



HAL
open science

Trilles et vibrati dans le Chant Long Mongol

Claire Pillot-Loiseau, Lise Crevier-Buchman, Annie Rialland, Bulgantamir Sangidkhorloo, Nicolas Audibert, Coralie Vincent

► **To cite this version:**

Claire Pillot-Loiseau, Lise Crevier-Buchman, Annie Rialland, Bulgantamir Sangidkhorloo, Nicolas Audibert, et al.. Trilles et vibrati dans le Chant Long Mongol. CFA 2025 - 17e Congrès Français d'Acoustique, Société Française d'Acoustique (SFA), Apr 2025, Paris, France. pp.782-787. <hal-05226115>

HAL Id: hal-05226115

<https://hal.science/hal-05226115v1>

Submitted on 1 Sep 2025

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.



Distributed under a Creative Commons CC0 1.0 - Universal - International License



cfa

*Congrès Français
d'Acoustique*

17^{ème} édition
Paris 2025
27-30 Avril

Recueil des Résumés
et des Actes



17^e Congrès Français d'Acoustique
27-30 avril 2025, Paris

Trilles et vibrati dans le Chant Long Mongol

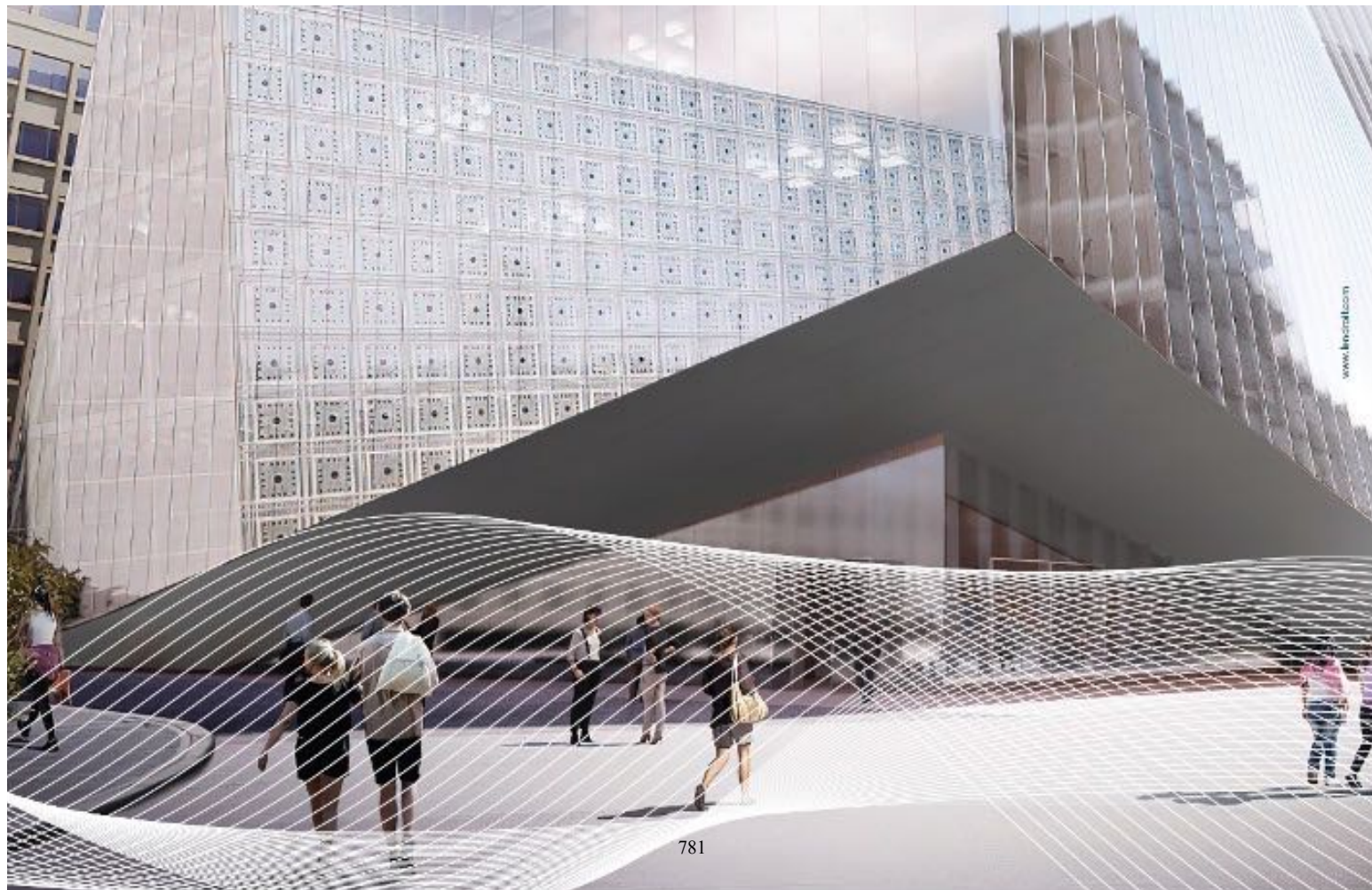
C. Pillot-Loiseau^a, L. Crevier-Buchman^{a,b}, A. Rialland^a, B. Sangidkhorloo,^c N. Audibert^a, et C. Vincent^d

^aLaboratoire de Phonétique et Phonologie UMR 7018, CNRS/Sorbonne Nouvelle, F-75005 Paris

^bHôpital Foch, Service ORL, F-92150 Suresnes, France

^c Université Nationale de Mongolie, M-14200 Ulaanbaatar, Mongolie

^d CNRS, Ircam, Sorbonne Université, Ministère de la Culture, STMS, F-75004 Paris, France



