

Production des voyelles parlées et chantées dans le *Cantu in Paghjella*

Claire Pillot-Loiseau¹ Patrick Chawah¹ Angélique Amelot¹ Grégoire Bachman¹ Catherine Herrgott¹ Martine Adda-Decker¹ Lise Crevier-Buchman^{1,2}

(1) Laboratoire de Phonétique et Phonologie UMR 7018, Université Paris 3 Sorbonne Nouvelle, 19 rue des Bernardins, 75005 Paris, France

(2) Hôpital Européen G. Pompidou, Univ. Paris Descartes, 20 rue Leblanc 75015 Paris
claire.pillot@univ-paris3.fr, patrick.chawah@gmail.com,
angelique.amelot@univ-paris3.fr, gregoire.bachman@univ-paris3.fr,
catherine.herrgott@gmail.com, madda@univ-paris3.fr, lbuchman@numericable.fr

RESUME

Quelles sont les caractéristiques acoustiques et articulatoires des voyelles parlées et chantées du *Cantu in Paghjella* (polyphonie corse à trois voix), en fonction du chanteur, de la voyelle et de la fréquence fondamentale ? L'analyse acoustique des quatre premiers formants de la parole au chant et celle des mouvements articulatoires lingual et labial, montrent généralement (i) une significative augmentation de F1 avec abaissement lingual mais fermeture labiale, en lien avec une corrélation entre F0 et F1 ; (ii) une baisse de F2 pour les voyelles antérieures, une postériorisation linguale et un recul de l'ombre hyoïdienne uniquement pour le *bassu* ; (iii) une nette augmentation de F3 et F4 surtout chez le *bassu* ; (iv) une augmentation du *Singing Power Ratio* surtout chez les *bassu* et *secunda*. Ses valeurs sont toutefois inférieures à celles de chanteurs lyriques, et ne correspondent pas comme ces derniers à un rapprochement de F3 et F4.

ABSTRACT

Production of spoken and sung vowels in *Cantu in Paghjella*

What are the acoustic and articulatory characteristics of spoken and sung vowels in the *Cantu in Paghjella* (Corsican polyphony for three voices), depending on the singer, the vowel and the fundamental frequency? The acoustic analysis of the first four formants in speech and singing, and the tongue and lips movements analysis usually show (i) a significant increase in F1, with decrease of tongue height but decrease of labial opening, in connection with a correlation between F0 and F1; (ii) a decrease of F2 for the front vowels, a lingual posteriorisation and a posteriorisation of the hyoid shadow only for the *bassu*; (iii) an increase of F3 and F4 mostly for the *bassu*; (iv) an increase of the *Singing Power Ratio*, mainly for the *bassu* and the *secunda*. Its values are however lower than those of opera singers and do not correspond to a clustering of F3 and F4.

MOTS-CLES : *Cantu in Paghjella*, voyelles, parole, chant, formants, SPR, contour lingual, lèvres

KEYWORDS: *Cantu in Paghjella*, vowels, speech, singing, formants, SPR, lingual contour, lips

1 Introduction et état de l'art

La tradition corse comprend plusieurs types de chants polyphoniques : le *madrigale*, hérité d'Italie, sur des thèmes souvent amoureux, les *terzetti*, où le motif poétique domine, et la *paghjella*, la plus ancienne (Catinchi, 1999). Une *paghjella* est une strophe de vers de huit syllabes traditionnellement chantée par trois hommes, de trois tessitures différentes. Les trois voix entrent de manière quasi

immuable : débute d'abord *l'a secunda*, voix principale, ténor, chantant la mélodie, puis *l'u bassu*, voix de basse, qui soutient et accompagne *l'a secunda*, et enfin entre *l'a terza*, voix la plus aigue, apporte des ornements appelés mélismes ou *ricucate*. (Bithell, 2007).

Le corse est une langue romane de l'aire italique (groupe italo-roman). Ses voyelles sont, en position tonique : /i/, /e/, /ɛ/, /a/, /ɔ/, /o/ et /u/. Dans le quart nord-est de la Corse, émerge un huitième phonème, /æ/, issue essentiellement de variantes de /ɛ/ ou /a/ devant nasale ou r + consonne. En position atone, l'inventaire vocalique comprend trois voyelles (/i/, /a/ et /u/) dans le Sud de la Corse, quatre au nord (/i/, /ɛ/, /u/, et /a/) et cinq au centre-est de la Corse (/i/, /ɛ/, /a/, /ɔ/, et /u/). Le corse présente une nasalisation vocalique qui peut aboutir à la phonologisation de véritables voyelles nasales. Enfin, l'alternance vocalique existe par jeu de déplacement de l'accentuation qui entraîne la modification de la voyelle devenue prétonique (Dalbera-Stefanaggi, 2002).

