

Les divas et le diapason

Nicole SCOTTO DI CARLO
 Directeur de Recherche au C.N.R.S.
 Laboratoire Parole et Langage
 (E.S.A. 6057)

La hauteur du diapason* a subi d'importantes variations au cours des siècles. Jusqu'au milieu du XIX^e siècle, aucune règle n'étant établie, il y avait jusqu'à 17 diapasons en usage dans les grandes villes d'Europe. Le diapason qui était à 404 Hz* sous Louis XIV et Louis XV, passa à 423 Hz sous Napoléon I^{er} pour fluctuer entre 446 et 457 Hz sous le Second Empire. Cette hausse constante du diapason finit par inquiéter les chanteurs. En 1812 déjà, le directeur du Conservatoire de Paris avait tenté d'imposer un diapason dont la hauteur correspondait à la moyenne entre les divers *la* relevés dans la capitale, mais il fallut attendre 1858 pour qu'une commission ministérielle soit nommée. La commission Lissajous-Halévy entreprit une enquête internationale qui révéla un écart de plus d'un ton entre les différents diapasons adoptés en Europe puisqu'il allait de 445 Hz à Bruxelles jusqu'à 434 Hz à Londres. La commission fixa le diapason à 435 Hz à la température de 18°C¹. Un arrêté ministériel ratifia cette décision en France l'année suivante et un diapason-étalon fut déposé au Conservatoire National des Arts et Métiers. En 1939, une commission internationale réunie à Londres dans le but d'examiner l'évolution du diapason depuis la guerre de 1914-1918, en fixa la hauteur à 440 Hz à 20°C, mais cette décision resta sans effet en raison des événements qui suivirent. En 1953, le Comité

d'Acoustique de l'Organisation Internationale de Normalisation se réunit à Londres et confirma les décisions prises en 1939, décisions qui furent à nouveau entérinées par la Commission Européenne de 1975, sans pour cela aboutir à un diapason unifié puisqu'actuellement, les musiciens spécialisés dans l'interprétation des oeuvres baroques, utilisent un diapason à 415 Hz, alors que celui des orchestres symphoniques et lyriques fluctue entre 445 et 450 Hz (figure 1).

A quelles causes peut-on attribuer la montée du diapason ? Dans un article consacré à ce qu'il appelait « la réforme du diapason », Berlioz, qui protestait vigoureusement contre son « exhaussement progressif », expliquait les raisons qui avaient poussé le ministre à réunir une commission composée de spécialistes : « Monsieur le Ministre d'Etat, inquiet sur l'avenir de plus en plus alarmant de l'exécution musicale dans les théâtres lyriques, étonné du peu de durée de la carrière des chanteurs et persuadé avec raison que l'élévation progressive du diapason est une cause de ruine pour les plus belles voix, vient de nommer une commission pour examiner avec soin cette question, déterminer l'étendue du mal et en découvrir le remède ». Dans ce même article, il désignait les facteurs d'instruments à vent comme étant les responsables de ce phénomène : « Il paraît prouvé maintenant que les facteurs d'instruments à vent sont les seuls coupables du fait dont nous déplorons les conséquences. Afin de donner un peu plus d'éclat aux flûtes, aux hautbois et aux clarinettes, certains facteurs en ont clandestinement haussé le ton. Les jeunes virtuoses entre les mains desquels ces instruments sont arrivés, ont dû d'abord, lorsqu'ils sont entrés dans un orchestre, en tirer un peu la coulisse pour les mettre d'accord avec les autres. Mais comme cet allongement du tube (des flûtes surtout) en dérange plus ou moins les proportions et par suite en altère la justesse, ces artistes se sont peu à peu abstenus d'y recourir. Toute la masse des instruments à cordes a suivi alors, peut-être à son insu, l'impulsion donnée par ces instruments à vent aigus ; les violons, les altos, les basses en tendant un peu plus leurs cordes,

