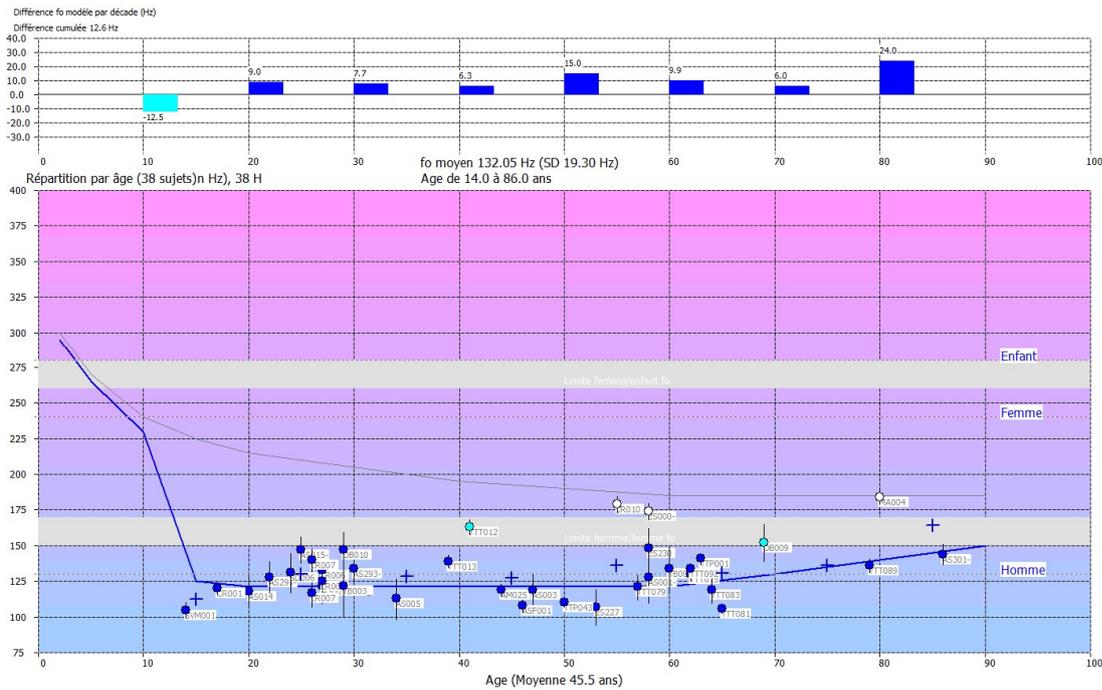


Figure 9 : fo extrait de phrases type ou voix conversationnelle pour 38 témoins hommes

Bien que la force statistique soit faible, la fréquence fo sur les phrases type est environ 7 Hz plus élevée que pour le /a:/ tenu (132 Hz au lieu de 125 Hz).

Féminisation vocale

Bien que la valeur de fo soit loin d'être le seul paramètre qui permette de percevoir un segment de parole comme masculin ou féminin, l'augmentation de fo vers la zone de transition homme/femme, voire au-delà dans le cadre de la féminisation focale d'une patiente transgenre est l'une des étapes importantes suggérées par [Morsomme 2016]. L'exemple de la figure 10 issu du corpus « avant/après » de [Astrudillo 2023] montre une élévation très nette de fo, initialement à 160 Hz, qui dépasse 220 Hz en fin de prise en charge. On note aussi un élargissement de l'intonation (variation de fo sous forme de +/- 1 écart-type), aussi identifié comme une étape importante de la féminisation vocale. Une synthèse de différents mémoires mettant en avant l'élévation de fo pre/post prise en charge est proposée dans [Jaber 2021].

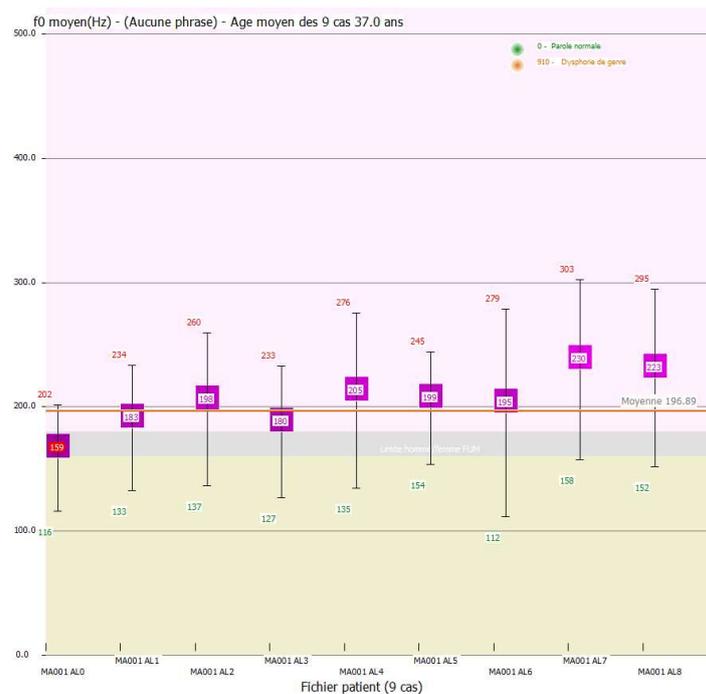


Figure 10: Evolution de fo au cours d'une dizaine de séances de prise en charge [Astrudillo 2023]

Synthèse

Valeurs repère

Si l'on considère la parole spontanée ou la lecture de texte, on constate une élévation globale de fo de l'ordre de 12 Hz pour les enfants de 5 ans, 7 Hz pour les hommes et 11,5 Hz pour les femmes par rapport aux voyelles tenues. Les différentes valeurs sont reportées en table 3. Une zone de transition 160-180 Hz paraît plus appropriée que 150-170 Hz pour séparer les corpus hommes et femmes avec cette modalité de passation.