Les modifications phonétiques vocaliques de la parole au chant ont principalement été étudiées pour le chant classique dans un contexte monodique au niveau acoustique (Sundberg 1987 ; Bloothoof et Plomp, 1984) ou articuloire (Sundberg 2009) et pour des fréquences fondamentales (F0) aigues (Titze *et al.* 1994 ; Sundberg et Skoog 1997), mais aussi dans d'autres techniques vocales (entre autres : Burns 1986 ; Gibson 2010). Ces auteurs affirment qu'en chant lyrique, les voyelles chantées sont en moyenne produites plus ouvertes, avec F1 plus élevé, F2 plus bas pour les voyelles antérieures, et un rapprochement de F3 et F4 (descendant de la parole au chant) pour produire le formant du chanteur. D'un point de vue articuloire, pour cette même technique vocale, on observe une ouverture mandibulaire croissante avec une fréquence fondamentale plus aigue, ainsi qu'une réduction de la hauteur linguale pour /i, e, u, a/ (Sundberg 2009 ; Nair *et al.* 2016).

Nous cherchons à savoir quelles sont les caractéristiques acoustiques et articuloires des voyelles parlées et chantées du *Cantu in Paghjella* en fonction du sujet qui chante, de la voyelle, et de la fréquence fondamentale (F0). Cette technique vocale en plein air ou dans les lieux de fête, n'a, à notre connaissance, jamais fait l'objet d'une analyse phonétique de ses productions vocaliques, en contexte polyphonique. Nous chercherons à savoir si les valeurs des quatre premiers formants et celles du *Singing Power Ratio* (*cf.* plus loin) évoluent en fonction des facteurs cités ci-dessus. Nous présentons également quelques données articuloires montrant la configuration linguale et labiale grâce à la plateforme multicapteurs développée dans le projet *iTreasures* (Chawah *et al.* 2014).

2 Méthode

Deux groupes de trois chanteurs de *Paghjella* ont été enregistrés en Corse, à leur domicile : les chanteurs ont été répartis sur trois pièces différentes pour assurer une isolation acoustique nécessaire pour nos études. Pour qu'ils puissent s'écouter en chantant, des dispositifs radio-fréquentiels munis d'écouteurs ont été mis à leur disposition et la synchronisation était établie par un frappement de mains au début de l'enregistrement, mais ce mode d'enregistrement ne permettait pas aux chanteurs de se voir. Au dire d'un de ces sujets cependant, le groupe se connaît bien et a donc pu effectuer la performance demandée. Seuls le *secunda* et le *bassu* ont été enregistrés aux niveaux acoustique et articuloire, car nous ne possédions que deux casques multicapteurs. Tous les sujets sont originaires du nord de la Corse, ou Haute-Corse. Les *secunda* et *terza* sont des corsophones maniant le corse quotidiennement et l'ayant appris par transmission orale dans leurs familles respectives en même temps que le français. Le *bassu*, plus jeune, manie moins la langue et a notamment appris la technique du chant polyphonique au cours de stages et ateliers.

Nous avons choisi de porter nos analyses directement sur les chants produits par nos sujets. Sur trois chants analysés, nous ne présentons ici que le chant *Vuleria chi la mio pelle*. Les paroles complètes de ce chant en trois couplets, seulement chantées en totalité par le *secunda*, étaient les suivantes (à

gauche : normal : *secunda* seul ; souligné : *secunda+bassu* ; italique : *secunda+terza* ; gras : voyelles choisies pour les données articulatoires ; majuscule : voyelles accentuées) :

« - Vule**RIA** CHI LA mio p**ELLE**
*D*iventAssI Un *coghjU fOrte*
 - Per mand**ALLA** A la c**ONcia**
*P*Er fAnne Un p**Aghju** dI b**OTte**
 - Per pud**E** p**Ur**tAlle t**U**
*L*U mio *aM*Ore fin 'à la *M*Ore »

- *Je voudrais que ma peau*
Devienne un cuir fort
 - *Pour l'envoyer chez les tanneurs*
Et en faire une paire de bottes
 - *Pour que tu puisses les porter*
Mon amour, jusqu'à la mort.

La figure 1 montre les étendues en fréquence de ce chant, complétée par les données quantitatives.

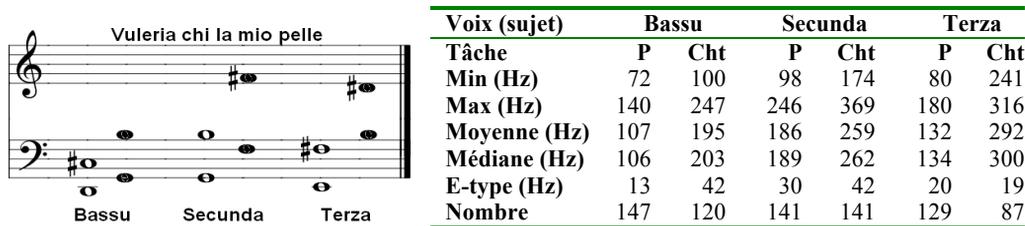


FIGURE 1: Etendues par voix du chant produit en voix parlée (rondes : P) et chantée (rondes noires : Cht) dans la même session : à gauche: données en notes ; à droite: données quantitatives en Hz avec le nombre d'occurrences vocaliques analysées pour chaque chant.

