

## **Transitions laryngées et résonantielles dans le haut de la tessiture des sopranes**

[Maeva Garnier](#)<sup>1</sup>, [Nathalie Henrich](#)<sup>2</sup>, [Joe Wolfe](#)<sup>1</sup>, [John Smith](#)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>[University of New South Wales - Music Acoustics Group, Sydney, Australia](#)

<sup>2</sup>[GIPSA-Lab - Dept Langage et Cognition, Grenoble, France](#)

### **Introduction**

Le passage de la voix de poitrine à la voix de tête a été largement étudié dans le chant et la parole. En revanche, nous ne disposons encore que de très peu d'information sur les passages plus élevés, concernant plutôt les voix de femmes, en particulier les sopranes (Walker 1988, Keilmann et Michek 1993, Miller et Schutte 1993, Chuberre 2000, Svec et al. 2008).

Toutes les sopranes ressentent un "passage" vers Ré4-Mi4 soit vers environ 600 Hz (cf. Figure 1). Ce passage se traduit de façons diverses : pour les moins expérimentées, il peut s'agir de la difficulté, voire de l'incapacité à chanter au dessus de ce passage. Pour les chanteuses qui ne maîtrisent pas encore tout à fait ce passage, celui-ci se traduit par une zone d'instabilités, un saut de fréquence, par l'apparition de souffle ou d'un manque de dynamique au dessus de ce passage. Enfin, pour les chanteuses expérimentées, ce passage peut être « lissé » mais toujours senti, par un changement de technique vocale au dessus du passage (soutien accru, changement de placement vocal, changement articulatoire, ...) accompagnée ou non d'un changement de timbre (changement de voyelle, qualité plus puissante ou au contraire plus légère, ...).



**Figure1.** Ré4 aux alentours duquel se situe le « secondo passagio » des sopranes, correspondant à D5 dans la notion anglo-saxonne.

Dans la littérature scientifique et dans la pédagogie vocale, ce passage vers Ré4, aussi appelé « secondo passagio » est assez consensuellement reconnu comme étant un changement de registre vocal (Garcia, 1840 ; Benhke, 1880 ; Hollien, 1974 ; Miller, 2000). Cependant, les changements de registres vocaux peuvent correspondre à des changements de comportement de la source laryngée, à des changements d'ajustement du conduit vocal ou aux deux à la fois.

La littérature scientifique reconnaît l'existence de 4 mécanismes laryngés différents. La transition du M1 au M2 serait naturellement vers Fa3 environ et descendue avec le travail vocal en dessous de Do3 pour les sopranes lyriques. La transition du M2 au M3 (ou voix de sifflet) serait plutôt située autour du contre-ut, vers Si4-Do5, si bien que le passage vers Ré4 n'est pas conçu comme un changement de mécanisme laryngé.

Pour de nombreux auteurs et pédagogues, ce passage correspond à la fréquence à partir de laquelle la F0 devient proche du 1<sup>er</sup> formant vocalique, et à partir de laquelle les chanteuses expérimentées augmentent l'ouverture de la mâchoire (Sundberg et Skoog 1997, Austin 2007, Sundberg 2008) pour ajuster leur premier formant sur leur fréquence fondamentale. Ce phénomène, appelé « formant tuning » dans la littérature anglo-saxonne (Sundberg 1975, Miller 2000, Joliveau et al. 2004), permettrait, dans certaines conditions, de favoriser la vibration des cordes vocales et ainsi de faciliter la production des notes aiguës (Titze, 1988, 2008). Pour Miller, la limitation physiologique à l'ouverture de la mâchoire prendrait fin vers le contre-ut, et le « désaccrochage » du premier formant de la F0 expliquerait le basculement en voix de sifflet, ou M3 (Miller et Schutte 1993).