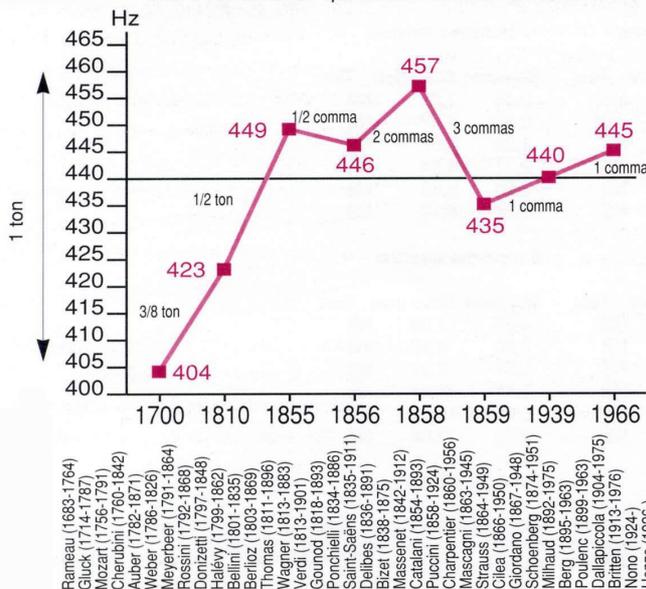


Figure 1 - Evolution du diapason au cours des siècles. En deux siècles et demi, le diapason a subi de nombreuses fluctuations. Les valeurs extrêmes qu'il a affichées entre 1700 et 1858 sont de l'ordre du ton.

1. La hauteur du diapason varie en fonction de la température ambiante à cause d'une loi physique bien connue selon laquelle la vitesse du son est affectée par la température du milieu qui le transmet. Dans un milieu froid, les molécules se déplacent plus lentement, ce qui réduit la vitesse de transmission du son, mais lorsque ce même milieu est chauffé, les molécules se déplacent plus rapidement les unes par rapport aux autres, ce qui accroît la vitesse de propagation du son (Stevens & Warshofsky). La hausse théorique du diapason en fonction de la température a été évaluée par Leipp qui estime qu'autour de 440 Hz, une augmentation de 1°C correspond à peu près à une montée de 1 Hz.

— Lexique —

ont ainsi adopté facilement un diapason plus haut. Les autres musiciens, les anciens de l'orchestre, chargés des parties de basson, de cor, de trompette, de second hautbois, etc., fatigués de ne pouvoir, malgré tous leurs efforts, se hausser jusqu'au ton devenu le ton dominant, ont alors fini par porter leurs instruments chez le facteur pour en faire adroitement raccourcir le tube et atteindre ainsi le ton nouveau. Et voilà le diapason haut installé dans cet orchestre et bientôt après, dans les concerts, par des pianos accordés sur des diapasos d'acier dont les branches raccourcies à coups de lime avaient pris le ton nouveau. Le même fait, plus ou moins avoué, mais réel, se reproduit à peu près partout, tous les vingt ans ». Pour Chailley, les causes de la hausse du diapason sont multiples : accord des cordes par quintes entraînant une montée des intervalles musicaux (la quinte naturelle étant légèrement plus haute que la quinte tempérée), échauffement des instruments à vent en cours d'exécution, produisant de façon insensible mais constante une montée générale du son par échauffement de la colonne d'air, désir des solistes d'être accordés légèrement au-dessus de l'orchestre afin de bénéficier d'une impression de brillance très agréable pour eux, désir des facteurs de cuivres de donner plus d'éclat à leurs instruments, etc.