Les données acoustiques et physiologiques ont été acquises grâce à la plateforme multicapteurs développée dans le cadre du projet européen *iTreasures* (Chawah *et al.* 2014), avec un casque portable muni d'une sonde microconvexe 8MC4X (Vermon) reliée à un module Terason T3000, pour permettre l'acquisition des images ultrason linguales sur un ordinateur via un câble FireWire. Sur ce casque se trouvait également, devant les lèvres de chaque sujet, une caméra vidéo (modèle DFM 22BUC03-ML, CMOS USBmono) pour acquérir les images labiales. Enfin, un micro serre-tête cardioïde électrostatique (modèle C520L, marque AKG) était aussi utilisé pour enregistrer le signal acoustique. Un accéléromètre piézoélectrique (K&K Sound), un électroglottographe (EG2-PCX2 Glottal Enterprises) et une ceinture respiratoire ont également été utilisés au cours de ces enregistrements, mais non utilisés dans les analyses ici présentées. Un module nommé *i-THRec* (*i-Treasures Helmet Recoding* software) a spécialement été conçu pour créer les calibrations adéquates et les sessions d'enregistrement. Il sert d'interface et est une surcouche du logiciel RTMaps® (Intempora inc.) assurant la synchronisation de l'acquisition des différents signaux et images. Les données ainsi obtenues pouvaient alors être directement traitées sur une interface graphique MATLAB nommée *i-THan* (*i-Treasures Helmet Analysis* software).

Au préalable a été annoté chaque vers du chant au niveau orthographique puis phonétique, via l'accord de deux annotatrices expertes en écoute phonétique, mais ne connaissant pas la langue corse. Les valeurs de fréquence fondamentale (F0) à 25%, 50% et 75% de chaque occurrence vocalique parlée et chantée, ainsi que les fréquences des quatre premiers formants aux mêmes points, ont été ensuite mesurées avec un script Praat (Boersma *et al.*, 2016) en permettant l'extraction automatique des valeurs, le réglage formantique étant comme seuil maximal de 5000Hz. Cette détection automatique a ensuite été vérifiée manuellement. La durée moyenne de chaque voyelle a également été détectée. Le *Singing Power Ratio* (Omori *et al.* 1996 : différence d'amplitude entre l'harmonique le plus élevé entre 2000 et 4000Hz, et l'harmonique le plus élevé entre 0 et 2000Hz) a également été mesuré. Cette valeur, négative, est inférieure pour la parole et les non chanteurs, par rapport aux chanteurs lyriques (Omori *et al.* 1996 ; Pillot et Vaissière, 2007).

Pour ce faire, chaque voyelle a été séparée de l'ensemble et un script Matlab a permis de détecter les valeurs formantiques (jusque F6), puis la différence a été effectuée sous Excel (moyenne sur chaque voyelle).

La visualisation qualitative des contours de la langue à 25%, 50% et 75% (ainsi que de l'ombre hyoïdienne) s'est effectuée grâce au script Mattong (Fux *et al.* 2014), celle des contours labiaux aux mêmes points avec un autre script Matlab sur les voyelles en gras des paroles du chant sélectionné ci-dessus. Les analyses statistiques ont utilisé des corrélations et des ANOVA avec le logiciel R.

3 Résultats

3.1 Valeurs formantiques

La figure 2 montre que F1 augmente significativement de la parole au chant et qu'il diffère d'un sujet à l'autre. F2 diminue pour les voyelles antérieures de parlé à chanté (mais non significativement pour /i/) et augmente légèrement pour les voyelles postérieures pour les *bassu* et *secunda*. Les valeurs de F3 et F4 sont très variables et augmentent chez le *bassu* quelle que soit la voyelle (significativement pour /a/). On n'observe pas de rapprochement entre F3 et F4 sauf pour le /a/ du *bassu*. Le tableau 1 indique que F0, F1, F2 et F3 de /a/, et F4 sont significativement différents en fonction de la voix (sujet) et de la tâche (parlé/chanté). Il existe également une interaction des facteurs voix x parlé/chanté pour la fréquence fondamentale (F0), F2 de /a/, F3 et F4 de /u/.

Mesures rép.	F0			F1			F2			F3			F4		
Voyelle	i a u			i a u			i a u			i a u			i a u		
Voix	451.5	18.1	28.5	7.2	2.1	5.9	1.8	0.4	40.2	10	6.5	7.5	5.6		
Parlé/chanté	2172.2	127.8	368.2	67.5	0.1	34.4	2.4	0.8	55.9	3.4	16.6	17.7	7.2		
Voix x parlé/chanté	136.2	0.8	3.4	3.1	0.6	27	1.7	9.4	17	7.5	4.8	1.1	8.8		

TABLE 1 : Valeur de F (arrondie au dixième) d'une ANOVA calculée pour les mesures répétées des facteurs voix (sujet), parlé/chanté, et voix x parlé chanté pour F0 et les valeurs des quatre premiers formants de /i/, /a/ et /u/. Gras : p<0.00001 ; normal : non significatif.