GENRE	ETUDE BIBLIO (HZ)	FO (HZ) VOYELLES	FO (HZ) PHRASES	DIFFERENCE PHRASE/VOY. (HZ)
ENFANT 5 ANS	275	263	275	+12
HOMME 40 ANS	120	125	132	+7
FEMME 40 ANS	190	218,5	230	+11,5
ZONE DE TRANSITION	[150-170 Hz]	[150-170 Hz]	[160-180 Hz]	+10

Table 3 : Evolution de fo selon le protocole et le genre

Evolution avec l'âge

L'élévation de l'ordre de 5 Hz/décad du fo des hommes semble se confirmer à partir de 50-60 ans. Ce résultat est assez proche de [Fougeron 2021] qui considère une élévation de 5 Hz/décade dès 40 ans, sur un corpus de 500 cas, et l'étude de [Soltani 2013] qui suggère une élévation de 10 Hz/décade de 50 à 70 ans. Une valeur un peu plus basse (2.5 Hz/décade à partir de 60 ans) est proposée par [Fukuda 2023]. D'autres études citées dans la revue de littérature de [Eichhorn 2018] relèvent aussi une tendance à l'élévation de fo avec l'âge. Il existe cependant des études telles que [Spazappan 2020] qui ne montre pas d'élévation significative. On peut cependant considérer avec une certaine confiance l'idée d'une augmentation de fo à partir de 50 ans, de l'ordre de 5 Hz/décade.

Concernant les femmes, une décroissance du fo de 20 à 60 ans est à considérer selon une pente de l'ordre de 5 Hz/décade, suivi d'une éventuelle stabilisation. Ces résultats sont assez proches de [Leung

2020] qui estime la réduction à -18 Hz entre 20 et 60 ans pour les femmes et de [Fougeron 2021] qui évalue la réduction de f_0 de l'ordre de 20 Hz entre 20 et 50 ans, avec peu de variation entre 60 et 90 ans. Les tendances sont similaires à celles trouvées par [Torre 2009], [Sebastian 2012], ou par d'autres travaux cités dans la revue de littérature de [Eichhorn 2018] (table 3). Certaines tendances différentes sont toutefois reportées, notamment au-delà de 60 ans. Par exemple, [Fukuda 2023] estime que la décroissance de f_0 se poursuit au-delà de 60 ans pour les femmes Japonaises à raison de 5 Hz/décade, [Nishio 2008] l'estimant même proche de 10 Hz/décade.

Implémentation dans VOCALAB et DIADOLAB

Même si les fréquences moyennes observées changent globalement peu, voire très peu sur plusieurs décennies de vie adulte (20-50 ans pour les hommes, 60-90 ans pour les femmes), la définition des valeurs devant servir de seuil normal/altéré et altéré/pathologique dans la pratique clinique, nécessitent un ajustement non négligeable de f_0 en fonction de l'âge, plutôt à la baisse pour les femmes de 20 à 60 ans et plutôt à la hausse pour les hommes au-delà de 50 ans.

Jusqu'à une période récente, des repères indépendants de l'âge ont été utilisés dans VOCALAB et DIADOLAB, en fixant une valeur moyenne autour de 220 Hz pour les femmes, 120 Hz pour les hommes et une zone de transition de 140 à 160 Hz. Ces valeurs étaient relativement conformes aux données de la littérature sur le /a:/ tenu et aux observations cliniques, et ce sont ces repères qui ont été utilisés dans l'exploitation de la base de données de voix [Sicard 2014] et dans les études de cas de pathologies de la voix décrits dans [Menin-Sicard 2016], [Menin-Sicard 2016b] et [Menin-Sicard 2021].

L'étude sur la prosodie conduite dans [Sicard 2021] nous a amené pour la première fois à remettre en question ces repères, en constatant une élévation non négligeable de f_0 calculé sur les phrases type, par rapport au protocole basé sur le /a:/ tenu.

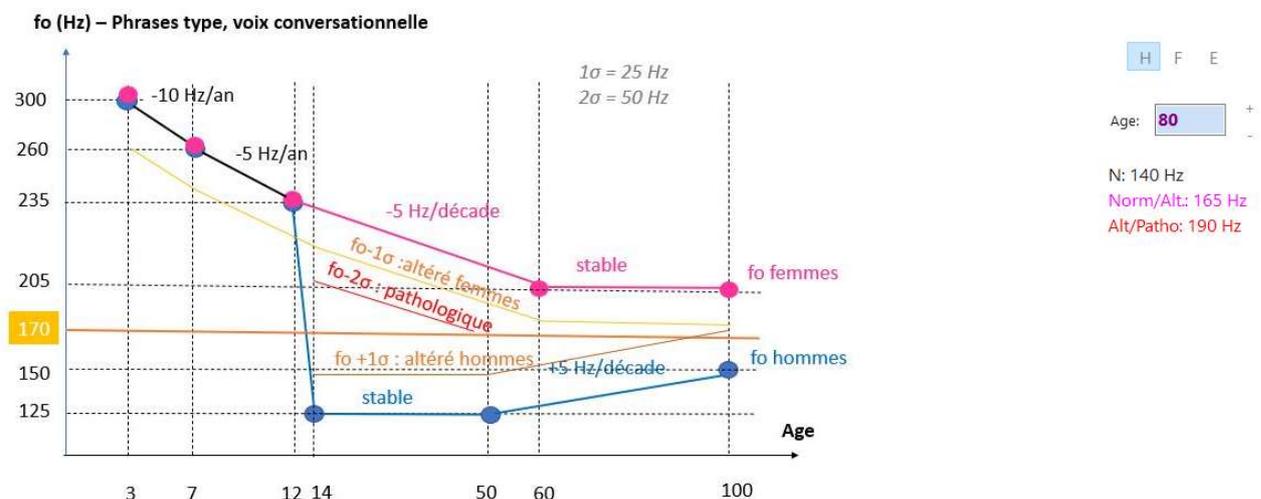


Figure 11 : Evolution de f_0 avec l'âge implémentée dans les outils de bilan de VOCALAB et DIADOLAB, valables pour des phrases type ou la parole spontanée.

