

Le timbre du *sheng*, sous l'angle de l'écoute et de l'analyse du signal audio

The Timbre and Acoustics of Sheng, from the Perspective of Listening and Audio Signal Analysis

Julie Delisle

Volume 32, numéro 1, 2022

L'orgue à bouche entre Extrême-Orient et Occident : l'invention d'un répertoire contemporain

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/1088783ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/1088783ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Circuit, musiques contemporaines

ISSN

1183-1693 (imprimé)

1488-9692 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Delisle, J. (2022). Le timbre du *sheng*, sous l'angle de l'écoute et de l'analyse du signal audio. *Circuit*, 32(1), 53–68. <https://doi.org/10.7202/1088783ar>

Résumé de l'article

L'objectif du travail de recherche décrit dans cet article est d'appivoiser et d'analyser le timbre du *sheng* à partir d'enregistrements réalisés par la musicienne de *sheng* Li Li-Chin à l'Ircam, sur trois modèles différents de cet instrument. Ces analyses ont été effectuées dans le but de vérifier comment les phénomènes observés durant les études préliminaires portant sur son fonctionnement acoustique peuvent être perçus et décelés dans les sons résultants, et de suggérer des pistes à explorer pour mieux comprendre l'interaction entre les musicien.ne.s de *sheng* et leurs instruments. Les propriétés timbrales du *sheng* ont été étudiées à travers l'analyse de sonagrammes obtenus à partir des échantillons sonores, ainsi que par la compilation de données numériques provenant de descripteurs du timbre extraits de ces sons. Des aspects tels que les particularités de l'attaque, les qualités du registre et les caractéristiques spectrales générales seront abordés, tout comme le rôle des extensions métalliques fixées sur les tuyaux de bambou de certains modèles de *sheng*.

Le timbre du *sheng*, sous l'angle de l'écoute et de l'analyse du signal audio

Julie Delisle

Cet article¹ découle d'une investigation réalisée dans le cadre du projet « *Sheng! L'orgue à bouche* », dirigé par Liao Lin-Ni. En collaboration avec l'équipe pluridisciplinaire associée au projet, mon objectif était de mieux comprendre les caractères timbraux du *sheng* sur la base d'observations acoustiques, d'analyses computationnelles ainsi que de l'expertise d'interprètes spécialisés. Comment mettre en évidence les particularités acoustiques et fonctionnelles du *sheng*, telles qu'elles sont évoquées dans certaines publications scientifiques et pédagogiques? Comment se traduisent-elles à travers l'expérience de l'écoute ou par le biais de l'analyse du signal audio?

C'est à partir de la recherche présentée dans cet article que j'ai tenté de répondre à ces questions. Ce travail a mené à la constitution d'une banque de sons enregistrés sur différents instruments de la famille du *sheng*, ainsi qu'à la collecte d'une série de données sur les propriétés du signal enregistré. L'analyse de ces données a ensuite permis de dégager certaines particularités timbrales du *sheng* et d'éclairer les phénomènes acoustiques observés lors du jeu instrumental.

Les résultats de recherche présentés ici sont le fruit d'une collaboration à l'Ircam, laquelle a réuni durant l'été 2019 la musicienne de *sheng* Li Li-Chin ainsi que les membres de l'équipe de recherche Liao Lin-Ni, René Caussé, François Picard, Alexis Baskind, Pierre Couprie, Benjamin Lévy et moi-même. Par ailleurs, des entretiens ultérieurs réalisés entre mai 2020 et février 2021 avec Wu Wei², virtuose du *sheng* et pionnier du développement

1. Cette recherche et cette publication ont été réalisées dans le cadre du projet ACTOR (Analysis, Creation, and Teaching of Orchestration, www.actorproject.org), un partenariat de recherche financé par le Conseil de recherches en sciences humaines du Canada (895-2018-1023).

2. Deux entretiens ont été réalisés avec Wu Wei en compagnie de Liao Lin-Ni et Alexis Baskind les 26 et 31 mai 2020 et ont été suivis de plusieurs échanges par courriel. Nous avons poursuivi la réflexion à l'occasion d'une séance de recherche le 14 février 2021 et d'une table ronde le 15 février 2021 à l'Ircam.

3. Ces travaux n'avaient pas encore fait l'objet de publications lors de la rédaction de cet article. Le lectorat peut maintenant se référer à l'article de René Caussé, Véronique de Lavenère et François Picard dans ce numéro.

4. Il existe des sources de documentation en langue chinoise, notamment au sujet de la pédagogie de l'instrument, mais la plupart n'ont malheureusement pas encore été traduites en langues occidentales. Les propos tenus dans cet article pourront donc être nuancés et complétés à mesure que ces sources deviendront plus accessibles et que les échanges entre chercheur.e.s et musicien.ne.s de *sheng* se développeront.

5. Une première séance de travail de deux heures a eu lieu le 26 juin 2019, suivie de trois autres de quatre heures chacune les 9, 10 et 11 juillet 2019. Ces séances de travail et d'enregistrement ont été filmées et documentées par Liao Lin-Ni. La banque d'échantillons sonores constituée à partir de ces séances de travail fait partie d'un ensemble plus vaste de documents multimédias assemblés par l'équipe de recherche, auquel ses membres ont accès sur un espace de stockage partagé sur un serveur.

6. Wong, 2019, p. 136. Sauf mention contraire, les termes en langue chinoise ont été tirés de cette source bibliographique.

du répertoire contemporain pour l'instrument, m'ont permis de confirmer des hypothèses et d'approfondir certains points, notamment par rapport aux techniques de jeu, mais aussi de soulever de nouvelles interrogations.

Je fournirai d'abord quelques détails sur notre méthodologie de collecte et d'analyse de données ; je procéderai ensuite à un rappel du fonctionnement acoustique du *sheng* et de ses caractéristiques générales. Enfin, je présenterai une analyse plus poussée de ses spécificités timbrales et du rôle des extensions métalliques parfois posées sur les tuyaux de bambou en me basant d'une part sur l'analyse de sonagrammes, et d'autre part, sur des données computationnelles recueillies à partir des sons enregistrés.