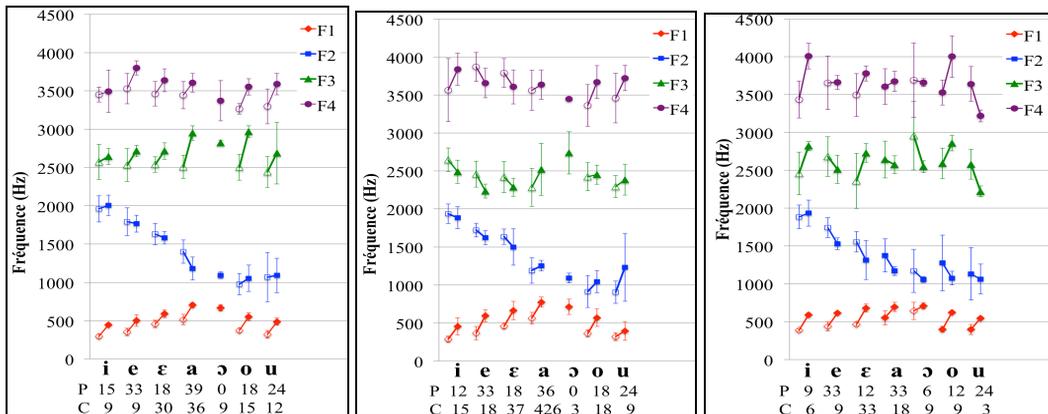


FIGURE 2: Moyennes, écart-types et nombre d'occurrences pour F1 à F4 (Hz) pour les *bassu* (gauche), *secunda* (milieu) et *terza* (droite) pour chaque voyelle parlée (forme vide, P) et chantée (forme pleine, C).

3.2 Singing Power Ratio (SPR) et Spectres Moyennés à Long Terme (LTAS)

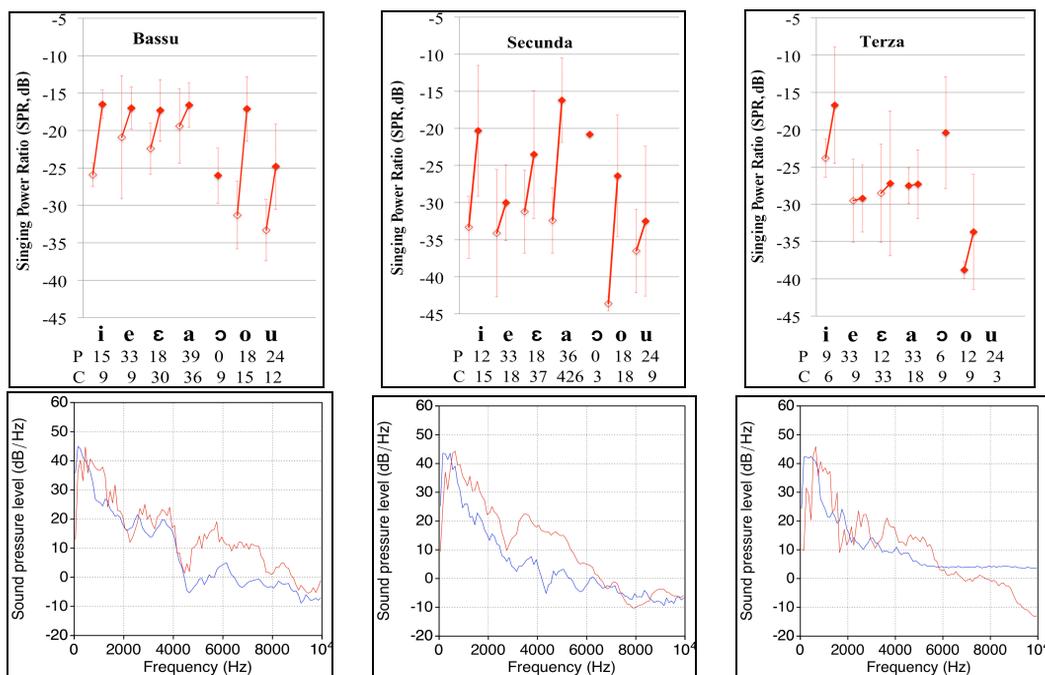


FIGURE 3: haut : moyennes, écart-types et nombre d’occurrences du SPR (dB) pour les *bassu* (gauche), *secunda* (milieu) et *terza* (droite) pour chaque voyelle parlée (forme vide, P) et chantée (forme pleine, C) ; bas : LTAS (tous segments voisés confondus) du chant mesuré pour les *bassu* (gauche), *secunda* (milieu) et *terza* (droite). Parlé : bleu ; chanté : rouge. Largeur de bande : 100Hz.