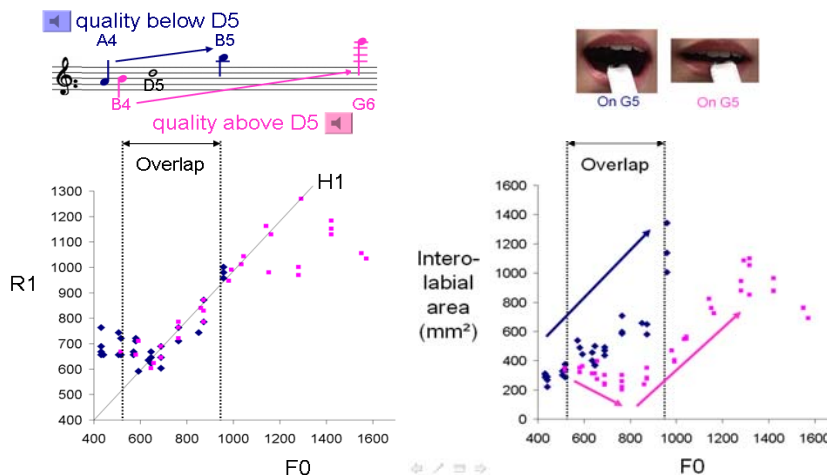
Dans ce contexte de pensée, le but de notre étude consiste à comprendre davantage la nature de ces passages plus élevés dans le haut de la tessiture des sopranes, vers Ré-Mi4 et Si4-Do5, afin de déterminer s'ils correspondent à une transition résonantielle, à un changement de mécanisme laryngé, ou les deux à la fois. Dans le cas où la transition à Ré-Mi4 correspondrait à un changement de mécanisme laryngé, il se pose alors la question de déterminer s'il s'agit de la transition M2→M3 à une fréquence plus basse que la littérature scientifique ne le conçoit, ou s'il peut exister un mécanisme laryngé intermédiaire entre le M2 et le M3. Dans cette étude, nous cherchons également à explorer si la fréquence à laquelle apparaissent ces transitions dépend de la voyelle produite, du niveau d'expertise des chanteuses ainsi que de la classification vocale (sopranes dramatiques, coloratures, ...)

## Description de l'expérience

Nous avons donc mené une étude auprès de 12 sopranes dont 8 semi-professionnelles et 4 chanteuses peu expérimentées, possédant toutes une large étendue vocale dans l'aigu. Tout d'abord, nous leur avons demandé de produire des glissandi ascendants et descendants sur [a], [u] et bouche fermée. Nous avons alors enregistré les signaux Audio, Electroglottographique (EGG) et les mouvements articulaires labiaux. A l'aide d'une technique d'impédancemétrie (Epps et al. 1997), nous avons ensuite mesuré les résonances de leur conduit vocal pour des notes tenues depuis La3 jusqu'au haut de la tessiture. En parallèle, nous avons mesuré différents paramètres articulaires labiaux. Lorsque cela était possible, nous avons demandé aux chanteuses d'étendre au dessus de leur passage la qualité vocale qu'elles utilisent naturellement en dessous de Ré4, et d'étendre au contraire en dessous du passage la qualité qu'elles produisent habituellement au dessus de Ré4. Enfin, nous leur avons demandé de produire des decrescendi sur quelques notes situées autour du passage (Ré4), en enregistrant leurs signaux Audio et EGG.

## Premiers résultats au niveau résonantiel

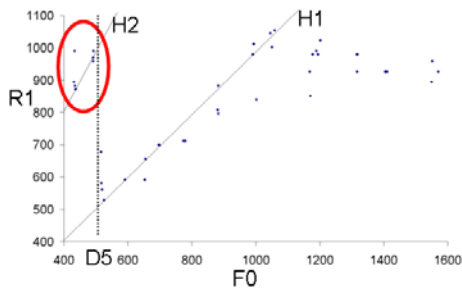
Nous avons observé de nouveau que les sopranes, des lors qu'elles ont 1 ou 2 années de technique vocale, ajustent la première résonance de leur conduit vocal (=premier formant) sur leur fréquence fondamentale au dessus de Ré4-Mi4 (pour une voyelle [a]). En revanche, nous avons observé sur plus de la moitié des chanteuses enregistrées que ce « tuning » peut continuer bien au delà de Si4-Do5, jusqu'à Mi5-Fa5. De plus, lorsqu'une zone de recouvrement existait entre les qualités vocales produites en dessous (timbrée et puissante) et au dessus du passage (flutée et légère), nous avons observé que ces qualités n'étaient pas discriminées par la présence vs. l'absence de « tuning » puisque les deux qualités montrent un accrochage de la première résonance (R1) sur F0 (cf. Figure2)



**Figure 2.** Evolution de la fréquence de la première résonance du conduit vocal (R1) et de l'aire intéro-labiale avec la fréquence fondamentale (F0) pour une chanteuse de notre base de données capable de produire sur une zone de recouvrement les 2 qualités vocales naturellement au dessous et au dessus de son passage à Ré4 (⇔ D5).