Méthodologie

a) Travaux préliminaires

Cette recherche repose essentiellement sur les travaux préliminaires de René Caussé portant sur la facture et les propriétés acoustiques du *sheng*. Ces travaux, amorcés en collaboration avec François Picard et Liao Lin-Ni peu avant mon séjour à l'Ircam³, visaient à effectuer des mesures sur les tuyaux, les anches et les extensions métalliques d'un exemplaire de *sheng*, de manière à mieux comprendre son fonctionnement acoustique et à procéder à diverses observations en prévision de modélisations ultérieures. Ma recherche s'appuie aussi sur les quelques ressources disponibles en langues occidentales⁴. Cette phase de familiarisation avec le *sheng* a ensuite été enrichie par l'écoute de nombreux extraits musicaux enregistrés de pièces écrites et d'improvisations. J'ai ainsi pu esquisser une catégorisation des sons produits par l'instrument qui a servi à préparer les séances d'enregistrement avec la musicienne de *sheng* Li Li-Chin. Ces dernières – qui se sont déroulées à l'Ircam en juin et juillet 2019⁵ – ont permis de constituer une banque de sons servant à l'ensemble de l'équipe de recherche et à partir de laquelle j'ai pu communiquer mes premières analyses.

b) Banque d'échantillons sonores

Cette banque de sons comprend des échantillons enregistrés à partir de trois instruments différents : le premier est un *sheng* rénové à 24 tuyaux inspiré du modèle traditionnel (*chuantong sheng*⁶) et sans extensions ; le deuxième est un *sheng* rénové à 24 tuyaux équipés d'extensions ; et enfin, le troisième est un *sheng* soprano moderne à 36 tuyaux (*gaoyin sheng*), doté d'une base carrée et, lui aussi, d'extensions sur ses tuyaux (Figure 1). La banque d'échantillons sonores comprend un total de 874 sons, enregistrés en format wav (48 kHz, 24 bits) monophonique : 324 échantillons enregistrés sur le *sheng* soprano

FIGURE 1 Li Li-Chin lors d'une séance d'enregistrement à l'Ircam avec Benjamin Lévy, Pierre Couprie, René Caussé, François Picard et Liao Lin-Ni. Les microphones ont été placés de manière à obtenir plusieurs prises de son ainsi que des informations sur le rayonnement acoustique de l'instrument. On y voit les trois instruments utilisés lors de l'enregistrement : le modèle à 24 tuyaux sans extensions joué par Li Li-Chin, le modèle correspondant avec extensions posé sur le piano, et le *sheng* soprano moderne à 36 tuyaux à l'avant-plan. Photo : Liao Lin-Ni.



moderne, 120 sur le *sheng* à 24 tuyaux avec extensions et 430 sur le *sheng* à 24 tuyaux sans extensions.

Le *sheng* soprano moderne et le modèle sans extensions sont les deux instruments sur lesquels Li Li-Chin joue régulièrement; quant à l'exemplaire à 24 tuyaux avec extensions, il appartient à Liao Lin-Ni et a été prêté à l'équipe de recherche pour la réalisation de ses travaux. Il a surtout été enregistré afin d'établir des comparaisons avec l'autre instrument à 24 tuyaux et de mieux

7. Un projet en cours vise à comparer différentes interprétations de pièces comme *Fenghuang zhanchi* ([*Le phénix déploie ses ailes*], 1956) de Hu Tianquan et Dong Hongde ou *Jin diao* ([*Air du Shanxi / Air de Jin*], 1960), de Yan Haideng, enregistrées par plusieurs interprètes et à diverses époques.

8. D'après la définition du timbre proposée par l'American National Standard Association (1960).

9. Voir, par exemple, Grey, 1977, p. 1273-1274; Krumhansl, 1989, p. 45-46 et McAdams *et al.*, 1995, p. 185.

10. La Timbre Toolbox est une librairie comprenant une série d'algorithmes pour l'extraction de descripteurs acoustiques du timbre. Elle découle de l'adaptation par Geoffroy Peeters du module *Max/MSP ~ircamdescriptor* pour l'environnement MATLAB, à laquelle ont également contribué Jochen Krimphoff, Nicolas Misdariis, Patrick Susini et Stephen McAdams. Par la suite, Cory Kereliuk en a fait une librairie orientée objet. Voir Peeters *et al.*, 2011.

11. Les sonagrammes permettent d'avoir une bonne vue d'ensemble dès le début du travail d'investigation. Ils ont été réalisés ici avec le logiciel Amadeus Pro (version 2.5.3). Les images ont été obtenues avec une taille FFT de 8 192, un fenêtrage carré, une fréquence maximale d'analyse de 12 000 Hz et un affichage linéaire. Certains de ces sonagrammes sont disponibles avec leurs fichiers audio respectifs dans le supplément web du numéro accompagnant cet article.

comprendre le rôle des extensions métalliques. Les échantillons analysés dans le cadre de cet article correspondent à des notes individuelles enregistrées suivant différentes nuances dynamiques (*pp*, *mf* et *ff*), et aussi selon un crescendo-decrescendo.

La banque de sons propre au modèle à 24 tuyaux sans extensions regroupe plus d'échantillons que les deux autres parce qu'en plus des notes individuelles, elle contient une collection de techniques de jeu traditionnelles qu'il n'est pas possible d'exécuter sur l'instrument moderne en raison de son long bocal servant à acheminer le souffle de l'instrumentiste jusqu'à la base de l'instrument. Avec l'équipe de recherche, nous avons en effet enregistré plusieurs techniques de modulation du son, des intervalles et des combinaisons de notes, puis des extraits improvisés et des pièces emblématiques du corpus moderne développé depuis la fin des années 1950. Les interprétations de ces pièces seront analysées ultérieurement⁷, étant donné que l'exploration de ce vaste ensemble de matériaux sonores et musicaux dépasse largement le contexte de cet article.

Analyse du timbre

La définition du timbre communément admise en psychoacoustique ne le décrit pas pour ce qu'il est, mais pour ce qu'il n'est pas. C'est le paramètre permettant de différencier deux sons dont la hauteur, la durée et l'intensité sont identiques⁸. Cependant, les travaux de recherche des dernières décennies sur la perception du timbre ont montré qu'il s'agit en réalité d'un aspect multidimensionnel du son. Il est composé de plusieurs propriétés distinctes ; pour la différenciation entre les instruments occidentaux, on se rapporte généralement aux propriétés de l'attaque, à la distribution de l'énergie spectrale et à l'évolution temporelle de celle-ci⁹.