La figure 3 montre des valeurs très variables de SPR, qui toutefois augmente significativement de la parole au chant pour /i/ dans les trois voix ($F=22,3$; $p<0,0001$), /a/ chez le *secunda* ($F=18,9$; $p<0,0001$) et /o/ chez les *bassu* et *secunda*. Le *terza* montre moins d’augmentation du SPR de la parole au chant, surtout pour /e, ε, a/. Les spectres moyennés à long terme (LTAS) de l’ensemble du chant, confirment une nette augmentation de l’énergie comprise entre 2000Hz et 6000Hz pour les *bassu* et *secunda* uniquement, toujours de la parole au chant, mais sans pic formantique visible.

3.3 Corrélation avec la fréquence fondamentale

	Bassu	Secunda	Terza		Bassu	Secunda	Terza
Co F0/F1	0.6	0.5	0.6	Co F0/F4	0.4	0.03	0.2
Co F0/F2	-0.1	0.1	-0.2	Co F0/SPR	0.4	0.3	-0.1
Co F0/F3	0.6	0.02	0.1	Nombre	267	282	216

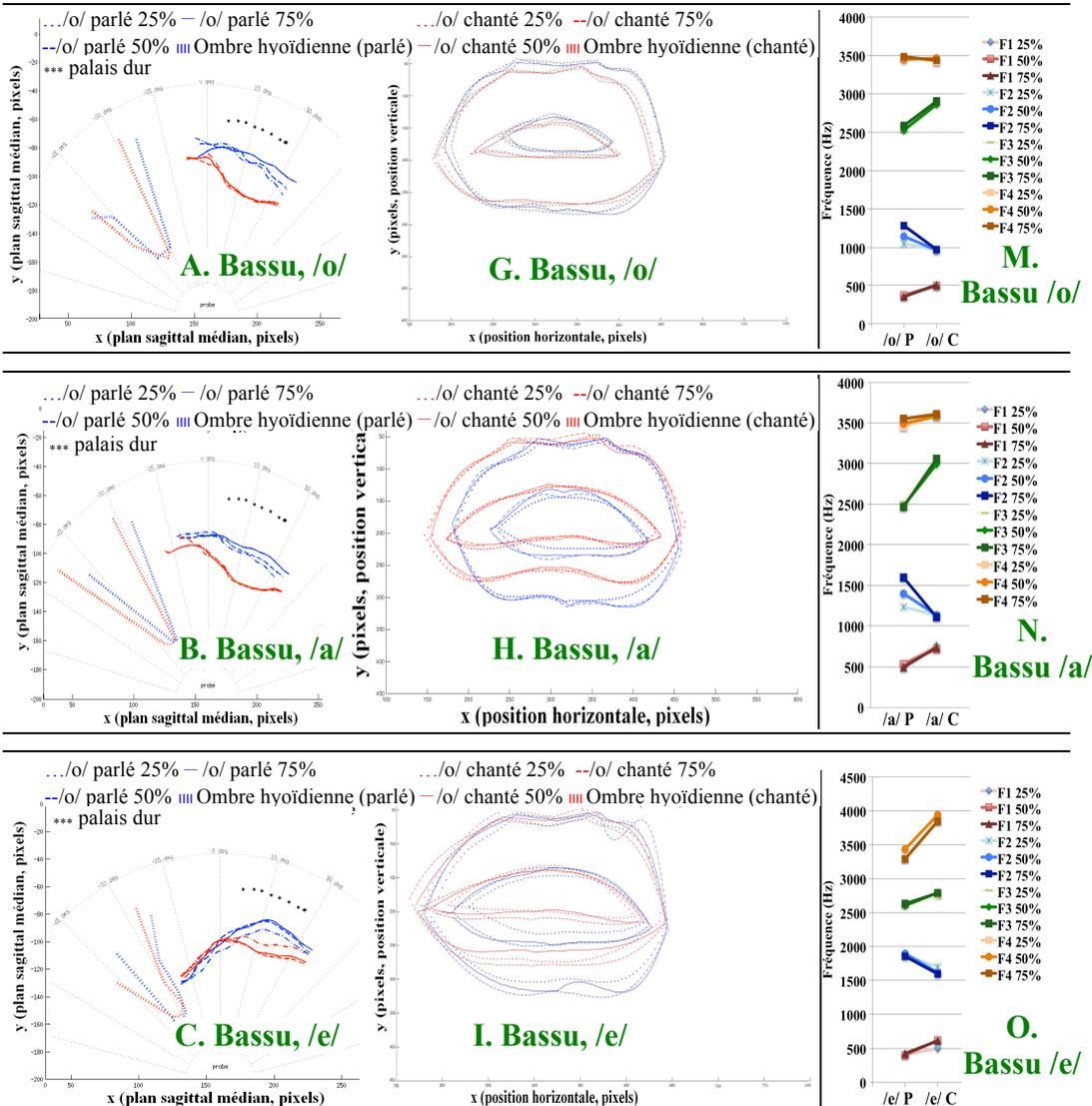
TABLE 2 : Corrélation de Pearson (Co) entre la fréquence fondamentale (F0) des productions parlées et chantées, et les valeurs mesurées (en gras : $p<0,001$)