La Mongolie a développé, au fil des siècles, une riche tradition de musique vocale avec une variété de styles vocaux étonnants. Déclaré par l'Unesco comme l'un des chefs-d'œuvre du Patrimoine culturel immatériel de l'humanité en 2005, le Chant Long est l'un d'entre eux et se caractérise par des tempi lents, de longues lignes mélodiques, de grands intervalles de hauteur, une absence de rythme mesuré, et plusieurs types d'ornementations. Une étude de cas, associant une analyse acoustique à partir d'un enregistrement audio et une investigation physiologique (nasofibroscope laryngée synchronisée à l'enregistrement audio), a été réalisée chez une chanteuse professionnelle mongole experte dans cette technique. Elle montre une exécution contrôlée et reproductible des vibrati et trilles, mise en évidence par l'étude de 27 vibrati et 30 trilles acoustiquement et physiologiquement identifiables dans une chanson choisie par cette artiste. Les analyses indiquent que les étendues et modulations de fréquence et d'intensité de ces ornements sont supérieures pour les trilles. En outre, la corrélation entre la fréquence et l'intensité est négative pour les trilles et positive pour les vibrati. Par ailleurs, les différences d'amplitude entre les premiers et deuxièmes harmoniques sont négatives ($H2^*$ d'amplitude supérieure à celle de $H1^*$) pour les excursions basses de trilles, pour lesquels on observe un saut de fréquence situé entre 2 et 7 demi-tons, laissant supposer l'existence d'un passage registral, tel qu'on peut l'observer dans d'autres techniques vocales comme le Tahrir. Dans les trilles, les données nasofibrosopiques laryngées montrent un mouvement latéral asymétrique au niveau des deux aryténoïdes, dont la distance est positivement corrélée à la fréquence. Dans les vibrati, le mouvement aryténoïdien antéro-postérieur est symétrique. On note enfin une participation structures laryngées situés au-dessus des plis vocaux, révélant la fonction du larynx articulateur en plus que d'être vibrateur.

1 Introduction

Le Chant Long (*Urtyn Dui*), probablement apparu il y a 2000 ans, fait partie d'événements rituels mongols dans des cérémonies familiales, publiques, traditionnelles, ou de divertissement [1]. Très difficile à maîtriser, il implique une grande étendue vocale, une grande maîtrise, et nécessite une longue formation, commençant dès l'adolescence. Inscrit en 2008 sur la Liste représentative du patrimoine culturel immatériel de l'humanité par l'Unesco (proclamée en 2005 [2]), il se caractérise par des *tempi* lents, de longues lignes mélodiques, de larges intervalles, et par l'absence de rythme mesuré. L'échelle utilisée est une gamme pentatonique à cinq notes sans demi-tons. Le Chant Long peut être produit par des femmes ou des hommes, généralement accompagnés par le *Morin Khuur* (violon à tête de cheval) ou parfois par le *Limbe* (flûte traversière). Il est structuré en vers ([3]), chacun étant modulé avec un style très contrôlé.

Sa mélodie de base est embellie par des improvisations utilisant des trilles, des vibrati, des glissandi et des effets de yodel. De nos jours, on peut trouver l'influence du chant d'opéra occidental pour certaines ornements. Si de nombreuses études acoustiques ont été menées sur le vibrato dans le chant classique [4-7], moins ont été consacrées aux ornements [8-10] ou spécifiquement au Chant Long mongol ou aux techniques vocales associées pour certains de ses ornements [11-15]. En outre, si une étude physiologique et acoustique du comportement du larynx pendant les ornements chez une chanteuse mongole a été menée [13], il reste à approfondir cette étude, et établir les liens entre les données acoustiques et les paramètres des mouvements laryngés. Cette contribution a pour but de caractériser acoustiquement et physiologiquement les trilles et vibrati du Chant Long mongol, et d'explorer les liens entre ces deux types d'analyse afin de mieux comprendre les relations entre les propriétés acoustiques et le comportement laryngé.

2 Méthode

2.1 Chanteuse et corpus

Une chanteuse professionnelle mongole, Narantuya, a été enregistrée dans notre unité. Elle a signé un consentement éclairé. Le corpus était une chanson de paix spontanément proposée en l'honneur du pays hôte, chantée une fois. Il dure environ 4 minutes. Très structuré, il comprend d'abord une introduction, servant d'échauffement, suivie de trois couplets dont chacun est composé de 4 parties, et d'une conclusion. La dernière partie de chaque couplet est plus aiguë. Chaque couplet comprend 10 trilles et 9 vibrati. La notation ci-dessous illustre la structure, les transcriptions orthographiques, phonétique¹, et la tessiture de ce chant, avec en bleu les voyelles porteuses de vibrati (parfois deux par voyelle tenue avec une absence de vibration séparant les deux vibrati), en rouge celles porteuses de trilles, et en vert les voyelles composées de la succession trille-vibrato-trille.

Introduction: « De la Bannière Erdene »

Жаа х ий нь Эрдэнэ засгаа ээ ий өө нь ээ өө нь
[Ža: ^hi:] [Erdene zasga: e: i: ö: n e: ö: n]
220Hz - 554Hz (La2 - do#4)

Couplet 1 : « c'est la fête de la paix »

Энх ээ ий өө нь	МЭНДИЙН ӨӨ ИИЭЭ ИЭЭ ИИЙЭ ӨӨ НЬ
[enh e: i: ö: n]	[mendi:n ö: je: je: ö:]
440Hz - 554Hz (la3 - do#4)	330 - 554Hz (mi3 - do#4)
баяр нь ээ ий өө ий өө нь Ай хө өө нь ай хө	
[bajar ne: i: ö: i:]	[ai hō: ai hō:]
277 - 440Hz (do#3 - la3)	494 - 740Hz (si3 - fa#4)

Couplet 2 : « À ce jour parfaitement festif »

Төгс өө ай хө өө нь	БҮРДСЭН ЭЭЭ ИЙ ӨӨ ИЙ ӨӨ НЬ
[togs ö: ai h ö: ö: n]	[bürdsen e: i: ö: i: ö: n]
440Hz - 554Hz (la3 - do#4)	330 - 554Hz (mi3 - do#4)
ЭНЭ ӨДӨР ӨӨ ХӨ ЭЭ ӨӨ ЭЭ НЬ Ай хө хө нь Ай хө	
[en ödör ö: hō: e: ö:]	[ai hō: hō: ai hō:]
277 - 440Hz (do#3 - la3)	494 - 740Hz (si3 - fa#4)

¹ Transcription effectuée par la quatrième auteure, mongole native. [ö] désigne un [o] tendu et long.