La Timbre Toolbox est un outil computationnel permettant d'extraire des données relatives aux descripteurs acoustiques du timbre à partir du signal audio¹⁰. Ces données peuvent être considérées comme le pendant numérique des caractéristiques perceptives du timbre identifiées lors des expériences en psychoacoustique. Les descripteurs acoustiques sont en fait des algorithmes permettant de mesurer différentes propriétés du son : certains descripteurs sont temporels (transitoires d'attaque et d'extinction), alors que d'autres sont spectraux (en lien avec la distribution de l'énergie dans le domaine fréquentiel) ou harmoniques (relatifs à la distribution des partiels par rapport au modèle du spectre harmonique). Combinés aux observations préalables réalisées grâce à l'analyse de sonagrammes sur les échantillons sonores collectés¹¹, les descripteurs acoustiques ont été utilisés dans un second temps

afin de mieux décrire la signature timbrale du *sheng* en nous fournissant des informations plus détaillées¹².

Caractéristiques générales du *sheng*

a) Structure

De prime abord, il semble assez simple de jouer du *sheng* : il faut souffler ou aspirer l'air à partir de l'embouchure (*shengzui*) soudée à la chambre à vent (*shengdou*), et de boucher les trous des tuyaux que l'on veut faire sonner¹³. Cela dit, tant du point de vue strictement acoustique que de celui du jeu instrumental, la réalité est un peu plus complexe. L'ensemble des tuyaux en bambou constitue le *shengmiao*. Ces tuyaux sont de différentes longueurs et configurations ; certains sont simplement fermés à leur extrémité, alors que d'autres possèdent un évent oblong, ou encore sont couplés par deux, ce qui fait varier leurs propriétés acoustiques. Actuellement, nous travaillons encore à définir ce que cela implique, tant sur le plan de l'acoustique que du jeu instrumental.

b) Mise en vibration

Si le *shengmiao* est arrangé de manière esthétique sur l'instrument, la fréquence de résonance de chaque tuyau est ajustée afin de s'approcher de la fréquence propre de son anche, lorsque le trou dont il est doté est bouché par le doigt de l'instrumentiste. Aucun son ne sera émis si le trou reste ouvert parce que celui-ci crée une opposition de phase à l'intérieur du tuyau. Boucher ce trou avec le doigt ou en activant une clé redonne au tuyau sa longueur réelle et permet au couple anche-tuyau de sonner¹⁴.

Par conséquent, il est à peu près impossible d'éviter que l'air ne s'échappe des tuyaux qui ne sont pas « activés » ; le souffle de l'instrumentiste doit donc fournir à l'inspiration et à l'expiration une quantité non négligeable d'énergie afin d'activer les anches, qui entrent toutes en oscillation même si elles ne sonnent pas, puisque l'activation des tuyaux par une délicate action du doigt est indépendante de la vibration des anches¹⁵. De plus, le *sheng* est un instrument assez lourd qu'il faut tenir en l'élevant à la hauteur des épaules. Pour toutes ces raisons, jouer du *sheng* demande une excellente condition physique, ce qui nous a été confirmé par Wu Wei lors d'une séance de recherche¹⁶.

c) Transitoires d'attaque

Le contrôle du moment de l'émission sonore pour chacune des notes peut être difficile à atteindre, ou pour le moins complexe à maîtriser en raison de

12. Tant les sonagrammes que les descripteurs acoustiques font partie d'un vaste éventail d'outils informatiques porteurs d'informations sur le signal audio. Ces données peuvent mener à différents types de représentations qui, à leur tour, peuvent être combinées pour en tirer un sens, autant en acoustique instrumentale que dans un contexte d'analyse musicale. Le choix des réglages pour l'extraction des informations, les modes de représentation et les méthodes d'analyse peut ensuite être adapté selon la démarche de recherche. À ce sujet, voir Couprie, 2015.

13. Leipp *et al.*, 1969, p. 10 ; voir également le texte de Caussé *et al.* dans ce numéro.

14. *Ibid.*, p. 13-14.

15. Wong, 2019, p. 140-141.

16. Cette séance de recherche a eu lieu le 14 février 2021, avec Wu Wei, Alexis Baskind et Julie Delisle en visioconférence, ainsi que Liao Lin-Ni, François Picard, René Caussé et Pierre Couprie à l'Ircam.

17. Feria, (s.d.), p. 1 : « *although absolute control (the exact timing of entrance) can be practiced by the performer if [a] specific thing needs to sound at a certain moment, it is also very important to appreciate the natural flow of the air, and realize that the instrument IS a living thing, it breathes with the performer, and one should really treasure, and savour that!* »

18. Wong, 2019, p. 139 : « *The sheng's pitches are usually split into three regions—gao (high, notes A2 and above), zhong (middle, notes between A1 to A2) and di (low, notes A1 and below). The high regions have been described as well defined, the middle regions as rich and strong, and the lower regions as soft and delicate.* »

19. Feria, (s.d.), p.1.

20. RMS est le sigle de *Root Mean Square*, en anglais. Il s'agit de la valeur efficace du signal acoustique, obtenue à partir des mesures d'amplitude de ce signal sur une période donnée ; la valeur efficace renseigne ainsi sur l'intensité potentielle du son enregistré. À titre indicatif, la RMS d'une onde sinusoïdale est d'environ 0,707 (l'inverse de la racine de 2) et celle d'une onde carrée, de 1.

la variabilité des propriétés acoustiques de l'ensemble des couplages tuyau-anche du *sheng*. Cet aspect de la technique instrumentale peut être travaillé par l'instrumentiste jusqu'à un certain point, mais Wu Wei insiste sur le fait que le *sheng* est une entité vivante, et que le flux naturel de l'air doit être apprécié et respecté¹⁷. Ce qui est souvent une contrainte en musique occidentale – la difficulté de contrôler les paramètres de l'attaque – est considéré comme une simple caractéristique de l'instrument, voire une qualité en musique chinoise traditionnelle. Des travaux plus approfondis, impliquant une meilleure compréhension de l'acoustique des différents types de tuyaux, seront nécessaires pour mieux cerner les propriétés de l'attaque pour chacun des types d'instruments et de tuyaux, notamment grâce à une analyse détaillée des descripteurs acoustiques temporels.

d) Registre

Le *sheng* traditionnel à 24 tuyaux possède un registre s'étendant du la_3 (sous le *do* central) au *fa* dièse₆, situé deux octaves et demie plus haut, soit trois lignes supplémentaires au-dessus de la portée en clé de *sol*. Le registre des modèles modernes à 36 et 37 tuyaux, dont fait partie le *sheng* soprano, pour sa part, s'étend sur trois octaves, généralement du sol_3 (sous le *do* central) au *fa* dièse₆. Enfin, traditionnellement, on sépare le registre du *sheng* en trois régions : le registre grave (*di*, sous le la_4 à 440 Hz), le registre médium (*zhong*, l'octave suivante) et le registre aigu (*gao*, au-dessus du la_5 à 880 Hz). Selon Wong, ces trois régions se caractérisent différemment sur le plan du timbre : l'aigu est bien défini, le médium est riche et fort, et le grave est doux et délicat¹⁸. Les spécificités attribuées par Wong au registre aigu sont plus ou moins reprises par Wu Wei : « *[The high register has] a sharper timbre and contains interesting overtones [; it] gives a bright, shimmering tone colour—especially in the louder dynamic level*¹⁹. »