Nous avons décidé d’implémenter les courbes de tendance de fo en fonction de l’âge, ce qui fait que la valeur considérée comme la norme évolue conformément aux pentes décrites en figure 11. L’écart-type déduit des méta-analyses (25 Hz) permet de positionner les limites normal/altéré à 1σ (-25Hz pour les femmes, +25 Hz pour les hommes), et les limites altéré/pathologique à 2σ (-50 Hz pour les femmes, +50 Hz pour les hommes). Les valeurs de référence sont accessibles depuis le menu Médiathèque > Repères de VOCALAB et Ressources > Repères de DIADOLAB.

VOCALAB

Le protocole VOCALAB inclut l’enregistrement du /a:/ tenu [Menin-Sicard 2021] et de la voix conversationnelle. Toutefois, la prise en compte de la valeur de fo ne concerne que la voix conversationnelle, dans l’outil d’évaluation « fo+étendue vocale ». De même l’outil « Evolution » se base sur le calcul de fo sur la parole spontanée et non sur la voyelle tenue. Seuls les indicateurs d’altération s’appliquent au /a:/ tenu [Sicard 2023]. L’histogramme de fo est calculé sur une phrase de présentation. Le fondamental usuel moyen de référence est fonction du genre et de l’âge.

Nous donnons dans la figure 11 l’histogramme de la voix conversationnelle d’une femme (cas AS033 décrit dans [Menin-Sicard 2021]) avec un fondamental aggravé. La partie gauche de l’histogramme est situé en dessous de 160 Hz, significativement en dessous de la norme de fo pour une femme à 63 ans (205 Hz), soit un décalage vers les fréquences basses.

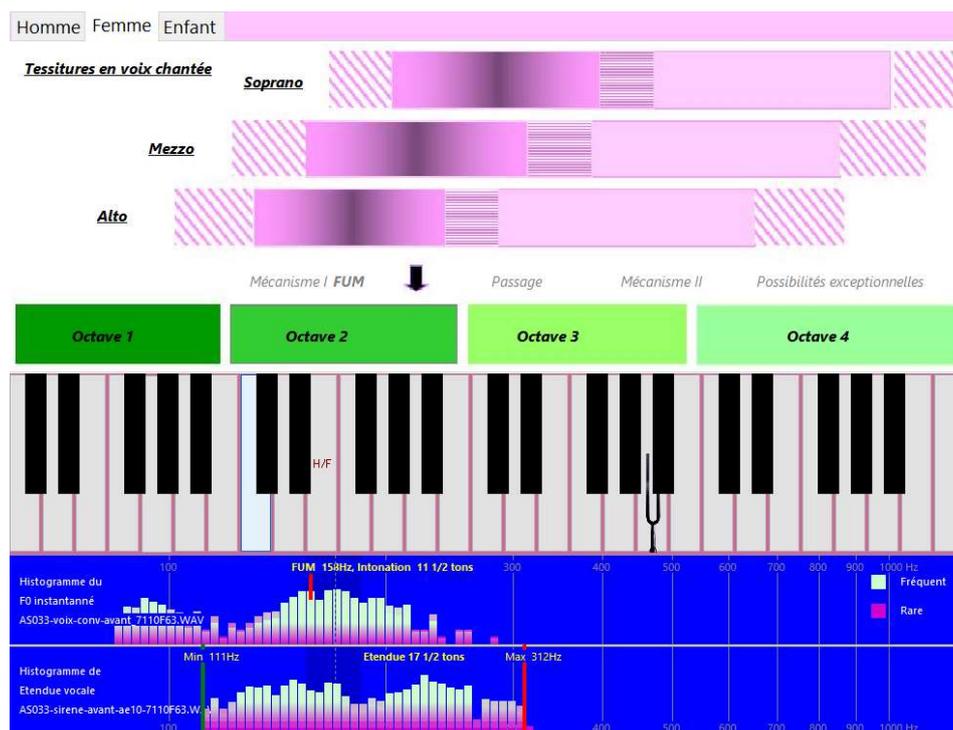


Figure 12 : Zone de transition de 160 à 180 Hz définie dans l’outil d’évaluation de fo et de l’étendue vocale de VOCALAB [Sicard 2023]

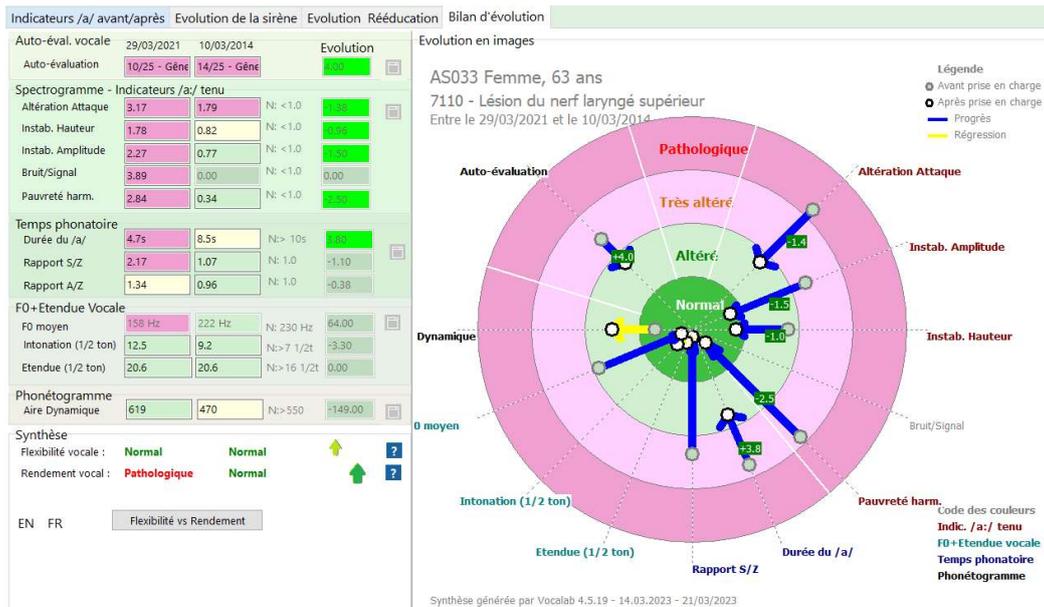


Figure 13 : Module évolution de VOCALAB, cas AS033 [Menin-Sicard 2021]