Il existe une corrélation positive significative entre F0 et F1 pour les données parlées et chantées associées (tableau 2) : F1 augmente avec F0, sans autre tendance pour les autres formants et le SPR, sauf une corrélation positive significative pour le *bassu* entre F0 et F3, F4 et le SPR, et entre F0 et

SPR pour le *secunda*. L'analyse des interactions entre formants et harmoniques du spectre de source pourra, dans une recherche ultérieure, compléter l'étude de la relation entre F0 et les formants vocaliens, afin de voir l'existence d'éventuels phénomènes de *formant tuning* (Henrich *et al.* 2011).

3.4 Lien avec les données articulatoires

La figure 4 montre l'ensemble des analyses articulatoires obtenus chez le *bassu* et le *secunda* : visualisation de l'ombre hyoïdienne et du contour lingual à gauche (figure 4, A à F), des lèvres au milieu (figure 4, G à L : légende commune avec les figures A à F : bleu pour les voyelles parlées, rouge pour les voyelles chantées) et fréquences des quatre premiers formants à droite (figure 4, M à R). Les occurrences à 25, 50 et 75% de chaque voyelle sont montrées.



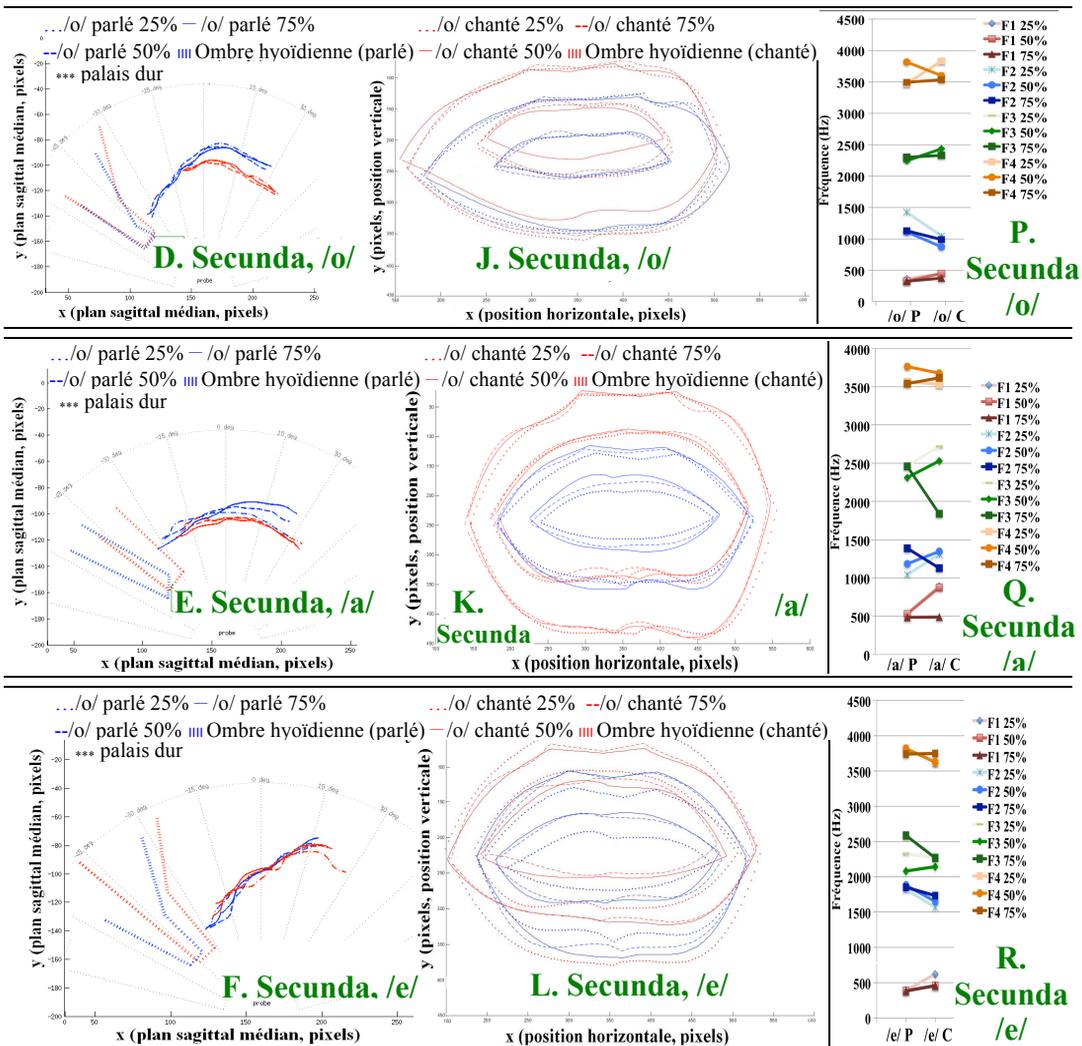


FIGURE 4: position de l'ombre hyoïdienne, de la langue (gauche, A à F) et des lèvres (milieu : G à L) en voix parlée (bleu) et chantée (rouge) pour /o/ de « coghju », le premier /e/ de « pelle », et /a/ de « paghju » par les *bassu* et *secunda*. Droite : formants correspondants (M à R).

De la parole au chant, la forme linguale (figure 4, A à F) s'abaisse pour toutes les voyelles chez les deux sujets, sauf le /e/ du *secunda*. F1 augmente pour ces voyelles (figure 4, M à R). La langue se postériorise pour celles du *bassu*, en même temps qu'on y observe une postériorisation de l'ombre hyoïdienne et un abaissement de F2 (figure 4, M à R). Le *secunda* ne montre pas de postériorisation linguale et hyoïdienne nette de la parole au chant, malgré un abaissement de F2.

L'analyse de la forme des lèvres (figure 4, G à L) montre que toutes sont plus étirées en chant qu'en parole, surtout concernant l'étirement entre l'intérieur des commissures labiales, et surtout pour /a/ produit par le *secunda*. En outre, le *bassu* étire plus à l'intérieur qu'à l'extérieur de ses commissures alors que le *secunda* étire autant l'intérieur que l'extérieur de ses lèvres. Enfin, le *bassu* étire globalement moins ses lèvres que le *secunda* en chant, quelle que soit la voyelle. F3 (figure 4, M à