Objectivement, si l'on considère les valeurs RMS²⁰ calculées avec la Timbre Toolbox, ces informations se vérifient dans une certaine mesure. Pour le modèle à 24 tuyaux sans extensions métalliques, c'est le registre médium qui obtient la moyenne la plus élevée (0,582 437), par rapport à 0,508 679 pour le registre grave et 0,575 628 pour le registre aigu (pour une nuance *mezzo-forte*), tandis que pour le *sheng* soprano moderne, le registre grave a tendance à être plus présent que les autres, avec une moyenne de 0,514 934 en nuance *piano* et de 0,642 822 en nuance *forte*, par rapport à 0,375 560 et 0,545 031 pour le registre médium, et 0,366346 et 0,587938 pour le registre aigu (toujours pour les nuances *piano* et *forte*, respectivement).

À la recherche d'une signature spectrale : ce que disent les sonagrammes

Pour les trois modèles de *sheng*, l'observation des sonagrammes générés pour chaque note ne permet pas de remarquer de *pattern* unique et uniforme s'appliquant à l'ensemble des trois instruments, ou même à l'ensemble du registre de chaque instrument pris individuellement. En effet, chaque tuyau possède sa propre « personnalité », et des variations d'une note à l'autre reflètent la présence de différences structurelles entre chacun des tuyaux. Cependant, on peut dégager de l'analyse des sonagrammes deux caractéristiques spectrales récurrentes, qui concernent potentiellement l'ensemble des instruments de la famille des orgues à bouche chinois.

a) Un spectre riche et fortement harmonique

Une première caractéristique marquante du *sheng* est la richesse de son spectre. On peut généralement observer la présence constante de partiels harmoniques jusque vers les 4 000 Hz, puis une continuité dans le spectre allant jusqu'au quarantième partiel (ce qui varie légèrement selon le registre). La flûte traversière, en comparaison, ne compte dans son spectre que six ou sept partiels harmoniques forts²¹. Fait intéressant, la présence importante d'énergie dans la région fréquentielle entre 1 500 et 5 000 Hz coïncide avec la zone de plus grande sensibilité du système auditif humain²². C'est cette caractéristique qui permet au *sheng* d'être entendu dans de grands ensembles ou comme soliste accompagné par un orchestre symphonique, en dépit de son intensité sonore très modérée.

b) Prégnance des premiers partiels pairs

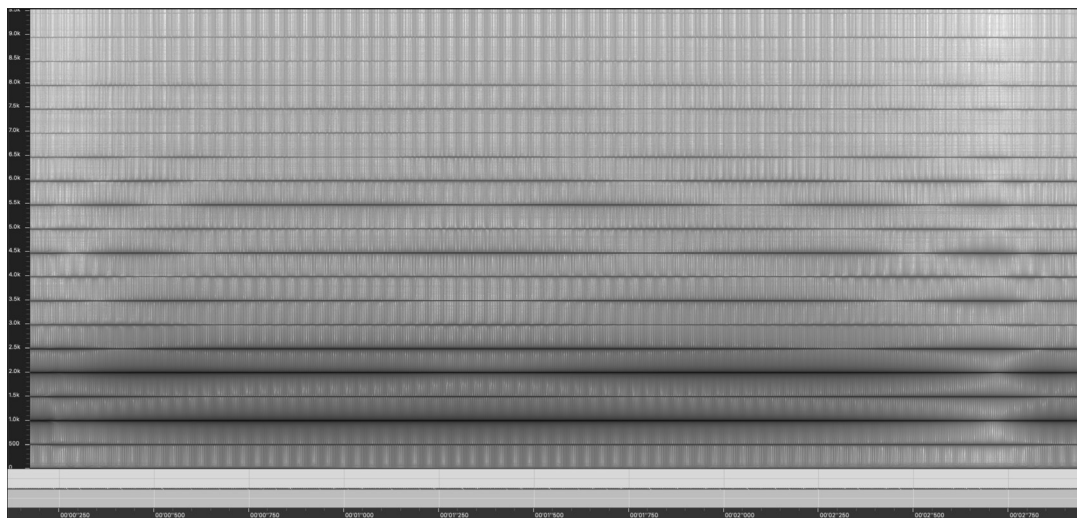
Du point de vue spectral, le *sheng* se distingue par la force de ses premiers partiels pairs. Presque systématiquement, les partiels 2 et 4²³ sont ceux dont l'intensité sonore est la plus grande (Figure 2). La tendance est un peu moins claire dans les registres très grave et très aigu, mais se décèle tout de même assez fréquemment dans l'ensemble des sonagrammes. Cette caractéristique pourrait être expliquée par le comportement de l'anche libre, qui oscille de part et d'autre de sa platine, mais résulte aussi possiblement d'un ensemble complexe d'interactions entre les anches, les tuyaux et la structure générale de l'instrument, dont la forme et les dimensions de la boîte à vent. Toutefois, cette intensité des partiels 2 et 4 teinte fortement le timbre du *sheng* et en marque certainement la signature. En comparaison, on peut penser à la clarinette avec ses partiels impairs dominants qui lui donnent sa couleur si particulière.

21. À ce sujet, voir la page web de Joe Wolfe intitulée *Flute acoustics* (<http://newt.phys.unsw.edu.au/music/flute>). On peut y consulter des données sur les caractéristiques acoustiques et spectrales ainsi que sur le spectre d'impédance de l'ensemble du registre de plusieurs instruments de la famille des flûtes traversières.

22. Le conduit auditif humain ne fait que quelques centimètres de longueur. Si on le considère comme un tuyau et qu'on en calcule la fréquence de résonance, celle-ci se rapproche habituellement de cette plage fréquentielle. On peut observer cette zone de sensibilité accrue sur les courbes isosoniques définies par la norme ISO 226, montrant le nombre de décibels à atteindre pour provoquer la même sensation d'intensité sonore à travers le domaine fréquentiel. Pour un aperçu, voir Gautier et Margollé, 2016, p. 218.