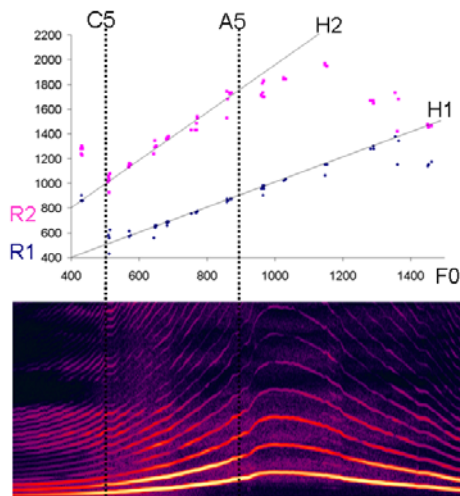
D'un point de vue articulatoire, la qualité vocale « timbrée et puissante » étendue au dessus de Ré4 est réalisée avec une ouverture de mâchoire croissante, tandis que la qualité « légère » correspond au contraire à une réduction de l'ouverture labiale jusqu'à Sol4 puis à une ouverture croissante (cf. Figure 2). Ces observations signifient que le « tuning » de R1 sur F0 peut être réalisé à l'aide de différentes stratégies et pas uniquement par l'ouverture de la mâchoire. Il est fort probable que l'élévation du larynx joue un rôle dans la qualité « légère » étant donné que les chanteuses témoignent de cette sensation. Un ajustement pharyngé est également très probable.

Nous observons également d'autres ajustements résonantiels. En dessous de Ré4, on observe un accrochage de R1 sur le deuxième harmonique de la voix (H2) chez certaines chanteuses.



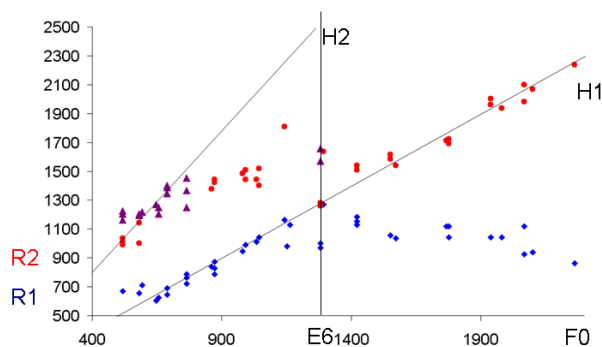
**Figure 3.** Ajustement de la fréquence de la première résonance du conduit vocal (R1) sur le deuxième harmonique de la voix (H2) en dessous Ré4 ( $\Leftrightarrow$ D5) chez certaines sopranes.

Sur la zone Do4 $\rightarrow$ La4, on observe chez les chanteuses expérimentées un « tuning » de R2 sur H2 en plus du « tuning » de R1 sur H1, permettant d'amplifier de façon importante les deux premières harmoniques de la voix. Cette observation suggère que le deuxième passage vers Si4-Do5 corresponde à la fin de ce double ajustement davantage qu'à la fin du « tuning » R1-H1, comme le proposait Miller.



**Figure 4.** Ajustement de la fréquence des deux premières résonances du conduit vocal (R1 et R2) sur les deux premiers harmoniques de la voix (H1 et H2) entre environ Do4 ( $\Leftrightarrow$ C5) et La4 ( $\Leftrightarrow$ A5) chez les sopranes expérimentées. La figure du bas représente le spectrogramme d'un glissando réalisé par cette même chanteuse, et permet de visualiser le renforcement des deux premiers harmoniques sur cette zone de fréquences.

Enfin, dans l'extrême aigüe de la tessiture, ou les chanteuses sont en M3, ou voix de sifflet, on observe que les deux premières résonances du conduit vocal convergent et que la deuxième résonance prend le relai de la première pour renforcer le premier harmonique. Cela explique que le son rayonné puisse être encore très intense, malgré la faible amplitude de vibration des cordes vocales dans ce mécanisme laryngé.