Curieusement, ce ne sont pas les chanteurs qui se plaignent de la « montée du diapason » mais les chanteuses et en particulier les sopranos, parmi lesquelles Maria Callas, Renata Tebaldi et Montserrat Caballé. En 1987, cette dernière disait dans une interview accordée à la revue *Opéra pour tous* : « J'ai longtemps cherché à comprendre pourquoi il y avait des jeunes chanteurs qui promettaient beaucoup et qui donnaient des signes de fatigue au bout de deux ou trois ans. Problème technique ? Psychologique ? J'ai eu la révélation un jour à New York en lisant une longue interview de Renata Tebaldi. Tebaldi expliquait qu'il y avait eu une convention internationale à Vienne dans les années 40-50². Là, les chefs comme Furtwängler, Serafin et les autres Grands s'étaient mis d'accord pour régler les diapasos des orchestres à 440. Elle expliquait aussi que la hauteur du son était ainsi bien supérieure à celle de l'époque de Verdi³ (environ 429). Résultat : les chanteurs sont obligés de chanter aujourd'hui un demi-ton ou un ton ou plus qu'à l'époque de la création. A ce rythme, aucune corde vocale ne peut résister : la voix n'est pas un violon. On ne peut trop tendre une corde, on ne peut que la casser. Si aujourd'hui Tamagno ou Caruso revenaient chanter, ils y laisseraient peut-être leur voix comme tant de jeunes ténors. Regardez l'Opéra de Vienne, le diapason y est monstrueux ! Il est à 445 ou 446⁴. Conséquence : on ne peut plus chanter la *Traviata* à Vienne, du moins la chanter comme le voulait Verdi, avec un vrai soprano lyrique⁵. Qui chante *Traviata* ? Des coloratures qui conviennent au premier acte et qui ne sont plus dans le rôle ensuite. Je me souviens que je chantais à Florence en 1975 *Le Trouvère* sous la direction de Thomas Schippers. L'orchestre finissait à 446 ! Là, je me suis plainte : j'ai été trouver le Maestro et je lui ai dit que je ne voulais pas chanter Leonora à cette hauteur et pousser ma voix dans une tessiture* anormale et inhumaine⁶. Il faut que tous les collègues chanteurs entament la même lutte : c'est certes très facile et attrayant pour des instrumentistes de jouer haut. Ils sont brillants à peu de frais. Mais les chanteurs ne peuvent accepter de voir leur carrière compromise aujourd'hui par cette escalade absurde qui abîme irrémédiablement les voix. Ce n'est pas aux chanteurs à s'adapter aux orchestres, c'est le contraire... Et aujourd'hui les orchestres tuent le chant. Après trente ans de carrière, je peux le dire, il faut que quelqu'un commence à dénoncer cette erreur ».

La première réaction, qui fut d'ailleurs celle des acousticiens de la musique jusqu'ici, est de sourire aux doléances des Divas qui prétendent que la montée du diapason sur des intervalles musicaux aussi infimes qu'un comma* peut les fatiguer ou compromettre leur santé vocale.

Pourtant, si sur le plan de la perception, l'écart entre le diapason officiel et le diapason d'orchestre est négligeable puisqu'il est de l'ordre du comma, il n'en est pas de même sur le plan de la production. En effet, pour les voix masculines qui sont situées dans la partie inférieure de l'échelle sonore, la différence entre le nombre de vibrations par seconde des cordes vocales est minime pour les deux

2. A Londres en 1953.

3. Le *la* du diapason ou le *la3* était à 423 Hz en 1810 à l'époque de Boieldieu, Weber, Spontini, Bellini. A l'époque de Verdi, il fluctuait entre 446 et 457 Hz et était par conséquent bien plus élevé que de nos jours puisqu'il était 16,45 Svt plus haut, ce qui correspond à un intervalle musical compris entre 1/4 de ton et 1/2 ton.

4. C'est la hauteur actuelle du diapason d'orchestre. Par rapport au diapason officiel (*La3* = 440 Hz), cela représente une augmentation de 4,90 Svt, soit d'un comma* environ.

5. A la date de la création de *La Traviata* en 1853, le diapason était à 449 Hz, soit 8,81 Svt (c'est-à-dire 1,5 comma) plus haut que maintenant.

6. Cela représente une augmentation d'un comma.

Comma : Le comma est l'intervalle musical séparant deux notes enharmoniques*. Leipp le définit comme le plus petit intervalle musical discernable et praticable. (Le comma utilisé par les musiciens est le comma de Holder qui correspond au 1/9 de ton).

Diapason : Petit instrument en forme de fourche inventé par le luthier anglais John Shore en 1711 et destiné à donner une hauteur de référence sur laquelle tous les instruments de musique s'accordent afin de pouvoir jouer ensemble. La note choisie comme référence est le *la*, première note du tétracorde*.

Enharmoniques (Notes -) : Se dit de notes qui portent des noms distincts en raison de leurs caractères harmoniques différents mais qui, dans les instruments à sons fixes sont représentées par un son unique intermédiaire. Ainsi par exemple, *do#* et *réb* qui sont enharmoniques correspondent à la même touche sur un clavier de piano.

Hertz (Hz) : Unité de mesure de la fréquence ou hauteur d'un son. Lorsqu'on dit que le *la* du diapason ou *la3* = 440 Hz, cela signifie qu'en une seconde les branches du diapason vibrent 440 fois.

Numérotation des octaves : Afin de faciliter le repérage des notes sans avoir recours à une transcription musicale, les acousticiens numérotent les octaves en les affectant d'un chiffre qui permet de les situer dans l'échelle sonore. L'octave dans laquelle se situe le *la* du diapason est l'octave 3.