23. Par convention ici, le premier partiel correspond à la fréquence fondamentale du son.

FIGURE 2 Le sonagramme du si_4 (~496 Hz) sur le *sheng* soprano moderne est assez représentatif de l'ensemble des notes de *sheng*, peu importe l'instrument. L'intensité des nuances de gris reflète l'intensité de l'énergie acoustique présente dans le spectre. On y voit un spectre riche et harmonique avec beaucoup d'énergie sur les deuxième et quatrième partiels (lignes noires et épaisses autour de 1 000 et 2 000 Hz).



24. L'algorithme utilisé par la Timbre Toolbox pour l'estimation de la fréquence fondamentale d'un son est celui de Camacho et Harris, 2008, cité in Peeters *et al.*, 2011, p. 2905.

Il est à noter que l'algorithme de la Timbre Toolbox détectant la fréquence fondamentale²⁴ des sons génère des valeurs qui sont souvent faussées par l'arrangement irrégulier des intensités des partiels du *sheng* (Figure 3). On assiste donc fréquemment à des erreurs d'octave ou de douzième, la fréquence fondamentale calculée correspondant en fait au deuxième ou au troisième partiel, ce qui confirme les observations préalables à partir des sonagrammes.

Par ailleurs, en observant le spectre du *sheng* soprano moderne à 36 tuyaux sur l'ensemble de ses sonagrammes (par exemple, voir la Figure 4), on note encore une fois la forte présence des partiels 2 et 4, mais également l'intensité assez élevée des partiels 7 et 11, qui se démarquent par rapport aux autres dans le cas de plusieurs notes. Cela contribue possiblement à la couleur distincte du *sheng* moderne, assez ronde mais riche.

Rôle des extensions métalliques

a) Résonateurs ou amplificateurs ?

Pour aller plus loin dans la description du timbre du *sheng*, il est nécessaire de considérer la présence ou l'absence des extensions métalliques fixées devant les événements oblongs percés sur certains de ses tuyaux. Le terme « résonateur » avait spontanément été adopté par l'équipe de recherche

FIGURE 3 Tableau des fréquences fondamentales détectées par la Timbre Toolbox pour les instruments à 24 tuyaux sans et avec extensions métalliques. Mis à part les notes do_5 et do dièse₅ pour lesquelles l'estimation de la fréquence fondamentale était erronée, des erreurs de calcul de l'ordre de l'octave ou de la douzième se sont produites pour la plupart des notes de la moitié supérieure du registre.

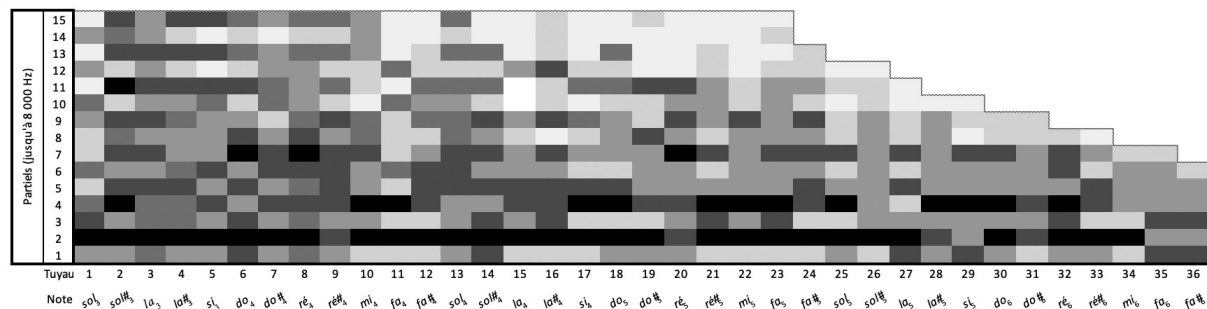
24 tuyaux sans extensions				24 tuyaux avec extensions			
Note	Fo Timbre Toolbox	Fo ajustée	Erreur	Note	Fo Timbre Toolbox	Fo ajustée	Erreur
la_3	220,8908			la_3	221,757677		
si_3	247,604744			si_3	248,084798		
$do\#_4$	277,56269			$do\#_4$	278,365771		
$ré_4$	297,924666			$ré_4$	294,786938		
mi_4	330,753476			mi_4	331,144813		
$fa\#_4$	371,763647			$fa\#_4$	370,506085		
sol_4	393,401225			sol_4	393,174342		
la_4	441,216714			la_4	442,026491		
si_4	495,843125			si_4	496,643125		
do_5	500,943125	525,3274915	estimation erronée	do_5	498,943125	526,175062	estimation erronée
$do\#_5$	498,993125	557,5548626	estimation erronée	$do\#_5$	498,543125	556,4906198	estimation erronée
$ré_5$	295,3544	590,7088	Octave	$ré_5$	294,790637	589,581274	Octave
				$ré\#_5$	313,338838	626,677676	Octave
mi_5	330,777309	661,554618	Octave	mi_5	331,744229	663,488458	Octave
fa_5	351,241048	702,482096	Octave	fa_5	351,442289	702,884578	Octave
$fa\#_5$	371,479864	742,959728	Octave	$fa\#_5$	372,146879	744,293758	Octave
sol_5	788,420138	788,420138	Octave	sol_5	393,829146	787,658292	Octave
$sol\#_5$	416,733807	833,467614	Octave				
la_5	441,871529	883,743058	Octave	la_5	441,662046	883,324092	Octave
si_5	495,743125	991,48625	Octave	si_5	497,543125	995,08625	Octave
do_6	349,217775	1047,653325	Douzième	do_6	351,253368	1053,760104	Douzième
$do\#_6$	369,452924	1108,358772	Douzième	$do\#_6$	372,109479	1116,328437	Douzième
$ré_6$	393,360959	1180,082877	Douzième	$ré_6$	394,028239	1182,084717	Douzième
mi_6	440,762046	1322,286138	Douzième	mi_6	443,23975	1329,71925	Douzième
$fa\#_6$	495,443125	1486,329375	Douzième	$fa\#_6$	496,743125	1490,229375	Douzième

francophone, puisque ces extensions semblaient parfois induire une résonance secondaire, accompagnant celle qui a lieu à l'intérieur des tuyaux de bambou. Cependant, en chinois, on les nomme plutôt tuyaux amplificateurs (*gongmingguan*²⁵). Wu Wei nous a d'ailleurs corrigés à l'occasion d'une séance de recherche²⁶, en nous mentionnant que le terme « résonateur »

25. Wong, 2019, p. 141.

26. Séance du 14 février 2021.

FIGURE 4 Tableau de l'intensité relative des partiels pour le *sheng* soprano moderne doté d'extensions métalliques, d'après l'analyse des sonogrammes de chaque note, du *sol*₃ au *fa* dièse₆.