Couplet 3: « Soyons joyeux et heureux »

Сайхнаа ай аа өө нь ээ ЦЭНГЭЖ ЭЭ ӨӨ ЭЙ ӨЙ ӨӨ НЬ
 [saihna: ai a: ö: n e:] [cengej e: o: ei öi ö: n]
 440Hz - 554Hz (la3-do#4) 330 - 554Hz (mi3 - do#4)
 жаргая аа хөө ээ өө ээ нь Ай хө өө нь ээ ай хө
 [jargaja a: hö: e: ö: e: n] [ai hö: ö: n e: ai hö:]
 277 - 440Hz (do#3 - la3) 494 - 740Hz (si3 - fa#4)

Conclusion

Ай хө нь ай өө : [ai hö:n ai jö:] 392 - 588Hz (sol3 - ré4)

2.2 Enregistrements et analyses

L'examen du larynx de la chanteuse a été réalisé avec un endoscope à fibre optique standard, sans anesthésie locale. L'appareil comprenait un fibroscope nasal flexible (Kay-Pentax® FNL10RP3, Lincoln Park, NJ, États-Unis), une source de lumière au xénon 300 et un système d'enregistrement vidéo (DigitalStrobe®, RLS91000, Kay Elemetrics, Lincoln Park, NJ, États-Unis). Notre chanteuse a très bien toléré le fibroscope nasal et a pu chanter le corpus précédemment décrit.

Les enregistrements vidéo ont été analysés avec le logiciel ImageJ (v.1.44) [16] : l'analyse des trains d'images obtenus pour chaque ornementation (en moyenne 25 par ornementation, dû à l'enregistrement vidéo) a permis, sous Matlab® [17], d'annoter le sommet des cartilages corniculés gauche et droit des aryténoïdes puis de mesurer la distance en pixel entre ces deux points pour chaque image.

Concernant l'enregistrement acoustique, un enregistreur numérique Marantz a été utilisé avec un microphone Audio Technica AT8033a placé à 30 cm des lèvres. Les signaux vidéo et audio ont ensuite été synchronisés manuellement.

Puis, dix-neuf ornements par couplet ont été sélectionnés perceptivement et analysés avec les outils de détection de f_0 , d'intensité, et du spectrogramme à bandes étroites sous Praat [18]. Ces 57 ornements ont été numérotés de 1 à 57. L'examen qualitatif a permis de différencier des vibrati analogues à ceux que l'on peut rencontrer dans le chant lyrique, et des oscillations régulières plus importantes évoquant le trille dans d'autres techniques vocales [12]. Afin d'étudier la reproductibilité des ornements d'un couplet à l'autre, les ornements de l'introduction et de la conclusion n'ont pas été étudiées.

Les paramètres acoustiques retenus étaient les modulations de fréquence fondamentale (f_0) et d'intensité (I) dans chaque ornementation [6] déterminant le nombre d'oscillations par seconde (Hz) des courbes de f_0 et I respectivement. Les étendues des modulations de fréquence (demi-ton) et d'amplitude (dB) décrivent leur écart par rapport à la fréquence ou à l'amplitude moyenne pendant le cycle du vibrato [6]. La corrélation de Spearman entre f_0 et I a également été calculée pour chaque point de ces courbes. Pour chaque partie basse et haute de chaque modulation de chaque ornementation, la différence d'amplitude entre le premier et le deuxième harmonique ($H1^*-H2^*$, dB) a été calculée selon la formule corrigée ([19], sur /æ ε ʌ/ dans cet article) pour éviter l'effet du premier formant sur la fonction de transfert du conduit vocal. Elle donne une indication du quotient d'ouverture, réduit quand cette différence est négative [19]. Enfin a été quantifié en demi-tons le saut de f_0 observé sur les trilles, à partir de l'observation des courbes [20].

3 Résultats

3.1 Fréquences et étendues des modulations

La figure 1 représente la distribution des valeurs de modulation et étendue de fréquence et d'intensité pour les trilles et vibrati de chaque couplet. Si on n'observe aucune différence significative d'un couplet à l'autre, ces deux ornements sont différemment caractérisés : les modulations et étendues de fréquence et d'intensité sont significativement plus importantes pour les trilles, et il existe des corrélations négatives entre la fréquence et l'intensité pour les trilles, alors qu'elles sont positives pour les vibrati.

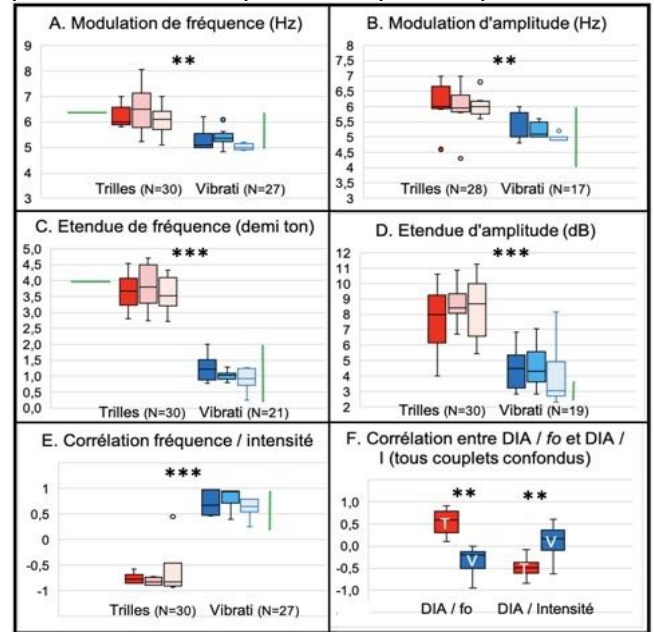


Figure 1 – Acoustique des trilles (rouge) et vibrati (bleu) des trois couplets du chant long mongol produit par Narantuya : modulations de fréquence (A) et d'amplitude (B), étendues de fréquence (C) et d'amplitude (D), E : corrélation entre chaque point des courbes de fréquence et d'intensité. F : corrélation entre la Distance inter-aryténoïdienne (DIA) et la fréquence f_0 d'une part, l'intensité I d'autre part. Traits verts : valeurs de la littérature. Couleur foncée : couplet 1 ; couleur moyenne : couplet 2 ; couleur claire : couplet 3.