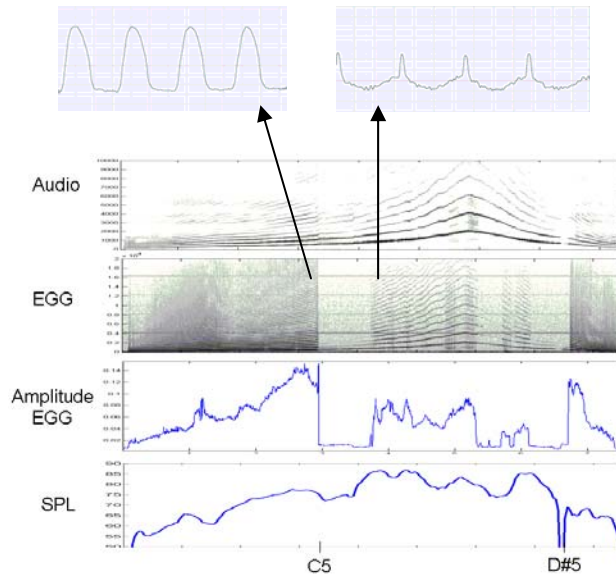


**Figure 5.** Ajustement de la fréquence de la deuxième résonance du conduit vocal (R2) sur le premier harmonique de la voix (H1) par certaines sopranes dans l'extrême aigüe de leur tessiture (au dessus de Mi5  $\Leftrightarrow$  E6).

### Premiers résultats au niveau laryngé

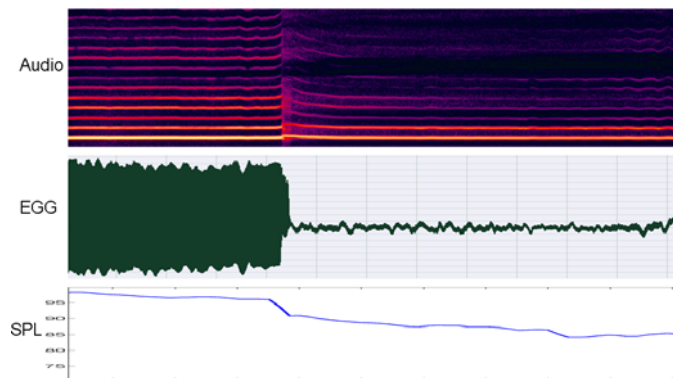
Tout d'abord, on observe chez les chanteuses qui présentent un saut de fréquence à Ré4 une soudaine diminution de l'amplitude du signal EGG au même moment, pouvant correspondre à une disparition du contact entre les cordes vocales lors de leur vibration. Cependant, on observe que cette diminution de l'amplitude du signal EGG ne correspond pas à une atténuation de l'intensité vocale, au contraire (cf.

Figure 6). Cette observation argumente en faveur du fait que le passage à Ré4 puisse correspondre chez certaines chanteuses à un changement de mécanisme laryngé et pas seulement à une instabilité de vibration provoquée par un changement d'ajustement résonantiel.



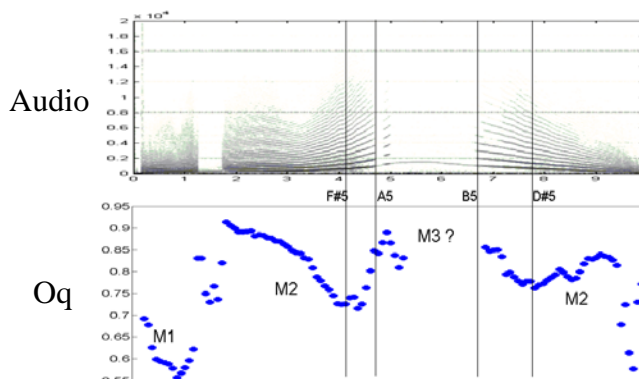
**Figure 6.** Glissando réalisé par une des chanteuses présentant un saut de fréquence vers Re4 ( $\Leftrightarrow$ D5). On observe une diminution brutale de l'amplitude du signal EGG à l'instant de ce saut de fréquence, sans diminution de l'intensité vocale (SPL). On observe une «réapparition» du signal EGG à fréquence plus élevée (ici vers Sol4  $\Leftrightarrow$  G5) avec une modification nette de l'amplitude et de la forme d'onde du signal par rapport à avant le saut de fréquence.

Un argument supplémentaire dans ce sens provient de l'observation que ces sauts de fréquence, avec disparition du signal EGG, ne surviennent pas seulement sur des glissandi mais également sur des decrescendi (cf. Figure 7).



**Figure 7.** Decrescendo réalisé sur un Fa4 ( $\Leftrightarrow$  F5) par la même chanteuse que celle de la Figure 2. Celle-ci attaque la note avec la qualité de voix qu'elle utilise usuellement en dessous Ré4 ( $\Leftrightarrow$ D5), ici étendue à Fa4. Avec le decrescendo survient un saut de fréquence avec disparition du signal EGG, après lequel la chanteuse passe dans l'autre qualité de voix qu'elle utilise habituellement au dessus de Ré4.