donnait de fausses indications sur leur rôle exact. En effet, plutôt que de créer des zones formantiques dans le spectre, donc des résonances, les extensions métalliques semblent avoir un effet plus global sur les caractéristiques du spectre, comme nous allons le voir.

b) Comparaison de sonogrammes

C'est encore une fois la comparaison de sonogrammes qui nous a servi de point de départ. L'intensité relative des partiels pour chaque note a été compilée dans des tableaux pour chacun des trois instruments, ce qui m'a permis de dégager certaines tendances propres aux tuyaux métalliques. Sur le modèle qui n'en possède pas (Figure 5), les partiels 2 et 4 sont très présents, mais

FIGURE 5 Tableau de l'intensité relative des partiels pour le *sheng* à 24 tuyaux sans extensions métalliques, d'après l'analyse des sonogrammes de chaque note, du *la*₃ au *fa* dièse₆.

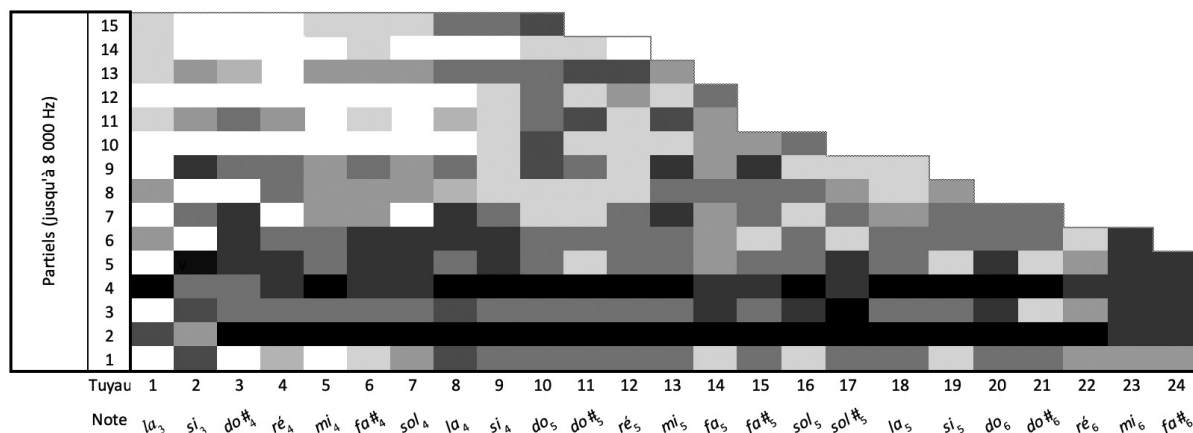
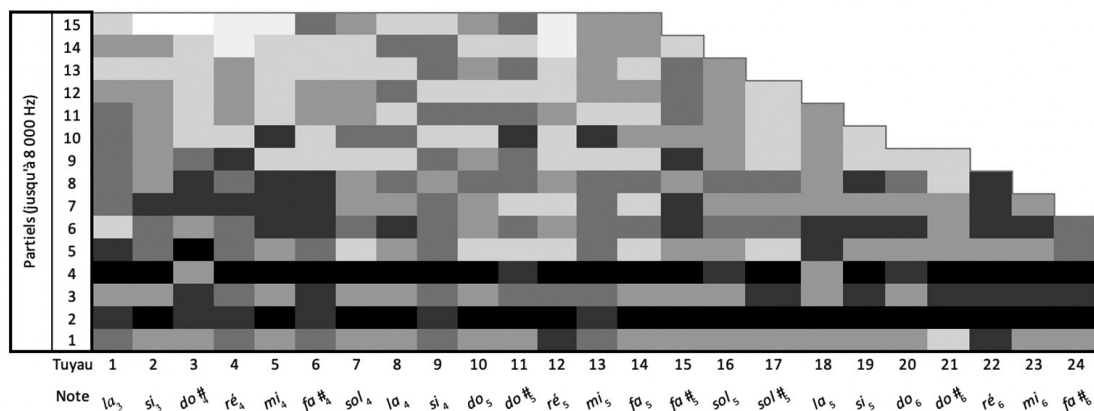


FIGURE 6 Tableau de l'intensité relative des partiels pour le *sheng* à 24 tuyaux avec extensions métalliques, d'après l'analyse des sonagrammes de chaque note, du *la*₃ au *fa* dièse₆.



dans le spectre, l'intensité sonore se déplace progressivement vers les partiels impairs qui sont généralement plus forts à partir du partiel 9, mais parfois aussi à partir du partiel 7, le spectre variant légèrement d'une note à l'autre. Quoiqu'il en soit, cette tendance se confirme vers les partiels d'ordre plus élevé.

Par contre, sur le modèle à 24 tuyaux avec extensions, si les partiels 2 et 4 sont également dominants, le partiel 5 est presque toujours relativement faible (Figure 6), ce qui n'était pas le cas de l'autre instrument. De plus, les partiels pairs restent forts jusqu'au huitième ou même jusqu'au dixième. Il semblerait donc que les extensions métalliques aient pour effet de stabiliser le spectre en gardant l'énergie dans les partiels pairs.

c) Analyse de l'énergie contenue dans les partiels pairs et impairs

Pour vérifier la validité de ces observations, les valeurs de certains descripteurs acoustiques du timbre extraits avec la *Timbre Toolbox* à partir des échantillons sonores ont été considérées. Un premier indicateur de ces tendances est le descripteur *odd-to-even*, qui donne le rapport entre la somme des intensités des partiels impairs et celle des partiels pairs. En comparant les deux instruments à 24 tuyaux (Figure 7), la moyenne des valeurs obtenues pour ce descripteur est moins élevée pour le modèle avec extensions (0,148 164 708) que pour celui qui n'en possède pas (0,219 379 833), ce qui indique une corrélation entre la présence d'extensions métalliques et le fait que l'énergie est davantage présente dans les partiels pairs que dans les partiels impairs. En effet, le rapport impair/pair sera plus élevé dans le cas où l'énergie reste présente dans les partiels impairs, et moins élevée si elle se concentre dans les partiels pairs.

FIGURE 7 Tableau de comparaison des valeurs du descripteur *odd-to-even* pour chacune des notes des instruments à 24 tuyaux sans et avec extensions métalliques. C'est en général l'instrument avec extensions qui obtient les valeurs les moins élevées.