3.2 Acoustiques et physiologie : liens

Les figures 2 (pour un trille) et 3 (pour un vibrato) montrent, de haut en bas, deux images laryngées présentant une Distance inter-aryténoïdienne (DIA) minimale (gauche) et maximale (droite), le signal, le spectrogramme, et les courbes de f_0 et I (bleu) sur lesquelles est superposée l'évolution de la DIA (en rouge, en pixels). Spécifiquement durant les trilles (figure 2), un mouvement asymétrique des aryténoïdes se produit dans le sens transversal : seul l'aryténoïde gauche s'avance vers l'avant et se centralise vers le centre de la glotte, réduisant sa distance avec l'autre aryténoïde ; les courbes de f_0 et DIA sont en phase, contrairement à celles de I et DIA : quand f_0 est élevé et I est basse, l'aryténoïde gauche est moins avancé et moins proche de l'autre aryténoïde.

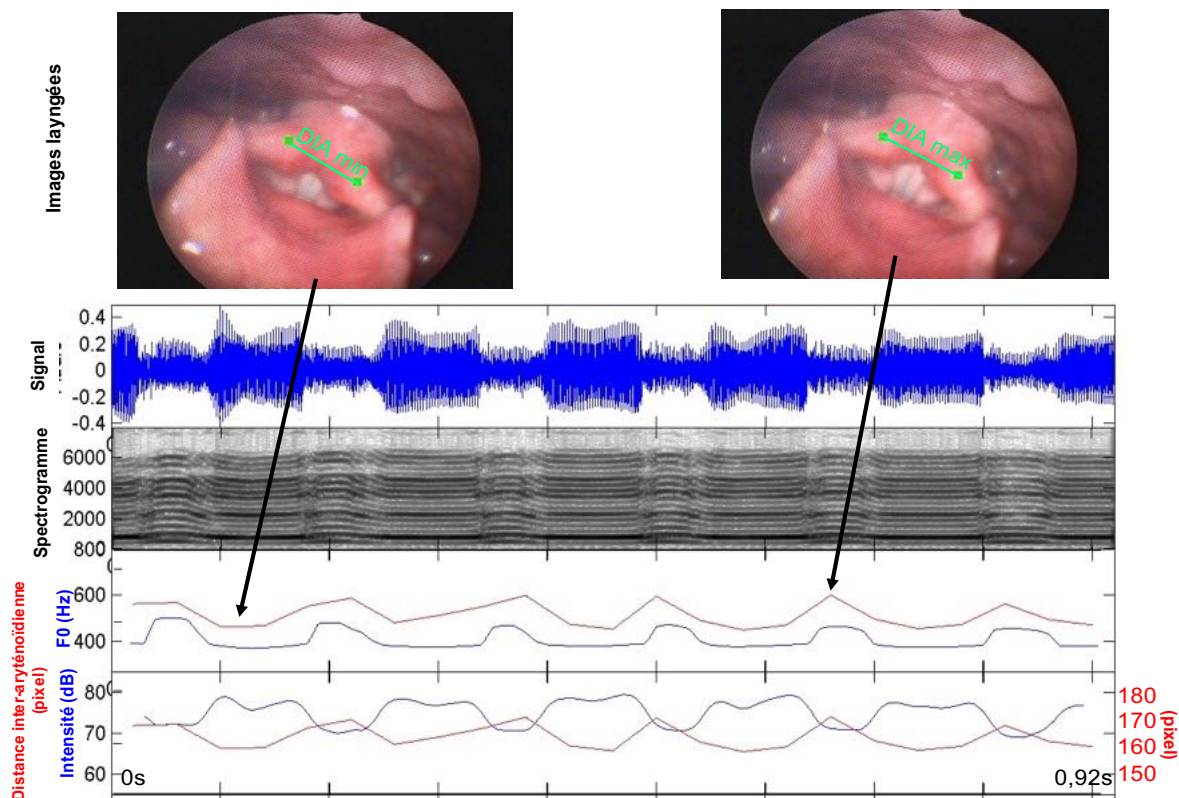


Figure 2 – De haut en bas : exemple d'un trille : images laryngées montrant une distance inter-aryténoïdienne (DIA) minimale et maximale, signal, spectrogramme, courbes de f_0 et I (bleu) et courbe montrant l'évolution de la DIA (rouge, en pixels)