Savart (Svt) : Unité d'intervalle musical utilisée par les acousticiens français, le Savart est le plus petit intervalle musical perceptible dans des conditions optimales (1 comma = 5 Svt). Pour mesurer les intervalles musicaux, les Anglo-Saxons utilisent le *Cent* qui correspond au centième de demi-ton tempéré.

Tessiture : Ensemble des notes qu'un chanteur peut émettre avec le maximum de facilité.

Tétracorde : (du Grec *Tetra* = quatre et *Khordé* = corde, boyau) A l'origine ce terme désignait les quatre cordes de la phorminx, le plus ancien instrument utilisé dans la Grèce antique, ancêtre de la cithare et de la lyre. Par la suite, le tétracorde désigna une succession de quatre sons dont les extrêmes sont dans un rapport de quarte juste.

Catégories vocales	Diapason 440	Diapason 445	ΔF
Soprano	14.245	14.405	160
Mezzo-soprano	11.978	12.114	136
Contralto	9.507	9.615	108
Ténor	7.125	7.203	78
Baryton	5.339	5.397	58
Basse	3.562	3.603	41
Soprano léger colorature	26.959	27.262	303
Basse noble	3.737	3.780	43

Figure 2 - Profil tessituraux des différentes catégories vocales (tessitures moyennes / 25 notes)

Le profil tessituraux est obtenu en entrant pour chaque catégorie vocale les différentes notes qui composent la tessiture du sujet. Le programme mis au point par D.J. Hirst calcule le nombre total de vibrations effectuées par les cordes vocales du sujet lorsqu'il chante du grave à l'aigu sur toute l'étendue de sa tessiture. Dans le cas du soprano, par exemple, on entre toutes les notes de *do3* à *do5*, on attribue une durée identique à chaque note, on sélectionne une hauteur de diapason (en l'occurrence : 440 Hz) et l'on obtient le nombre total de vibrations effectuées par les cordes vocales du soprano lorsqu'il parcourt sa tessiture, soit 14.245. Pour un diapason à 445 Hz, on obtiendra 14.405 vibrations. On calcule le ΔF qui, dans ce cas, est égal à 160, ce qui signifie que lorsqu'un soprano chante sur toute l'étendue de sa tessiture, ses cordes vocales vibrent 160 fois de plus pour un diapason à 445 Hz que pour un diapason à 440 Hz. Pour la basse, on obtient les valeurs suivantes : 3562 vibrations dans le cas du diapason à 440 Hz et 3603 vibrations dans le cas du diapason à 445 Hz, ce qui donne un ΔF de 41 seulement. Par conséquent, lors du passage du diapason officiel (440 Hz) au diapason d'orchestre (445 Hz), les cordes vocales du soprano travaillent quatre fois plus que celles de la basse et les cordes vocales du soprano léger colorature (la voix de femme la plus aiguë) sept fois plus que celles de la basse noble (voix d'homme la plus grave).

diapasons, mais ce n'est pas le cas en ce qui concerne les voix féminines. Ainsi, par exemple, lorsque le diapason est à 445 Hz, les cordes vocales d'une basse vibrent en moyenne 41 fois de plus par seconde pour l'ensemble des notes qui constituent sa tessiture que lorsque le diapason est à 440 Hz, alors que pour un soprano, ses cordes vocales vont vibrer 160 fois plus, ce qui signifie que lors du passage du diapason officiel au diapason d'orchestre, les cordes vocales du soprano doivent travailler quatre fois plus que celles de la basse (figure 2). Les sopranos légers coloratures qui possèdent les voix les plus aiguës sont davantage concernés par ce phénomène. Prenons l'exemple des contre-fa de la Reine de la Nuit dans *La Flûte Enchantée* de Mozart. Cet ouvrage ayant été créé en 1791, date à laquelle le diapason était à 404 Hz, le contre-fa correspondait donc à 1283 Hz. Actuellement, le contre-fa est à 1413 Hz (diapason d'orchestre) (figure 3). Par conséquent, entre le contre-fa de l'époque de Mozart et le contre-fa actuel, il y a 42 Svt* (7/8 de ton) de différence sur le plan perceptif et 130 Hz de différence sur le plan de la production. Autrement dit, les cordes vocales des chanteuses actuelles qui émettent les contre-fa de la Reine de la Nuit vibrent 130 fois plus en une seconde. Si l'on estime que l'on tient en moyenne une contre-note dix secondes, cela représente 1300 vibrations de plus pour la durée totale du contre-fa, seulement. On comprend donc que cela impose une plus grande fatigue aux