Le module évolution de VOCALAB utilise aussi les repères de fo pour alerter sur la non-conformité de fo comme dans le cas AS033 avant prise en charge (figure 13), qui est évalué à 158 Hz, alors que la moyenne, d'après la table 1, est autour de 230 Hz avec un écart type de 25 Hz. Si l'on considère fo-2

DIADOLAB

Dans l'écran Evaluation > Prosodie, nous avons intégré les repères de fo en fonction de l'âge pour alerter sur une possible anomalie de la prosodie. Pour le cas CS002 décrit dans [Sicard 2021], le repère de fo normal à 82 ans est autour de 140 Hz (15 Hz plus élevé qu'à 50 ans). Le patient a franchi la limite normal/altéré de 165 Hz avec un fo à 170 Hz (Figure 14).



Figure 14 : Module Prosodie de DIADOLAB, cas CS002 [Menin-Sicard 2021]

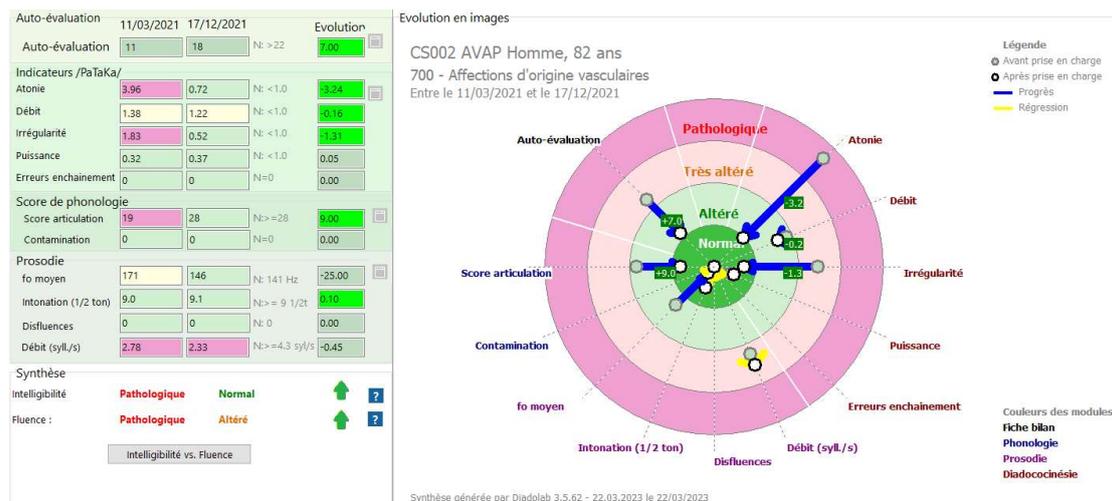


Figure 15 : Module évolution de DIADOLAB, cas CS002 [Menin-Sicard 2021]

Dans le module Evolution, le fo moyen lors du bilan initial est à 171 Hz, plus d'un écart-type au-dessus de la norme à 82 ans (141 Hz), donc considéré comme « altéré ». Après la prise en charge, le fo moyen s'abaisse à 146 Hz, très proche de la norme, donc normal (Figure 15).

Conclusion

Nous avons étudié les données ouvertes de la littérature scientifique récente sur la valeur de la fréquence fondamentale (fo) de la voix et de la parole, en fonction du genre et de l'âge. Nous avons pu compiler environ 200 groupes de valeurs afin de dessiner une tendance. Nous avons ensuite étudié séparément la parole des enfants, des femmes et des hommes sur deux modalités principales : les voyelles tenues et le texte lu. Nous avons constaté des différences significatives entre les deux modalités. Des valeurs repères ont été proposées, avec un modèle simplifié qui reprend d'une part la tendance à la baisse dans le jeune âge, la tendance à la baisse du fo chez les femmes jusqu'à 60 ans et la tendance à la hausse du fo chez les hommes à partir de 50 ans. Nous avons illustré l'intégration des repères de fo en fonction de l'âge dans les modules de bilan d'évolution de VOCALAB et DIADOLAB.

Remerciements

Nous tenons à remercier les orthophonistes contributrices à l'ERU 15 « voix pathologique » et de l'ERU 46 « parole pathologique » du laboratoire LURCO ainsi que les orthophonistes qui ont accepté d'enregistrer des témoins et des patients, ou de co-encadrer des mémoires en lien avec la voix, la parole et leurs pathologies. Nous remercions Cécile FOUGERON pour nous avoir donné des précisions en lien avec les valeurs de fo issues du protocole MonPaGe.

Nous remercions aussi 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. Il a été chercheur associé à l'IRIT dans le cadre du projet 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 120 publications scientifiques notamment dans le domaine de l'analyse de la voix et parole pathologique. Il a été nommé en 2006 *Distinguished Lecturer* de la société savante IEEE.

Site : <https://cv.hal.science/etienne-sicard>

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 Opop, pour la 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 auteur d'un ouvrage sur l'évaluation objective de la voix ainsi que de nombreuses publications dans le domaine de la voix et de la parole pathologique.