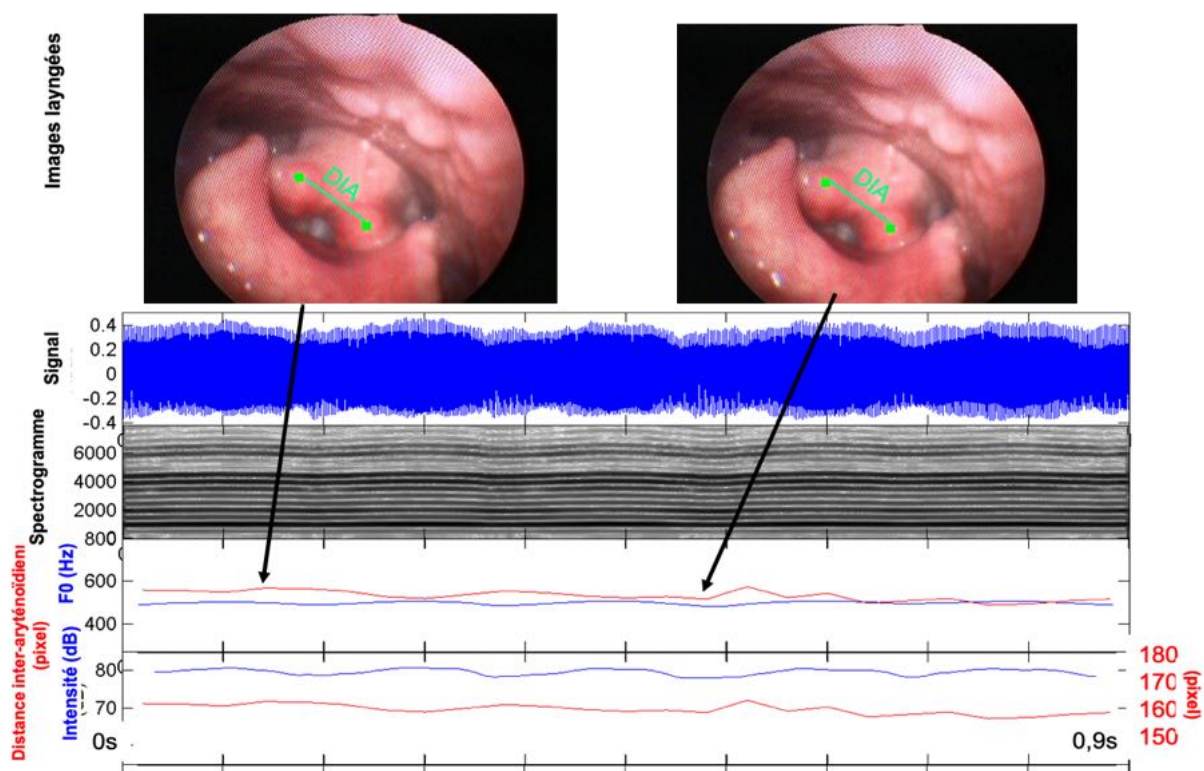


Figure 3 – De haut en bas : exemple d'un vibrato : images laryngées montrant la distance inter-aryténoïdienne (DIA), signal, spectrogramme, courbes de f_0 et I (bleu) et courbe montrant l'évolution de la DIA (rouge, en pixels)

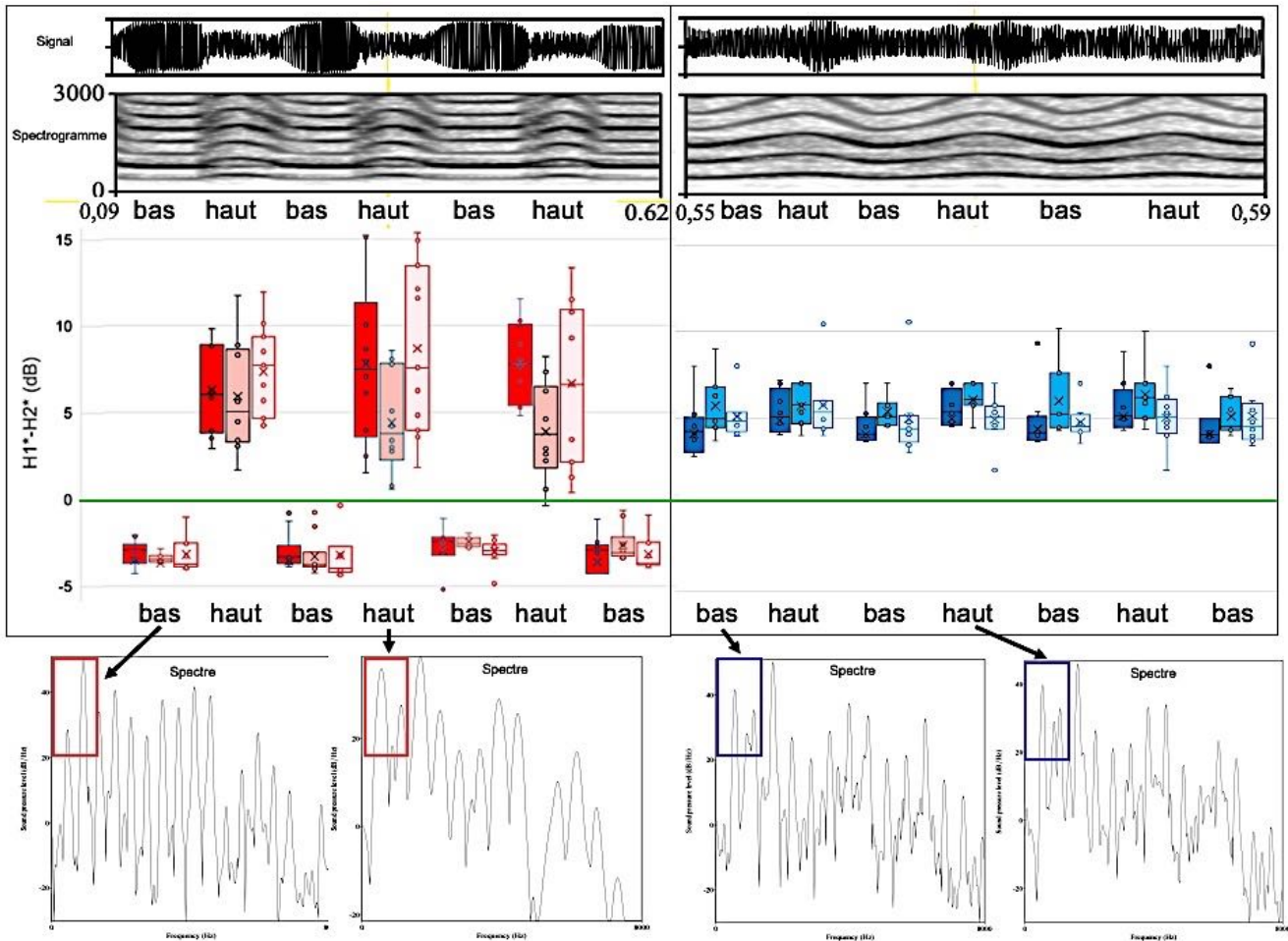


Figure 4 – De haut en bas : signal, spectrogramme précisant les occurrences basses et hautes de chaque modulation de fréquence, distribution des valeurs de H1*-H2* (dB) et exemples de spectres FFT pour une occurrence basse et haute, pour un trille (rouge, à gauche) et un vibrato (bleu, à droite)