chanteuses. Cette fatigue ne se situe pas tellement au niveau des cordes vocales mais plutôt de la musculature abdominale et pelvienne qui est de plus en plus sollicitée au fur et à mesure que l'on monte dans l'aigu, afin de générer et d'entretenir une pression subglottique⁷ importante destinée à vaincre la résistance que présente le larynx au flux aérien en raison de l'extrême tension et compression des cordes vocales. Cette forte mobilisation de la musculature abdominale et pelvienne nécessite une dépense d'énergie considérable.

L'évaluation théorique de la fatigue vocale des chanteurs en fonction de la montée du diapason a été réalisée à l'aide d'un programme élaboré par Daniel Hirst, Directeur de Recherche au C.N.R.S. (E.S.A. 6057) qui permet de calculer en fonction de la fréquence et de la durée de chaque note d'un morceau donné, le nombre total de vibrations des cordes vocales pour les différentes hauteurs de diapason. En ce qui concerne l'aspect pratique du problème, il suffira de trouver un moyen de mesurer avec exactitude la fatigue physique et la fatigue vocale des artistes lyriques lorsqu'ils chantent avec des diapasons différents pour mettre définitivement un terme à la querelle qui oppose les Divas et les acousticiens depuis des lustres.

N.S.D.C

7. La pression subglottique, c'est-à-dire la pression qui règne au-dessous des cordes vocales, varie en fonction de plusieurs facteurs et notamment du registre et de l'intensité du son émis. Alors que dans la parole, elle est de l'ordre de 3 à 10 cm d'eau, dans le chant, elle varie entre 15 et 360 cm d'eau et peut, selon Husson, atteindre jusqu'à 400 voire 500 cm d'eau chez les sujets qui développent de fortes intensités sonores (130 dB à 1 mètre). Titze, quant à lui, a calculé qu'en registre de poitrine grave, la progression est de 2 à 6 Hz / cm H₂O, en registre de poitrine aigu de 1 à 3 Hz / cm H₂O et en registre de fausset de 5 à 10 Hz / cm H₂O. En se fondant sur ces estimations, on peut admettre que lors du passage du diapason officiel au diapason d'orchestre, la pression subglottique augmente globalement de 54 cm d'eau pour les sopranos, de 45 cm H₂O pour les mezzo-sopranos, de 36 cm H₂O pour les contraltos, de 26 cm H₂O pour les ténors, de 19 cm H₂O pour les barytons et de 13 cm H₂O pour les basses.

	0	1	2	3	4	5	6
sf# do	33	65	131	262	523	1047	2093
reb do#	35	69	139	277	554	1109	2217
re	37	73	147	294	587	1175	2349
mi# re#	39	78	156	311	622	1245	2489
mi	41	82	165	330	659	1319	2637
mi# fa	44	87	175	349	698	1397	2794
solb fa#	46	92	185	370	740	1480	2960
sol	49	98	196	392	784	1568	3136
solb sol#	52	104	208	415	831	1661	3322
la	55	110	220	440	880	1760	3520
la#	58	117	233	466	932	1865	3729
lab	62	123	247	494	988	1976	3951

© D.J.Hirst mars 1993

Figure 3 - Tableaux de correspondance entre les notes et les fréquences en fonction des différentes hauteurs de diapason

Ces tableaux sur lesquels les notes apparaissent verticalement et la numérotation des octaves horizontalement, sont extraits d'un programme élaboré par D.J. Hirst qui permet de calculer automatiquement les fréquences des différentes notes en fonction des diapasons utilisés. En haut, le diapason à 440 Hz et en bas, le diapason d'orchestre à 445 Hz.