Enfin, juste avant que le signal EGG ne disparaisse, on observe une évolution assez rapide du quotient ouvert vers des valeurs plus élevées, de façon assez similaire au changement de quotient ouvert observé au moment de la transition M1  $\rightarrow$  M2.



**Figure 8.** Evolution du quotient ouvert laryngé (Oq) au cours d'un glissando. On observe que la disparition du signal EGG (donc du contact entre les cordes vocales ?) correspond à une augmentation préalable et rapide du quotient ouvert, de façon similaire à ce qu'on peut observer pour la transition basse du mécanisme laryngé M1 au mécanisme M2, laissant sous-entendre que cette disparition du signal EGG corresponde à la transition M2  $\rightarrow$  M3.

La Figure 6 illustre que le signal EGG peut, dans certains cas, réapparaître pour les fréquences supérieures (ici Sol4). Dans ce cas, la comparaison des amplitudes et des formes d'onde du signal EGG avant disparition et après réapparition du signal indiquent assez nettement un changement de mécanisme laryngé de M2 à M3. Cependant, quand celui-ci a-t-il lieu : au moment de la disparition du signal (à Ré4), au moment de sa réapparition (ici vers Sol4), entre les deux ? Comment considérer cette zone entre Ré4 et Sol4 ? Comme du M2, du M3 ou comme un mécanisme intermédiaire ? L'apparition/disparition du signal EGG correspond-il seulement au fait que l'amplitude de la vibration passe en dessous/au dessus d'un seuil de détection de l'EGG, ou rend-elle compte de patterns vibratoires différents ? Autant de questions auxquelles justement l'absence de signal EGG sur cette zone ne nous permet pas d'apporter de réponses. Le recours à la cinématographie ultrarapide semble donc nécessaire dans le futur.

### **Références bibliographiques**

- Austin, S.F. Jaw opening in novice and experienced classically trained singers. *Journal of Voice*, 21(1), 72-79, 2007.
- Behnke E. The mechanism of the human voice, 12 ed. London: J. Curwen & Sons, Warwick Lane, E.C; 1880.
- Chuberre, B. Les registres et passages dans la voix chantée. These de phoniatrie, Université de Nantes, 2000.
- Epps, J., Smith, J.R., and Wolfe, J. A novel instrument to measure acoustic resonances of the vocal tract during speech. *Measurement Science and Technology*, 8, 1112-1121, 1997.
- Garcia M. Observations on the human voice. In: Proceedings of the Royal Society of London; 1855. London: The Royal Society; p. 399-410.
- Henrich, N. Mirroring the voice from Garcia to the present day: Some insights into singing voice registers. *Logopedics Phoniatics Vocology* 31: 3-14, 2006.
- Joliveau, E, Smith, J & Wolfe, J. Vocal tract resonances in singing: The soprano voice. *J. Acoust. Soc. Am.* 116, 2434-2439, 2004.
- Keilmann, A. et Michek, F. Physiologie und akustische analysen der pfeifstimme der frau. *Folia Phoniatica* 45, 247-255, 1993.
- Miller, D.G. et Schutte, H.K. Physical definition of the 'flageolet' register. *Journal of Voice*, 7, 206-212, 1993.
- Miller DG. Registers in singing: empirical and systematic studies in the theory of the singing voice. University of Groningen; 2000.
- Svec J. et al. Three registers in an untrained female singer analysed by videokymography, strobolarngology and sound spectrography. *J. Acoust. Soc. Am.* 123 (1), 347-353, 2008.
- Sundberg, J. Formant technique in a professional female singer, *Acustica* 32, 89-96, 1975.
- Sundberg et Skoog. Dependence of jaw opening on pitch and vowel in singers, *Journal of Voice* 11, 301-306, 1997.
- Sundberg, J. Articulatory Configuration and Pitch in a Classically Trained Soprano Singer, *Journal of Voice*, 2008.
- Titze, I.R. The physics of small-amplitude oscillations of the vocal folds, *J. Acoust. Soc. Am.* 83, 1536-1552, 1988.
- Titze, I.R. Non linear source-filter coupling in phonation: theory, *J. Acoust. Soc. Am.* 123(5), 2733-2749, 2008.
- Walker, J.S. An investigation of the whistle register in the female voice. *Journal of Voice*, 2 (2), 140-150, 1988.