Le signal montre une amplitude plus importante dans les parties basses des modulations de fréquence que dans leurs parties hautes (figure 2). Il n'en est pas de même pour le vibrato (figure 3) pour lequel on observe moins d'oscillations visibles (en particulier de DIA) et moins de différences d'amplitude du signal en fonction des parties basse et haute des modulations, car, contrairement aux trilles, les mouvements des aryténoïdes sont symétriques, principalement dans le sens antéro-postérieur, ne faisant pas varier la DIA. La figure 1E quantifie ces corrélations existant entre la DIA et f_0 et I, montrant des patterns inverses pour l'ensemble des trilles et vibrati des couplets du chant.

3.3 Calcul de H1*-H2*

La figure 4 présente, de haut en bas, le signal, le spectrogramme à bandes étroites précisant les occurrences basses et hautes de chaque modulation de fréquence, la distribution des valeurs de H1*-H2* (dB) et deux exemples de spectres FFT pour une occurrence basse et haute, pour un trille (rouge, gauche) et un vibrato (bleu, droite). Ces valeurs sont différentes pour les trilles et vibrati : H1*-H2* est positive pour toutes les occurrences des vibrati et les occurrences hautes des trilles. Elle n'est négative que pour les occurrences de basse fréquence des oscillations des

trilles. Les valeurs positives sont plus variables (entre 2 et 15 dB) pour les occurrences hautes des trilles, tandis qu'elles avoisinent 5 dB en moyenne pour les vibrati, pour lesquelles on observe que la plupart des valeurs sont comprises entre 2,5 et 8 dB. Les valeurs négatives avoisinent une moyenne de -3 dB pour les occurrences basses des trilles. Même s'il n'existe aucune différence significative entre les valeurs de H1*-H2* d'un couplet à l'autre, les occurrences hautes des trilles du deuxième couplet atteignent des valeurs positives moins importantes que celles des couplets 1 et 3. La tendance inverse s'observe pour toutes les occurrences des vibrati. Cette différence, brute ou corrigée, est consistante quelle que soit l'aperture des voyelles de ce chant.

3.4 Passage registral ?

La littérature ayant décrit l'existence de certaines ornements, en particulier des trilles, faisant l'objet d'un passage registral (voir entre autres [11]), il nous a paru pertinent d'approfondir notre analyse des trilles afin de savoir si un tel passage du mécanisme 1 (M1) au mécanisme 2 (M2) pouvait se produire entre les occurrences de basses et hautes fréquences des trilles chez la chanteuse mongole. Si c'est le signal EGG (modification de son amplitude), sa dérivée (changement de forme) et les valeurs du quotient

ouvert qui caractérisent de manière sûre le mécanisme laryngé utilisé [21, 22]), d'autres études ont mis l'accent sur l'existence de cassures harmoniques [11, 12, 21, 22], mais aussi de rapports harmoniques différents pour les voyelles ouvertes [23] et de sauts de fréquence [11, 12, 21, 22] ascendants de M1 à M2 et descendants de M2 à M1.

La figure 5 (gauche) illustre de tels sauts de fréquence sur la courbe de fréquence fondamentale d'un trille. Il a en effet été observé, que ce soit dans la phase montante ou descendante du trille, des sauts de fréquence de 1,5 à 2 demi-tons en moyenne, sauts moins importants pour les trilles avec /a/ (figure 5 à droite).

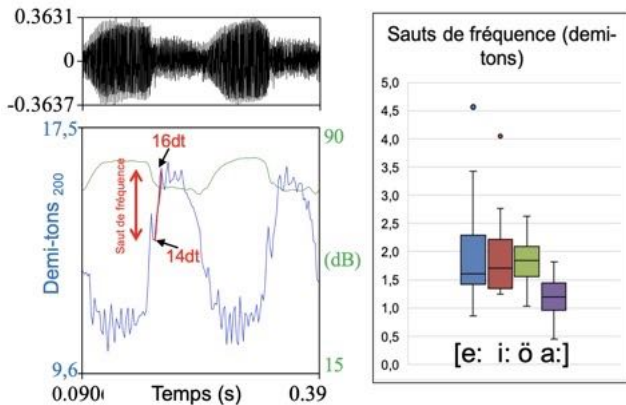


Figure 5 – Gauche : signal (haut) et courbes de f_0 (bleu, en demi-tons) et I (vert) montrant le saut de fréquence de deux demi-tons se produisant dans le passage d'une occurrence basse à haute d'une modulation de fréquence d'un trille. Droite : valeurs en demi-ton des sauts de fréquence observés dans les 30 trilles en fonction de la voyelle produite.