R) augmente de la parole au chant, sauf à 75% du /a/ produit par le *secunda*. Il existe une légère fermeture des lèvres en chant par rapport à la parole pour le *bassu*. Le *bassu* ferme autant l'intérieur que l'extérieur de ses lèvres alors que le *secunda* ferme légèrement les lèvres à l'intérieur (sauf pour /a/), et les ouvre légèrement à l'extérieur pour /e/ et /o/. F1 augmente de la parole au chant pour l'ensemble de ces productions. La stabilité temporelle de ces paramètres articulatoires et acoustiques (différence entre 25, 50 et 75%) est plus importante en chant qu'en parole, en particulier pour la langue et F2, sauf pour les voyelles et surtout le /a/ du *secunda*.

4 Discussion et conclusion

Nous retrouvons certaines modifications formantiques décrites dans la littérature pour les voyelles chantées par rapport à la parole : F1 plus élevé en corrélation avec l'élévation de F0, abaissement lingual et de F2 (voyelles antérieures), légère élévation de F2 (voyelles postérieures). Cependant, l'augmentation d'aperture supposée se manifester par la nette augmentation de F1 n'a pas pu être démontrée à l'aide de l'ouverture labiale chez le *bassu*, et l'abaissement de F3 en lien avec un arrondissement des voyelles chantées en chant lyrique ne se retrouve pas dans nos données.

Ces modifications formantiques montrent une centralisation de l'espace vocalique, comme l'évoque Lortat-Jacob (1998) pour les chants sardes : « /i/ devient /e/ (...) et /u/ devient /o/ » (p. 129). Cette centralisation se produit plus au niveau postérieur pour le *bassu* que le *secunda* : « ceux qui chantent dans l'aigu poussent [les voyelles] vers l'avant pour les colorer d'aigu », les basses « les tirent vers l'arrière pour les colorer de grave » (Lortat-Jacob, 1998). Pour tous nos chanteurs, la bonne prononciation des voyelles est plus importante que l'adaptation du texte au chant.

Omori *et al.* (1996) obtinrent des valeurs de SPR égales en parole et chant chez des non chanteurs (-22,5dB en moyenne), alors que leurs valeurs passent de -20dB (parlé) à -11,5dB (chanté) chez des amateurs, et de -18dB à -11dB chez des chanteurs lyriques professionnels. Nos moyennes de SPR (-25dB : *bassu*, -35,2dB : *secunda* ; -30dB : *terza* en parole ; -19dB : *bassu*, -24dB : *secunda* ; -26dB : *terza* en chant) sont donc en deçà de valeurs de chanteurs amateurs classiques, et varient d'un chanteur à l'autre. Aucun rapprochement de F3 et F4, aboutissant, d'après la littérature, à la présence du formant du chanteur pour le chant lyrique, n'a été constaté pour nos sujets, peut-être en raison de l'absence d'accompagnement ou des conditions d'enregistrement (chanteurs séparés).