24 tuyaux sans extensions			24 tuyaux avec extensions		
Note	Tuyau	Odd-to-even	Note	Tuyau	Odd-to-even
<i>la</i> ₃	1	0,069966	<i>la</i> ₃	1	0,135426
<i>si</i> ₃	2	1,091828	<i>si</i> ₃	2	0,490808
<i>do</i> # ₄	3	0,543418	<i>do</i> # ₄	3	0,565085
<i>ré</i> ₄	4	0,321968	<i>ré</i> ₄	4	0,29167
<i>mi</i> ₄	5	0,210514	<i>mi</i> ₄	5	0,091265
<i>fa</i> # ₄	6	0,186355	<i>fa</i> # ₄	6	0,083926
<i>sol</i> ₄	7	0,125015	<i>sol</i> ₄	7	0,045207
<i>la</i> ₄	8	0,866492	<i>la</i> ₄	8	0,050886
<i>si</i> ₄	9	0,100568	<i>si</i> ₄	9	0,07523
<i>do</i> ₅	10	0,04837	<i>do</i> ₅	10	0,052346
<i>do</i> # ₅	11	0,0234	<i>do</i> # ₅	11	0,296489
<i>ré</i> ₅	12	0,00027	<i>ré</i> ₅	12	0,000279
			<i>ré</i> # ₅	13	0,000181
<i>mi</i> ₅	13	0,000053	<i>mi</i> ₅	14	0,00009
<i>fa</i> ₅	14	0,000055	<i>fa</i> ₅	15	0,000072
<i>fa</i> # ₅	15	0,000068	<i>fa</i> # ₅	16	0,000085
<i>sol</i> ₅	16	0,000143	<i>sol</i> ₅	17	0,000121
<i>sol</i> # ₅	17	0,000095			
<i>la</i> ₅	18	0,000055	<i>la</i> ₅	18	0,00005
<i>si</i> ₅	19	0,000091	<i>si</i> ₅	19	0,000062
<i>do</i> ₆	20	0,615791	<i>do</i> ₆	20	0,204514
<i>do</i> # ₆	21	0,322546	<i>do</i> # ₆	21	0,202219
<i>ré</i> ₆	22	0,08495	<i>ré</i> ₆	22	0,576096
<i>mi</i> ₆	23	0,375439	<i>mi</i> ₆	23	0,099443
<i>fa</i> # ₆	24	0,277666	<i>fa</i> # ₆	24	0,294403
Moyenne		0,219379833	Moyenne		0,148164708

27. L'échelle des cents permet une mesure fine des intervalles musicaux sur la base d'une échelle logarithmique qui divise le demi-ton tempéré en 100 parties (les cents) logarithmiquement égales. À ce sujet, voir Paret et Sibony, 2017, p. 70-73.

28. Rossing, 1990, p. 111. Cette affirmation fait appel à la notion de seuil de différence notable (*just noticeable difference*). En ce qui concerne la perception des hauteurs, une différence de 1,29 cent passe généralement inaperçue.

d) Fréquence fondamentale

Retournons aux résultats de détection de la fréquence fondamentale des sons, toujours avec la Timbre Toolbox (Figure 3). Pour les deux instruments à 24 tuyaux, la présence ou l'absence d'extensions métalliques ne produit pas de différence notable sur la fréquence fondamentale, la différence moyenne étant de 1,29 cent²⁷ entre les deux conditions. La différence entre les tuyaux dotés d'extensions et ceux qui n'en ont pas semble surtout être de nature spectrale, et n'affecte pas vraiment la hauteur perçue de la note jouée²⁸.

e) Centroïde spectral

Le centroïde spectral indique la fréquence à laquelle se trouve le centre de gravité de l'énergie acoustique dans le domaine fréquentiel. Il est pour sa part un descripteur hautement corrélé à la brillance perçue du son ainsi qu'un paramètre important pour la différenciation des timbres instrumentaux²⁹. Si l'on examine la moyenne des valeurs obtenues en faisant le rapport entre la fréquence du centroïde et la fréquence fondamentale³⁰ pour les trois instruments (Figure 8), on constate que c'est le modèle à 24 tuyaux sans extensions qui obtient le score le plus élevé, soit 4,666 728 2, par rapport à 4,227 146 55 pour le *sheng* soprano moderne et 4,197 889 531 pour le modèle à 24 tuyaux avec extensions. On peut donc en déduire que des trois, le modèle sans extensions est l'instrument au timbre potentiellement le plus brillant.

Aussi, sur le *sheng* soprano moderne, il est possible de retirer l'extension métallique des tuyaux correspondant aux six notes les plus graves de l'instrument (du *sol*₃ au *do*₄). Nous en avons donc profité pour enregistrer ces six notes avec et sans leur extension, et pour en analyser le signal. Si l'on compare les valeurs de centroïde pour les sons de ces six tuyaux avec et sans leur extension, un phénomène semblable se produit. Le centroïde augmente pour quatre des six tuyaux si on leur ôte leur extension, et les valeurs de centroïde obtenues sans les extensions dépassent en moyenne de 113,84 Hz les valeurs obtenues avec les extensions. Encore une fois, la présence des extensions métalliques pourrait avoir comme effet de diminuer la brillance relative du son.

f) Valeur RMS

Par ailleurs, en comparant les valeurs RMS moyennes obtenues pour les deux instruments, on constate qu'avec une moyenne de 0,555 581, le modèle à 24 tuyaux sans extensions émet généralement un signal plus fort que celui doté d'extensions, qui obtient une moyenne de 0,440 602. Donc si les extensions métalliques stabilisent le spectre dans le sens des partiels pairs, elles semblent toutefois diminuer la brillance relative ainsi que l'amplitude acoustique moyenne du son. Cependant, il est à mentionner que l'instrument à 24 tuyaux avec extensions était un peu moins bien entretenu que celui sans extensions en raison d'une utilisation différente, ce qui peut affecter les résultats obtenus. Le caractère amplificateur de ces tuyaux métalliques reste donc à vérifier. Il est aussi possible que les extensions métalliques facilitent l'émission sonore, ou que les différences qualitatives en ce qui a trait au timbre valorisent leur usage dans le contexte de la musique chinoise.

29. Les résultats de plusieurs études en psychoacoustique sur la perception et la différenciation des timbres instrumentaux convergent vers cette affirmation. Voir, par exemple, Grey, 1977, p. 1274 ; McAdams *et al.*, 1995, p. 190 ; et Caclin *et al.*, 2005, p. 481.