4 Discussion

Cette étude de cas descriptive a tenté d'apporter des compléments à l'analyse acoustique et à l'étude du comportement laryngé de 30 trilles et 27 vibrati d'un chant produit par une chanteuse mongole professionnelle. Ces deux types d'ornementation se distinguent significativement par des taux de modulation de fréquence et d'intensité supérieurs pour les trilles par rapport au vibrato : des modulations de fréquence de 6,5 Hz [8] et comprises entre 7 et 9 Hz ([8], [11] pour le Tahrir) pour les trilles avaient déjà été constatées, tandis qu'elles étaient comprises entre 4 et 7 Hz pour les vibrati (entre autres : [4, 6]) ou entre 5,2 et 6,4 Hz [8]. A notre connaissance, les taux de modulation d'amplitude des trilles ne sont pas renseignés dans la littérature, alors que de tels taux varient entre 4 et 6 Hz pour les vibrati [24]. En outre, si les étendues des modulations de fréquence avoisinent 4 demi-tons [8] ou sont comprises entre 2 et 7 Hz [12] dans les trilles, elles se situent entre un et 2 demi-tons [8, 24] ou entre 0,8 et 1,1 demi-tons, dans la production de vibrati de chanteuses, selon une littérature plus abondante sur ce sujet (entre autres : [25]). De plus, si, à notre connaissance, les étendues de modulation d'intensité des trilles ne sont pas souvent renseignées dans la littérature, elles vont de 2-3 dB à 8-10 dB selon plusieurs auteurs (entre autres : [4]). Enfin, les corrélations entre la fréquence et l'intensité ne sont pas renseignées pour les trilles, tandis

qu'elles sont positives pour les vibrati [4]. Ces oscillations de fréquence et d'intensité sont positivement corrélées à f_0 et négativement corrélées à l'intensité pour les trilles, tandis qu'on observe le pattern contraire pour les vibrati. La variation de la DIA, seulement observable pour les trilles, est liée à l'existence de mouvements aryénoïdiens créant une constriction sphinctérienne du tube laryngé au niveau aryépiglottique. Dans ces configurations d'articulation, le larynx est soulevé pour permettre le rapprochement entre les cartilages aryénoïdes et l'épiglotte laryngée. Cette position haute du larynx correspond à la voix dite de larynx soulevé qui a été décrite dans certains styles de chant [13], mettant ici en évidence le rôle supplémentaire d'articulateur du larynx, en plus de sa fonction vibratoire au niveau glottique [26].

D'après nos données, la différence d'amplitude entre les deux premiers harmoniques sépare également les trilles et vibrati en deux catégories bien distinctes : positive pour les vibrati (entre 2,5 et 8 dB en moyenne) et pour les excursions hautes des trilles (avec plus de variabilité pour ces derniers, entre 2 et 15 dB en moyenne), elle est négative pour les excursions basses des trilles (en moyenne -3 dB), faisant supposer un quotient d'ouverture moindre dans ces moments. Des valeurs de $H1^*-H2^*$ de 3,1 dB en moyenne ont été obtenues pour des femmes en voix parlée [19], et de 6,6 dB sur des syllabes /pæ/ à intensité confortable [27], mais Hanson (1997 [19]) notait une variation de 10 dB en moyenne selon la voyelle. En chant, ces valeurs sont comprises entre -8 (pour un quotient d'ouverture QO compris entre 0,3 et 0,4 dans une émission de voix pressée) et 5 dB (avec $QO \geq 0,7$), pour une voix masculine tenant un /a/. D'autres valeurs de ce paramètre lors d'un crescendo sur /a/ tenu à 261 Hz par un baryton sont comprises entre -25 (QO entre 0,3 et 0,4) et -5 dB ($QO \geq 0,8$, [21]).

Chez 4 contreténors amateurs et professionnels chantant un air de Haendel, des valeurs non corrigées de $H1-H2$ sont situées : entre 11 et 26 dB pour des /i/ produits à des f_0 de 587 Hz et 740 Hz, et entre -2,7 dB et 14,7 dB pour un /o/ ($f_0=494$ Hz) [28]. Avant correction, nos valeurs dans les occurrences basses des trilles pouvaient atteindre -27,5 dB comme pour toutes les occurrences des vibrati.

Un contraste de qualité vocale semble donc marqué entre les occurrences basses et hautes des trilles, contrairement aux vibrati, en faveur d'une voix plus pressée en bas des trilles ($H1^*-H2^*$ négative), avec un larynx élevé. Ce contraste peut révéler la présence d'un passage registral car le *Formant tuning* est la façon la plus appropriée pour gérer la transition registrale [23] : pour les voyelles postérieures ouvertes, H2 domine en mécanisme 1 (mis en résonance par le premier formant F1). Durant le passage du mécanisme 1 (M1) vers le mécanisme 2 (M2), l'amplitude de H2 diminue car il perd la résonance de F1 [23]. Cette probable existence de passages registraux semble ici confirmée par l'existence de sauts de fréquence uniquement observables entre les occurrences basses et hautes des trilles, ressemblant aux phénomènes observés pour le Tahrir, technique vocale utilisant le passage rapide de M1 à M2 dans ses ornements [12, 20].

Toutefois, il convient de souligner la difficulté d'obtenir des valeurs fiables de $H1^*-H2^*$, reflétant les valeurs de quotient d'ouverture QO [27], à cause de la complexité à détecter de façon sûre la fréquence du premier formant dans les productions de cette voix féminine aiguë, fréquence

composant justement la formule de correction. L'analyse directe de QO à partir d'un signal électroglottographique (EGG) pourrait définitivement confirmer ces résultats. Il n'en demeure pas moins que la tendance au contraste de ces valeurs uniquement entre les occurrences basses et hautes des trilles, a été observée, quelle que soit la voyelle sur laquelle ont été produites toutes ces ornementsations.

5 Conclusion

Les données de cette étude descriptive de cas montrent l'existence de patterns acoustiques et physiologiques différenciés entre les vibrati et trilles d'un air de chant long mongol produit par une chanteuse entraînée à cette technique. Ces patterns semblent reproductibles d'un couplet à l'autre. Ils demanderaient à être analysés avec un nombre plus important d'images par seconde, un signal EGG, chez d'autres sujets et d'autres chants, pour savoir si ces constats sont généralisables à l'ensemble de cette technique vocale.