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

Email : anne.sicard2@orange.fr

Références

- [Abitbol 1999] Abitbol, J., (1999). Sex hormones and the female voice. *Journal of voice*, 13(3), 424-446.
- [Amir 2009] Amir, O., (2009). A clinical comparison between two acoustic analysis softwares: MDVP and Praat. *Biomedical Signal Processing and Control*, 4(3), 202-205.
- [Astrudillo 2023] <https://femivoz.es/fr/resultats-feminisation-voix>, consulté le 23/03/2023
- [Baken 2000] Baken RJ, Orlikoff RF. *Clinical Measurement of Speech and Voice*. Wien: Springer-Verlag; 2000
- [Barbera Frenay 2016] Barbera O., Frenay, C. (2016). Acquisition d'une population adulte tout-venant pour la caractérisation de l'évolution de la voix au cours du vieillissement par le logiciel VOCALAB. Questionnement des limites entre pathologie et normalité. *Mémoire d'orthophonie*. Université de Lyon.
- [Bardelang 2020] Bardelang T. (2020), L'apport d'une phrase supplémentaire au protocole de DIADOLAB3. *Mémoire d'orthophonie*. Université de Lyon. Encadré par A. Menin-Sicard.
- [Batalla 2014] Batalla, F. N., (2014). Acoustic voice analysis using the Praat programme: Comparative study with the Dr. Speech Programme. *Acta Otorrinolaringologica (English Edition)*, 65(3), 170-176.
- [Ben Barsties 2019] Ben Barsties, V., L., (2019). Diagnostic accuracy of dysphonia classification of DSI and AVQI. *The Laryngoscope*, 129(3), 692-698.
- [Berg 2017] Berg, M., (2017). The speaking voice in the general population: Normative data and associations to sociodemographic and lifestyle factors. *Journal of Voice*, 31(2), 257-e13.

- [Berger 2019] Berger, T., (2019). Speaking voice in children and adolescents: normative data and associations with BMI, Tanner stage, and singing activity. *Journal of Voice*, 33(4), 580-e21
- [Boersma 2017] Boersma, P. (2017). Praat: Doing phonetics by computer. <https://www.praat.org/>
- [De Pinto 1982] De Pinto, O., & Hollien, H. (1982). Speaking fundamental frequency characteristics of Australian women: then and now. *Journal of Phonetics*, 10(4), 367-375.
- [Deliyski 2011] Deliyski, S. A. X. D. (2001). Effects of aging on selected acoustic voice parameters: Preliminary normative data and educational implications. *Educational gerontology*, 27(2), 159-168.--
- [Eichhorn 2018] Eichhorn, J. T., (2018). Effects of aging on vocal fundamental frequency and vowel formants in men and women. *Journal of Voice*, 32(5), 644-e1.
- [Evans 2006] Evans, S., (2006). Relationships between vocal characteristics and body size and shape in human males: an evolutionary explanation for a deep male voice. *Biological psychology*, 72(2), 160-163.
- [ERU 15] <https://www.unadreo.org/lurco/les-erus-en-detail/eru-15-nouveaux-outils-danalyse-de-la-qualite-de-la-voix/eru-15-projet-base-de-donnees-de-voix/>
- [ERU 46] <https://www.unadreo.org/lurco/les-erus-en-detail/eru-46-parole/eru-46-presentation-generale/>
- [Fitch 1970] Fitch, J. L., & Holbrook, A. (1970). Modal vocal fundamental frequency of young adults. *Archives of Otolaryngology*, 92(4), 379-382.
- [Fougeron 2016] Fougeron, C., (2016). Chapitre 14. MonPaGe: un protocole informatisé d'évaluation de la parole pathologique en langue française. <https://hal.science/hal-02437340>
- [Fougeron 2021] Fougeron, C., (2021). Multi-dimensional variation in adult speech as a function of age. *Languages*, 6(4), 176.
- [Fukuda 2023] Fukuda, M., (2023). A new speech corpus of super-elderly Japanese for acoustic modeling. *Computer Speech & Language*, 77, 101424.
- [Ghio 2012] Ghio, A. (2012). Bilan instrumental de la dysphonie. R. Garrel And B. Amy de la Bretèque And V. Brun. *La voix parlée et la voix chantée*, Sauramps Médical, pp.69-104, 2012, <https://hal.science/hal-01482478>
- [Ghio 2021] Ghio, A., (2021). Du recueil à l'exploitation des corpus de parole «pathologique»: comment accéder à la variation physiopathologique?. *Corpus*, (22).
- [Gilmore 1992] Gilmore, S. I., (1992). Intra-subject variability and the effect of speech task on vocal fundamental frequency of young adult Australian males and females. *Australian Journal of Human Communication Disorders*, 20(2), 65-73.
- [Goy 2013] Goy, H., (2013). Normative voice data for younger and older adults. *Journal of Voice*, 27(5), 545-555.
- [Graddol 1983] Graddol, D., & Swann, J. (1983). Speaking fundamental frequency: Some physical and social correlates. *Language and Speech*, 26(4), 351-366.
- [Grenier 2020] Grenier, C. (2020). Etude comparative de tests phonologiques existants et du protocole d'analyse objective de la parole avec Diadolab: intérêt et limites d'un test court et des

mesures objectives d'intelligibilité et de fluence. Mémoire de Master d'orthophonie. Université de Toulouse. Co-encadrement: S. Michel, E. Sicard.

[Henrich-Bernardoni 2014] Henrich-Bernardoni, N. (2014). Comment analyser la voix humaine dans la parole et dans le chant ? Les outils scientifiques et méthodes de la recherche fondamentale à disposition de la recherche clinique sur la voix et leurs implications en orthophonie. *Rééducation orthophonique*, 257, pp.155-176. <https://hal.science/hal-01427026>

[Jaber 2021] Jaber, B., & Morsomme, D. (2021). Féminiser la communication orale et plus spécifiquement la voix. *UPLF INFO*, 39e édition, pp. 15-20

[Jayakumar 2022] Jayakumar, T., & Benoy, J. J. (2022). Acoustic Voice Quality Index (AVQI) in the measurement of voice quality: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Voice*.