Enfin, il existe une variabilité inter-sujets, probablement voulue par ces chanteurs : chacun possède sa propre façon d'interpréter la *Paghjella* pour en reconnaître l'interprète. Les ornements de la *terza* rendent aussi ses productions plus variables. Le fait que le *secunda* et la *terza* soient bilingues contrairement au *bassu*, et leurs différents modes d'apprentissage de cette technique vocale, explique aussi la différence de comportement articulatoire entre le *bassu* et le *secunda*. Ces données doivent être obtenues chez un plus grand nombre de chanteurs : les variations observées pourraient provenir de différences anatomiques ou de stratégies de production individuelles différentes. Cette variabilité individuelle est aussi due à une analyse vocalique tous contextes phonétiques confondus. Une étude plus approfondie de ces voyelles considèrera la nature et l'influence de ces contextes, et aussi celle de l'accentuation. Enfin, des tests perceptifs compléteront ces données de production pour mieux comprendre la gestion vocalique dans ces chants.

Remerciements

Ce travail a bénéficié d'une aide de la Commission Européenne au titre du projet *i-Treasures* portant la référence FP7-ICT-2011-9-600676-i-Treasures, ainsi que du LabEx *EFL* (ANR-10-LABX-0083). Nous remercions également les chanteurs pour leur participation à cette étude.

Références

- BITHELL C. (2007). *Transported by song : Corsican voices from oral tradition to world stage* (Vol. 5). Lanham, Maryland : Scarecrow Press.
- BLOOTHOOFT G., PLOMP R. (1984). Spectral analysis of sung vowels. I. Variation due to differences between vowels, singers, and modes of singing. *J. Acoust. Soc. Am.*, 75(4) : 1259-1264.
- BOERSMA P. & WEENINK D. (2016). Praat: doing phonetics by computer [Computer program]. Version 6.0.13, retrieved 31 January 2016 from <http://www.praat.org/>
- BURNS P. (1986). Acoustical analysis of the underlying voice differences between two groups of professional singers: opera and country and western. *Laryngoscope*, 96(5): 549-554.
- CATINCHI P. J. (1999). *Polyphonies corses*. Cité de la musique. Paris : Actes sud, 150.
- CHAWAH P., AL KORK S. K., FUX T., ADDA-DECKER M., AMELOT A., AUDIBERT N., DENBY B., DREYFUS G., JAUMARD-HAKOUN A., PILLOT-LOISEAU C., ROUSSEL P., STONE M., XU K., and CREVIER-BUCHMAN L., An educational platform to capture, visualize and analyze rare singing. Actes de *Interspeech 2014*, Singapour.
- DALBERA-STEFANAGGI M.J. (2002). *La langue corse*. Paris : Presses Universitaires de France, Collection « Que sais-je ».
- FUX T., AMELOT A., CREVIER-BUCHMAN L., PILLOT-LOISEAU C., ADDA-DECKER M. (2014). MATTONG: une interface graphique sous MatLab pour le suivi du contour de la langue à partir d'images ultrasons. Actes des *Journées d'Etude sur la Parole*, Le Mans, 2014.
- HENRICH, N., SMITH, J., WOLFE, J. (2011). Vocal tract resonances in singing: Strategies used by sopranos, altos, tenors, and baritones. *J. Acoust. Soc. Am.*, 129(2) : 1024-1035.
- GIBSON A. (2010). *Production and perception of vowels in New Zealand Popular Music*. Mémoire de Master, Auckland University of Technology.
- LORTAT-JABOB B. (1998). *Chants de Passion, au coeur d'une confrérie de Sardaigne*. Paris: CERF.
- NAIR A., NAIR G., REISHOFER G. (2016). The Low Mandible Maneuver and Its Resonant Implications for Elite Singers. *Journal of Voice*, 30(1), 13-32.
- OMORI K., KACKER A., CARROLL L.M., RILEY W.D., BLAUGRUND S.M. (1996). Singing Power Ratio: quantitative evaluation of singing voice quality. *Journal of Voice*, 10, 3, 226-235.
- PILLOT C., Vaissière J. (2007). Spectral correlates of carrying power in speech and western lyrical singing according to acoustic and phonetic factors. Actes du 15th *International Congress of Acoustics*. Madrid, 1-7 septembre 2007, 1-6.
- SUNDBERG J. (1987). *The Science of the singing voice*. Dekalb, Illinois : Northern Illinois University Press.
- SUNDBERG J., SKOOG J. (1997). Dependence of jaw opening on pitch and vowel in singers. *Journal of Voice*, 11(3), 301-306.
- SUNDBERG J. (2009). Articulatory Configuration and Pitch in a Classically Trained Soprano Singer. *Journal of Voice*, 23(5), 546-551.
- TITZE I.R., MAPES S., STORY B. (1994). Acoustics of the tenor high voice. *J. Acoust. Soc. Am.*, 95(2) : 1133-1142.