Références

- [1] A. Desjacques, La dimension orphique de la musique mongole, *Cahiers d'ethnomusicologie. Anciennement Cahiers de musiques traditionnelles* **3**, 97–107 (1990).
- [2] UNESCO, Candidature for the Third Proclamation of Masterpieces of the Oral and Intangible Heritage of Humanity 2005: Mongolian Traditional Long Song. (Ulaanbaatar, Mongolia, 2004). <https://ich.unesco.org/en/RL/urtiin-duu-traditional-folk-long-song-00115>
- [3] B. Namjil, N. Ganbaatar, S. Batsuuri, Long Song Type Classification based on Lyrics, *Journal of Multimedia Information System* **9**(2), 113–120 (2022).
- [4] Y. Horii, Acoustic analysis of vocal vibrato: A theoretical interpretation of data, *Journal of Voice* **3**(1), 36–43 (1989).
- [5] C. d'Alessandro, M. Castellengo, The pitch of short-duration vibrato tones, *Journal of the Acoustical Society of America* **95**(13), 1617–1630 (1994).
- [6] C. Dromey, N. Carter, A. Hopkin, Vibrato rate adjustment, *Journal of Voice* **17**(2) 168–178 (2003).
- [7] S. Capobianco, A. Nacci, O. Calcinoni, L. Bruschini, S. Berrettini, P. Bottalico, Assessing acoustic parameters in early music and romantic operatic singing, *Journal of Voice* [in press] (2023) doi:10.1016/j.jvoice.2023.02.009.
- [8] J. Hakes, T. Shipp, E. T. Doherty, Acoustic properties of straight tone, vibrato, trill, and trillo, *Journal of Voice* **1**(2), 148–156 (1987).
- [9] R. C. Scherer, N. Radhakrishnan, P. Boominathan, H. Tan, Rate of change of Fo in performance singing, *The Journal of the Acoustical Society of America* **123**, 3379 (2008).
- [10] R. R. Patel, S. M. Lulich, P. Francisco, Laryngeal, Respiratory, and Acoustic Characteristics of Vocal Trillo With Simultaneous High-Speed Videendoscopy, Inductive Plethysmography, and Acoustic Recordings, *Journal of Voice* [in press] (2023) doi:10.1016/j.jvoice.2023.11.003.
- [11] M. Castellengo, Continuité, rupture, ornementation. Ou les bons usages de la transition entre deux modes d'émission vocale, *Cahiers d'ethnomusicologie. Anciennement Cahiers de musiques traditionnelles* **4**, 155–165 (1991).
- [12] M. Castellengo, J. During, S. Lamesch, The Iranian tahrir: Acoustical analysis of an ornamental vocal technique, in *CIM07 3rd Conference on interdisciplinary musicology* (eds. Maimets-Volt, K., Parnutt, R., Marin, M. & Ross, J.) 1–3 (Tallinn, Estonia, 2007).
- [13] L. Crevier-Buchman, C. Pillot-Loiseau, A. Rialland, T. Narantuya, C. Vincent, A. Desjacques, Analogy between laryngeal gesture in Mongolian Long Song and supracricoid partial laryngectomy, *Clin Linguist Phon* **26**(1), 86–99 (2012).
- [14] S. Shafei, Analysis of Vocal Ornamentation in Iranian Classical Music, in *Proceedings of the 16th Sound and Music Computing Conference, Málaga, Spain* 28–31 (2019).
- [15] M. Tahamtan, R. C. Scherer, Tahrir Patterns and Acoustical Analysis of Tekyeh in a Professional Iranian Classical Singer. *Journal of Voice* **34**(6), 830–837 (2020).
- [16] C. A. Schneider, W. S. Rasband, K. W. Eliceiri, NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis, *Nat Methods* **9**, 671–675 (2012).
- [17] The MathWorks Inc. MatLAB version 23.2, The MathWorks (2023).
- [18] P. Boersma, D. Weenink, Praat: doing phonetics by computer [Computer program], Version 6.2.06 (2022).
- [19] H. M. Hanson, Glottal characteristics of female speakers: acoustic correlates, *J Acoust Soc Am* **101**(1), 466–481 (1997).
- [20] M. Castellengo, J. During, N. Henrich Bernardoni, Electroglottographic assessment of Tahrir, a persian vocal technique, in *ICVPB 2020 - 12th International Conference on Voice Physiology and Biomechanics* (Grenoble (en ligne), France, 2020).
- [21] N. Henrich, Etude de la source glottique en voix parlée et chantée: modélisation et estimation, mesures acoustiques et électroglottographiques, perception. (Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 2001).
- [22] B. Roubeau, N. Henrich, M. Castellengo, Laryngeal vibratory mechanisms: the notion of vocal register revisited, *Journal of Voice* **23**(4), 425–438 (2009).
- [23] K. Neumann, P. Schunda, S. Hoth, H. A. Euler, The Interplay between Glottis and Vocal Tract during the Male Passaggio, *Folia Phoniatrica et Logopaedica* **57**(5-6), 308–327 (2005).
- [24] H. B. Rothman, J. F. Rullman, A. A. Arroyo, Inter- and intrasubject changes in vibrato: Perceptual and acoustic aspects, *Journal of Voice* **4**(4), 309–316 (1990).
- [25] P. Howes, J. Callaghan, P. Davis, D. Kenny, W. Thorpe, The relationship between measured vibrato characteristics and perception in Western operatic singing, *Journal of Voice* **18**(2), 216–230 (2004).
- [26] J. H. Esling, S. R. Moisik, A. Benner, L. Crevier-Buchman, *Voice Quality: The Laryngeal Articulator Model*, vol. 162 (Cambridge University Press, 2019).
- [27] E. B. Holmberg, R. E. Hillman, J. S. Perkell, P. C. Guiod, S. L. Goldman, Comparisons Among Aerodynamic, Electroglottographic, and Acoustic Spectral Measures of Female Voice, *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* **38**(6), 1212–1223 (1995).
- [28] T. L. B. Cruz, M. Frič, P. A. Andrade, Comparison of Countertenor Singing at Various Professional Levels Using Acoustic, Electroglottographic, and Videofluoroscopic Methods, *Journal of Voice* [in press] (2024) doi:10.1016/j.jvoice.2024.03.033.