[Lefol 2015] Lefol, G., (2015). Vers une évaluation objective de l'articulation en pratique clinique orthophonique, Université de Tours, co-encadrants: S. Borel, E. Sicard

[Lee 1999] Lee, S., Potamianos, A., & Narayanan, S. (1999). Acoustics of children's speech: Developmental changes of temporal and spectral parameters. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 105(3), 1455-1468.

[Leung 2020] Leung, Y., (2020). Speaking fundamental frequencies of adult speakers of Australian English and effects of sex, age, and geographical location. *Journal of Voice*.

[Murry 1995] Murry, T., (1995). Patterns of fundamental frequency for three types of voice samples. *Journal of Voice*, 9(3), 282-289.

[Menin-Sicard 2013] Menin-Sicard, A., (2013) Approche métacognitive dans le cadre de l'évaluation et la réévaluation de la voix. *Rééducation Orthophonique* N°254, pp.121-134. <https://hal.science/hal-01081646>

[Menin-Sicard 2016] Menin-Sicard, A., Sicard, E. (2016), "[Evaluation et réhabilitation de la voix - Approche clinique et objective](#)", Chapitre 4 – Etudes de cas. De Boeck Supérieur, Paris. ISBN 9782353273188, 288 pp.

[Menin-Sicard 2016b] Menin-Sicard, A. (2016). "Cas cliniques comparés AS042-AS048 - Comment deux cas similaires peuvent aboutir à des résultats différents", *Les Journées Cliniques d'Orphéo*, Nîmes

[Menin-Sicard 2021] Menin-Sicard, A., Sicard, E. (2021). Etude de cas de voix dans le cadre de la prise en charge orthophonique. <https://hal.science/hal-03186341>

[Nishio 2008] Nishio, M., & Niimi, S. (2008). Changes in speaking fundamental frequency characteristics with aging. *Folia phoniatrica et logopaedica*, 60(3), 120-127.

[Papazian 2019] Papazian, A. (2019). Analyse acoustique de la production des consonnes et voyelles dans l'ataxie de Friedreich. Mémoire d'orthophonie Univ. Tours.

[Pemberton 1998] Pemberton, C., (1998). Have women's voices lowered across time? A cross sectional study of Australian women's voices. *Journal of Voice*, 12(2), 208-213.

[Peterson 2013] Peterson, E. A., (2013). Toward validation of the cepstral spectral index of dysphonia (CSID) as an objective treatment outcomes measure. *Journal of Voice*, 27(4), 401-410.

[Poulain 2020] Poulain, T., (2020). Associations of speaking-voice parameters with personality and behavior in school-aged children. *Journal of Voice*, 34(3), 485-e23.

[Perriere 2013] Perrière, S. (2013). La voix en images: comment l'évaluation objectivée par logiciel permet d'optimiser la prise en charge vocale. *Rééducation orthophonique*, (254), pp-103.

[Remacle 2020] Remacle, A., (2020). Vocal characteristics of 5-year-old children: proposed normative values based on a French-speaking population. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 45(1), 30-38.

[Russel 1995] Russell, A., (1995). Speaking fundamental frequency changes over time in women: a longitudinal study. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 38(1), 101-109.

[Sebastian 2012] Sebastian, S., (2012). Acoustic measurements of geriatric voice. *Journal of Laryngology and Voice*, 2(2), 81.

[Serritella 2020] Serritella, E., (2020). Local vibratory stimulation for temporomandibular disorder myofascial pain treatment: a randomised, double-blind, placebo-controlled preliminary study. *Pain Research and Management*, 2020.

[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.science/hal-00836912>

[Sicard 2014] Sicard E., Menin-Sicard A., Perriere S. , (2014) « Construction d'une base de données de voix pathologiques pour la recherche orthophonique - Recherche en orthophonie et identité professionnelle », *Rééducation Orthophonique* N° 257, pp. 177-202, Mars 2014, <https://hal.science/hal-00968599>

[Sicard 2019] Sicard, E., Meyrieux, L. Moreau, M., Remacle, A. (2019). L'analyse acoustique des voix d'enfants de 5 ans : Proposition de valeurs de référence pour les logiciels PRAAT et VOCALAB. *Journées de Phonétique Clinique (JPC 2019)*. Mons, Belgique. <https://hal.science/hal-02434863>

[Sicard 2020] Sicard, E., Menin-Sicard, A. (2020) Analyse d'une phrase type dans le cadre du bilan orthophonique de la parole. <https://hal.science/hal-02568392>

[Sicard 2020b] Sicard, E., Menin-Sicard, A. (2020). DIADOLAB: bilan court et objectif de la dysarthrie dans le cadre de la prise en charge orthophonique. *Journées Nationales de Neurologie en langue Française*, Lyon, France. <https://hal.science/hal-02396136>

[Sicard 2020c] Sicard, E., & Menin-Sicard, A. (2020). Le triangle vocalique et son application en contexte orthophonique. <https://hal.science/hal-02504513/>

[Sicard 2021] Sicard, E., Menin-Sicard, A., (2021). Analyse acoustique de la prosodie dans le cadre de la clinique orthophonique. <https://hal.science/hal-03177645>

[Sicard 2022] Sicard, E, (2022). Etude de cas de pathologies de la parole dans le cadre de la prise en charge orthophonique. <https://hal.science/hal-03568182>

[Sicard 2023] Sicard E., Menin-Sicard A., (2023). VOCALAB 4.5, Manuel d'utilisation. Editeur GERIP.

[Sicard 2023b] Sicard E., Menin-Sicard A., (2023). DIADOLAB 3.5, Manuel d'utilisation. Editeur GERIP.