	0	1	2	3	4	5	6
sf# do	33	66	132	265	529	1058	2117
reb do#	35	70	140	280	561	1121	2243
re	37	74	149	297	594	1188	2376
mi# re#	39	79	157	315	629	1259	2517
mi	42	83	167	333	667	1333	2667
mi# fa	44	88	177	353	706	1413	2826
solb fa#	47	94	187	374	748	1497	2994
sol	50	99	198	396	793	1586	3172
solb sol#	53	105	210	420	840	1680	3360
la	56	111	222	445	890	1780	3560
la#	59	118	236	471	943	1886	3772
lab	62	125	250	499	999	1998	3996

© D.J.Hirst mars 1993

— En résumé —

Résumé - Depuis le XIX^e siècle, les chanteurs ne cessent de s'inquiéter de la montée constante du diapason mais seules les chanteuses et plus particulièrement les sopranos s'en plaignent. Toutefois, jusqu'ici personne ne les a prises au sérieux lorsqu'elles soutenaient avec véhémence que le passage du diapason officiel au diapason d'orchestre les fatiguait et risquait de compromettre leur santé vocale. Pour tenter de savoir ce qu'il se passe du point de vue physiologique, on a utilisé un programme qui permet de calculer le nombre total de vibrations des cordes vocales pour les différentes hauteurs de diapason en fonction de la fréquence et de la durée de chaque note d'un morceau donné. Les résultats montrent que si, sur le plan de la perception, l'écart entre le diapason officiel et le diapason d'orchestre est négligeable puisqu'il est de l'ordre du comma, il n'en est pas de même sur le plan de la production. Pour les voix masculines qui sont situées dans la partie inférieure de l'échelle sonore, la différence entre le nombre de vibrations par seconde des cordes vocales est minime pour les deux diapasons, mais ce n'est pas le cas en ce qui concerne les voix féminines. Lors du passage du diapason officiel au diapason d'orchestre, les cordes vocales du soprano doivent travailler deux fois plus que celles du ténor et quatre fois plus que celles de la basse. Pour être tout à fait probante, l'évaluation théorique de la fatigue vocale des chanteurs en fonction de la montée du diapason devra être complétée par une étude physiologique afin de mesurer avec exactitude la fatigue physique et la fatigue vocale des artistes lyriques lorsqu'ils chantent avec des diapasons différents.

Divas and the tuning fork

Summary - Since the nineteenth century, singers have never stopped worrying about the regular rise in the tuning fork, but only female singers, especially sopranos, have actually complained about the matter. However, no one so far has taken them seriously when they vehemently claim that the transition from the official tuning fork to the orchestral tuning fork is tiring and may even be detrimental to vocal health. In an attempt to determine what is happening at the physiological level, we used a program that calculates the total number of vibrations of the vocal cords for the different tuning fork pitches, as a function of the frequency and duration of each note in a given piece of music. The results showed that while from the perceptual standpoint, the difference between the official and orchestral tuning forks is insignificant (about one comma), the same is not true from the production standpoint. For the male voice range, which is located in the lower part of the musical scale, the difference between the two forks in the number of vocal cord vibrations per second is very slight, while it is not for the female voice range. When going from the official to the orchestral tuning fork, a soprano's vocal cords must work twice as hard as the vocal cords of a tenor, and four times as hard as those of a bass. To add impact to this striking finding, this theoretical assessment of vocal cord fatigue in singers as a function of the tuning fork pitch rise should be supplemented by a physiological study that accurately measures physical fatigue and vocal cord fatigue in lyrical artists as they sing with different tuning forks.

— Bibliographie —

BERLIOZ (H.), « Le Diapason », in Gründ, ed., *A travers Chants*, Paris, 1971, p. 307-317.
 CHAILLEY (J.), « Diapason », *Encyclopaedia Universalis*, 1993, p. 373-375.
 ELLIS (A.T.), *The history of Musical Pitch*, Crawford, Londres, 1880.
 HONEGGER (M.), *Science de la Musique*, Bordas, Paris, 1976.
 HUSSON (R.), *Physiologie de la phonation*, Masson, Paris, 1962.
 LEIPP (E.), *Le problème du diapason*, Bulletin du G.A.M., 1964, n°3.
 LEIPP (E.), *Acoustique et Musique*, Masson, Paris, 1984.

LEIPP (E.), CASTELLENGO (M.), AGOSTINI (F.), « Un diapason électronique nouveau à l'Opéra de Paris », *Revue d'Acoustique*, 1971, 16, p. 269-275.
 SCOTTO DI CARLO (N.), « Les Divas donnent le "la" », *Pour la Science*, 1997, 232, p. 24.
 STEVENS (S.) & WARSHOFSKY (F.), *L'Acoustique*, Laffont, Paris, 1970.
 TITZE (I.R.), "On the relation between subglottal pressure and fundamental frequency in phonation", *Journal of the Acoustical Society of America*, 1989, 85, 2, p. 901-906.