30. À titre d'exemple, pour une fréquence du centroïde de 400 Hz et une fréquence fondamentale de 100 Hz, le rapport entre les deux sera de 4, ce qui équivaut à un rapport de deux octaves.

FIGURE 8 Tableau de comparaison des valeurs de centroïde pour les six notes les plus graves du *sheng* soprano moderne. Si l'on retire l'extension métallique des tuyaux, la valeur du centroïde monte pour les notes sol_3 , sol dièse₃, la_3 , et si_3 , alors qu'elle devient moins élevée pour la dièse₃ et do_4 .

Sheng soprano moderne				
Note	Extensions	Fo	Centroïde	Centroïde/Fo
sol_3	Avec	196,427425	696,254043	3,544586725
sol_3	Sans	196,537171	1119,77523	5,697523885
Différence de centroïde :			423,52118	
$sol\#_3$	Avec	207,971821	1066,5386	5,128284192
$sol\#_3$	Sans	208,956946	1147,2775	5,490497057
Différence de centroïde :			80,738895	
la_3	Avec	221,118429	1092,03186	4,938674094
la_3	Sans	221,885749	1235,9611	5,570259062
Différence de centroïde :			143,92925	
$la\#_3$	Avec	233,485561	1434,09412	6,142110535
$la\#_3$	Sans	234,36699	1243,74308	5,306818494
Différence de centroïde :			-190,35105	
si_3	Avec	247,32649	1053,02842	4,257645095
si_3	Sans	248,989924	1528,23235	6,137727694
Différence de centroïde :			475,20394	
do_4	Avec	262,230107	1397,52791	5,329395328
do_4	Sans	263,544672	1147,52928	4,354211631
Différence de centroïde :			-249,99863	
Moyenne du rapport centroïde/Fo (avec extension)				4,22714655
Moyenne du rapport centroïde/Fo (sans extension)				5,42617297
Moyenne des différences de centroïde avec et sans				113,840597

Cet article constitue un premier tour d’horizon permettant de se familiariser avec la sonorité et le timbre du *sheng* sous l’angle d’une sélection de mesures acoustiques et de leur interprétation dans le domaine de la perception. Des affirmations provenant de traités d’instrumentation ainsi que certaines intuitions d’experts du *sheng* ont pu être vérifiées ou nuancées, notamment par rapport aux qualités des registres et au rôle des extensions métalliques, qui tendent à équilibrer l’énergie entre les partiels pairs et impairs, mais qui affectent aussi la brillance et l’amplitude du son. Ces recherches préliminaires ont également pu définir la signature timbrale du *sheng* : un spectre harmonique très riche se distinguant par la force de ses premiers partiels pairs. Cependant, une multitude de nouvelles pistes d’exploration se sont dessinées, notamment au contact des musicien.ne.s de *sheng*.

De futurs travaux de recherche se pencheront sur les propriétés de l’attaque, sur la classification des techniques de jeu (traditionnelles et étendues) ainsi que sur les possibilités polyphoniques du *sheng*. L’orgue à bouche pourra aussi être comparé à d’autres instruments à vent. Le *sheng* est générateur de nombreux phénomènes acoustiques déjà passionnants à étudier, mais les interactions entre des éléments musicaux propres à la tradition chinoise et des manières de penser se rapportant à la musique contemporaine occidentale font de ces thématiques un champ de recherche en plein essor, tant pour les instrumentistes que pour les chercheur.e.s. Ces investigations se poursuivront parallèlement au développement d’outils computationnels adaptés à la musicologie mais relevant davantage de la *Music Information Retrieval*.

BIBLIOGRAPHIE

- American National Standard Association (1960), *American Standard Acoustical Terminology*, New York, American Standards Association.
- CACLIN, Anne, MCADAMS, Stephen, SMITH, Bennett K. et WINSBERG, Suzanne (2005), « Acoustic Correlates of Timbre Space Dimensions: A Confirmatory Study Using Synthetic Tones », *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 118, n° 1, p. 471-482.
- CAMACHO, Arturo et HARRIS, John Gregory (2008), « A Sawtooth Waveform Inspired Pitch Estimator for Speech and Music », *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 124, p. 1638-1652.
- COUPRIE, Pierre (2015), « Prolégomènes à la représentation analytique des musiques électroacoustiques », *Circuit, musiques contemporaines*, vol. 25, n° 1, p. 39-54.
- FERIA, Robert Jr. (s.d.), *Sheng 笙 (37’s discant), demonstration by Wu Wei*, document inédit fourni par Wu Wei.
- GAUTIER, Stéphane et MARGOLLÉ, Arnaud (2016), *Traitement du signal analogique : acoustique*, Paris, Vuibert.

- GREY, John M. (1977), « Multidimensional Perceptual Scaling of Musical Timbres », *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 61, n° 5, p. 1270-1277.
- KRUMHANSL, Carol L. (1989), « Why Is Musical Timbre So Hard to Understand? », in NIELZÉN, Sören et OLSSON, Olle, *Structure and Perception of Electroacoustic Sound and Music*, Amsterdam, Excerpta Medica, p. 43-53.
- LEIPP, Émile, VAN KHE, Tran et CHENG, Shui Cheng (1969), « Quelques instruments traditionnels chinois », *Bulletin du Groupe d'Acoustique Musicale (GAM)*, n° 44, p. 10.
- MCADAMS, Stephen, WINSBERG, Suzanne, DONNADIEU, Sophie, DE SOETE, Geert et KRIMPHOFF, Jochen (1995), « Perceptual Scaling of Synthesized Musical Timbres: Common Dimensions, Specificities, and Latent Subject Classes », *Psychological Research*, vol. 58, n° 3, p. 177-192.
- PARET, Dominique et SIBONY, Serge (2017), *Musical Techniques: Frequencies and Harmony*, Hoboken, Wiley.
- PEETERS, Geoffroy, GIORDANO, Bruno, SUSINI, Patrick, MISDARIUS, Nicolas et MCADAMS, Stephen (2011), « The Timbre Toolbox: Extracting Audio Descriptors from Musical Signals », *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 103, n° 5, p. 2902-2916.
- ROSSING, Thomas D. (1990), *The Science of Sound*, Boston, Addison-Wesley.
- WOLFE, Joe (s.d.), *Flute Acoustics*, <http://newt.phys.unsw.edu.au/music/flute/> (consulté le 7 août 2021).
- WONG, Samuel (2019), « Sheng », in WANG, Chenwei, WONG, Samuel et CHOW, Jun Yi (dir.), *The TENG Guide to the Chinese Orchestra*, Singapour, World Scientific Publishing, p. 136-141.