[Spazzapan 2019] Spazzapan, E. A., (2019). Acoustic characteristics of voice in different cycles of life: an integrative literature review. *Revista CEFAC*, 21.

- [Spazzapan 2022] Spazzapan, E. A., (2022). Acoustic characteristics of the voice for Brazilian Portuguese speakers across the life span. *Journal of Voice*, 36(6), 876-e17.
- [Tavares 2010] Tavares, E. L. M., (2010). Normative study of vocal acoustic parameters from children from 4 to 12 years of age without vocal symptoms: a pilot study. *Brazilian Journal of otorhinolaryngology*, 76, 485-490.
- [Titze 2015] Titze, I. R., (2015). Toward a consensus on symbolic notation of harmonics, resonances, and formants in vocalization. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 137(5), 3005-3007.
- [Torre 2009] Torre III, P., & Barlow, J. A. (2009). Age-related changes in acoustic characteristics of adult speech. *Journal of communication disorders*, 42(5), 324-333.
- [Trollinger 2003] Trollinger, V. L. (2003). Relationships between pitch-matching accuracy, speech fundamental frequency, speech range, age, and gender in American English-speaking preschool children. *Journal of research in music education*, 51(1), 78-94.
- [Troughear 1979] Troughear, R., & Davis, P. J. (1979). Real time, micro-computer based voice feature extraction in a speech pathology clinic. *Australian Journal of Human Communication Disorders*, 7(2), 4-21.
- [Vaz-Freitas 2018] Vaz-Freitas, S., (2018). Acoustic analysis of voice signal: Comparison of four applications software. *Biomedical Signal Processing and Control*, 40, 318-323.
- [Verdolini 2006] Verdonili, K. (2006). « Classification Manual For Voice Disorders – Volume 1, Psychology Press, 2006
- [Weirich 2013] Weirich, M., & Simpson, A. (2013). Investigating the relationship between average speaker fundamental frequency and acoustic vowel space size. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 134(4), 2965-2974.
- [Wuyts 2000] Wuyts, F. L., (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.
- [Zraick 2006] Zraick, R. I., (2006). The effect of speaking context on elicitation of habitual pitch. *Journal of Voice*, 20(4), 545-554.

Annexe A – Données source hommes

<i>Age moyen des hommes</i>	<i>fo (Hz)</i>	<i>Ecart type (Hz)</i>	<i>Sources</i>
3,5	305,0	22,5	Sicard
4,5	265,0	29,9	Trollinger
4,5	288,0	20,5	Sicard
4,5	292,44	18,75	Soltani
5,0	256,0	25,0	Sicard
5,0	266,0	33,0	Lee
5	275,1	29,1	Tavares
5,5	250,5	24,1	Remacle
5,5	267,7	29,3	Remacle
5,5	272,5	26,3	Remacle
5,5	271,0	14,1	Sicard
5,6	288,33	19,02	Soltani
6,0	273,0	49,0	Lee
6,3	240,5	34,0	Gelfer
6,5	273,0	24,3	Sicard
6,7	263,7	35,8	Spazzapan
7,0	265,0	44,0	Lee
7	243,4	33,7	Tavares
7,3	253,0	26,6	Gelfer
7,5	257,0	17,8	Sicard
7,6	284,15	21,24	Soltani
8,0	223,3	34,8	Berger
8,0	247,0	32,0	Lee
8,3	240,0	30,0	Gelfer
8,5	248,0	15,8	Sicard
8,9	238,0	23,8	Spazzapan
9,0	255,0	37,0	Lee
9	227,3	23,8	Tavares
10,0	257,0	38,0	Lee
10,9	230,9	25,2	Spazzapan
11,0	222,3	28,2	Poulain
11,0	250,0	32,0	Lee
11	222,5	15,7	Tavares
12,0	233,0	32,0	Lee
12,4	195,8	40,7	Spazzapan
12,5	219,12	21,11	Soltani
13,0	187,3	40,7	Berger
13,0	181,0	52,0	Lee
14,0	176,0	45,0	Lee
14,7	127,6	42,0	
14,7	124,32	17,31	Soltani

15,0	125,0	36,0	Lee
16,0	122,3	25,8	Berger
16,0	126,0	30,0	Lee
17,0	129,0	26,0	Lee
17,0	121,3	18,4	Spazzapan
18,0	124,0	27,0	Lee
19,0	118,0	17,0	Goy
20,0	124,9	13,5	Gilmore
20,0	129,0	18,0	Hollien
21,8	118,53	24,64	Soltani
22,0	122,6	19,1	Spazzapan
23,0	112,0	18,0	Leung, Y.
24,0	121,7		Nishio
25,4	127,0	19,0	Fougeron
26,5	136,0	10,0	Murry
31,0	118,9	8,9	Sicard
31,8	117,65	23,35	Soltani
32,0	122,0	10,0	Graddol
32,8	123,6	16,0	Spazzapan
33,0	119,4	17,2	Ayoub
33,0	112,0	17,4	Troughear
34,0	121,0	31,0	Leung, Y.
34,0	116,0	20,0	Fougeron
35,0	119,3		Nishio
35	113	9,4	Dehqan
41,5	117,81	23,46	Soltani
44,1	129,3	24,1	Spazzapan
44,3	132,0	9,2	Sicard
45,0	119,3		Nishio
45,0	111,0	16,0	Leung, Y.
45,0	104,5	14,0	Berg
45,0	122,0	18,9	Berg
45,0	124,0	17,0	Fougeron
51,5	114,06	23,79	Soltani
53,5	128,9	23,1	Spazzapan
53,7	129,0	28,0	Fougeron
54,4	132,0	30,0	Fougeron
55,0	122,9		Nishio
55,0	114,0	17,0	Leung, Y.
55,0	106,5	14,9	Berg
55,0	124,7	22,2	Berg
62	140,4	13,9	Sebastian
63,6	131,5	28,8	Spazzapan
64,0	112,9	17,5	Berg
65,0	123,4		Nishio
65,0	130,0	20,0	Berg
67	140	20,4	Sebastian

68	130,9	18	Pessin
70,5	127,45	22,25	Soltani
71,4	137,0	10,0	Murry
72,0	116,0	16,0	Goy
72	144,8	48,7	Sebastian
74	128	25	Spazzapan
74,6	134,0	23,0	Fougeron
75,0	132,5		Nishio
75,0	127,6	29,2	Deliyski
75,0	120,6	19,8	Berg
75,0	141,0	26,1	Berg
77	136,3	22,4	Sebastian
81,0	112,5	6,0	Eichhorn
83	146	14,9	Dehqan
83	133,3	20	Pessin
84,3	150,0	30,0	Fougeron
85,0	136,5		Nishio
90,0	150,0	25,0	Fukada

Annexe B – Données source femmes

<i>Age moyen des femmes</i>	<i>fo (Hz)</i>	<i>Ecart type (Hz)</i>	<i>Sources</i>
3,5	305,0	22,5	Sicard
4,5	265,0	29,9	Trollinger
4,5	288,0	20,5	Sicard
4,6	292,53	15,37	Soltani
5,0	255,0	25,0	Sicard
5,0	272,0	37,0	Lee
5	257,1	29,1	Tavares
5,5	260,0	25,2	Remacle
5,5	275,0	34,5	Remacle
5,5	282,0	35,6	Remacle
5,5	271,0	14,1	Sicard
5,5	289,75	18,02	Soltani
6,0	265,0	53,0	Lee
6,3	240,5	34,0	Gelfer
6,5	273,0	24,3	Sicard
6,6	267,9	30,1	Spazzapan
7,0	281,0	43,0	Lee
7	258,9	33,7	Tavares
7,3	253,0	26,6	Gelfer
7,5	257,0	17,8	Sicard
7,6	282,4	17,12	Soltani

8,0	223,3	34,2	Berger
8,0	273,0	31,0	Lee
8,3	240,0	30,0	Gelfer
8,5	248,0	15,8	Sicard
9,0	267,0	35,0	Lee
9,0	241,2	35,2	Spazzapan
9	230,5	23,8	Tavares
10,0	263,0	41,0	Lee
10,6	238,2	28,0	Spazzapan
11,0	222,3	28,2	Poulain
11,0	247,0	37,0	Lee
11	234,1	15,7	Tavares
12,0	234,0	27,0	Lee
12,4	226,1	48,3	Spazzapan
12,5	213,5	31,3	Berger
12,5	258,65	21,63	Soltani
13,0	251,0	43,0	Lee
14,0	225,0	27,0	Lee
14,3	219,0	21,1	
14,6	217,2	19,49	Soltani
15,0	220,0	27,0	Lee
16,0	205,8	27,7	Berger
16,0	225,0	20,0	Lee
16,9	223,7	16,1	Spazzapan
17,0	219,0	20,0	Lee
18,0	242,0	15,0	Lee
19,0	206,3	14,3	Gilmore
19,0	208,0	19,0	Goy
21,0	223	22,3	Spazzapan
21,4	214,8	19,08	Soltani
21,5	228,0	3,4	De Pinto
21,5	204,0	19,3	Weirich
22,0	229,0	12,3	Pemberton
22,0	229,0	12,3	Russel
22,0	217,0		Fitch
24,0	226,1		Nishio
24,0	206,0	32,0	Leung,Y.
24,8	219,0	21,0	Fougeron
25,0	207,3	23,2	Zraick
26,5	193,0	18,0	Murry,
31,9	214,2	21,02	Soltani
32,0	208,0	20,0	Graddol
33	208,4	23,1	Spazzapan
34,5	202,0	28,0	Fougeron
35,0	210,2		Nishio
35,0	195,0	19,0	Leung,Y.
35	210	11,6	Dehqan

38,0	231,0	40,0	Lee
39,9	216,2	17,0	Sicard
41,2	213,07	21,3	Soltani
42,0	195,6	19,3	Troughear
44	198,2	20,1	Spazzapan
44,7	210,0	23,0	Fougeron
45,0	201,6		Nishio
45,0	193,0	23,0	Leung, Y.
45,0	170,5	23,2	Berg
45,0	198,4	31,3	Berg
51,8	190,27	23,57	Soltani
54	194,9	21,0	Spazzapan
54,9	206,0	28,0	Fougeron
55,0	190,1		Nishio
55,0	184,2	9,6	Russel
55,0	188,0	20,0	Leung, Y.
55,0	163,1	22,8	Berg
55,0	192,6	26,6	Berg
56,0	180,0	3,4	De Pinto
62	189,6	13,9	Sebastian
63	189,5	23,9	Spazzapan
64,6	204,0	29,0	Fougeron
65,0	187,1		Nishio
65,0	169,6	27,1	Berg
65,0	200,7	31,2	Berg
65	193,81	24,8	Cerceau
66,5	181,2	17,5	Russel
67	177,4	20,4	Sebastian
68	202,6	28	Pessin
71,4	172,0	22,0	Murry
71,4	178,96	25,03	Soltani
72,0	174,0	22,0	Goy
72	194,5	48,7	Sebastian
74,5	207,0	25,0	Fougeron
75,0	170,6		Nishio
75,0	187,0	42,2	Deliyski
75,0	171,3	23,8	Berg
75,0	200,0	26,9	Berg
75	188,1	27,6	Spazzapan
75	195,71	27,3	Cerceau
77	188,4	22,4	Sebastian
81,0	182,7	6,0	Eichhorn
83	194	15	Dehqan
83	199,4	20,1	Pessin
84,3	205,0	30,0	Fougeron
85,0	167,9		Nishio

88	187,6	21,6	Cerceau
90,0	190,0	25,0	Fukada