

# La clarinette et le clarinettiste : Influence du conduit vocal sur la production du son

Claudia Fritz

Au moins aussi ancienne que les observations de Pythagore sur les cordes oscillantes et la fondation mathématique de l'harmonie, la science de la musique est un des premiers exemples de science expérimentale et quantitative. C'est la science qui nous a légué la capacité d'expliquer et de prédire le comportement du monde et de l'univers. Aujourd'hui, nombreux sont les textes de physique qui expliquent en introduction les principes élémentaires d'un instrument à corde ou à vent. Par ailleurs, les théoriciens essaient d'expliquer la zoologie des particules dites fondamentales en fonction des cordes vibrantes dans une dizaine de dimensions. Quel héritage nous a laissé Pythagore !

Placer la musique sous le regard de la science n'est pas chose aisée : la production du son et ses maintes subtilités s'accordent difficilement avec les approximations de la physique. Ainsi la différence entre un hautbois et un saxophone reste encore difficilement explicable sans parler de la différence entre une clarinette dans la bouche d'un débutant et le même instrument chez un grand soliste.

Nous nous intéressons dans la suite à l'instrument d'étude par excellence de l'acoustique des instruments à vent, la clarinette, et en particulier à son contrôle par le musicien, jusqu'à récemment sous-évalué et sous-étudié dans la modélisation physique des instruments de musique. C'est pour cette raison que j'ai mené cette étude pluridisciplinaire en étroite collaboration avec de nombreux musiciens.

## 1 Problématique

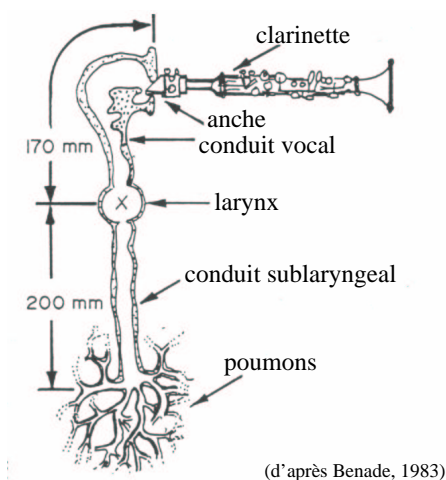


FIG. 1 – Clarinette et Clarinettiste

Les clarinettistes reconnaissent que leur conduit vocal fait partie intégrante de leurs moyens expressifs. En revanche, son utilisation réelle n'est pas très claire car tous les instrumentistes ne sont pas forcément capables de décrire précisément ce qu'ils font et pourquoi. D'autre part, les études scientifiques sont sujets à controverse : certains chercheurs (Mooney [9], Benade [3]) ont montré que le conduit vocal pouvait influencer sur la hauteur et le timbre de la note jouée, voire que les musiciens accordaient la fréquence de résonance de leur conduit vocal sur la note jouée (Johnson *et coll.* [7]), alors que d'autres (Backus [2]) ont en revanche réfuté cette théorie, considérant que la forte absorption des poumons inhibe la réflexion des ondes acoustiques dans le conduit respiratoire.

Cette thèse se donnait donc pour but de mettre fin à cette controverse mais souhaitait aussi apporter des éléments de réponse et d'explication aux clarinettistes à des fins pédagogiques. Enfin, la prise en compte du conduit vocal pouvait encore améliorer le réalisme de la synthèse sonore basée sur la description du comportement vibratoire des instruments (synthèse dite par modélisation physique).

## 2 Le système étudié : clarinette et clarinettiste

Le système qui nous intéresse ici n'est pas l'instrument seul comme dans la plupart des études sur les instruments de musique, mais la clarinette couplée au conduit respiratoire du musicien, qui constitue un second résonateur dans lequel peuvent se propager les ondes acoustiques.

Des clichés laryngoscopiques effectués au Japon par Mukai [10] ont montré que les musiciens de niveau professionnel fermaient quasiment complètement la glotte. Le résonateur qui nous intéresse vraiment est donc la partie supérieure du conduit respiratoire, soit le conduit vocal (CV), dont le musicien peut aisément contrôler la géométrie puisque c'est ce qu'il fait continuellement lorsqu'il parle.

Il faut maintenant comprendre comment s'effectue le couplage entre la clarinette et le CV, et comment le CV peut influencer la production de la note jouée.

## 3 L'impédance acoustique : une grandeur caractéristique pertinente

La réponse acoustique des résonateurs peut être caractérisée par leur impédance d'entrée. Le résonateur est excité en pression, par exemple à l'aide d'un haut-parleur, et l'on détermine sa réponse en mesurant le débit acoustique résultant. Le rapport entre la pression acoustique et le débit acoustique nous donne alors l'impédance. En pratique, il est très difficile de mesurer un débit acoustique de sorte qu'on utilise plutôt une source, préalablement calibrée, de débit acoustique (par exemple un haut parleur couplé à un fort atténuateur) et l'on mesure la pression acoustique grâce à un microphone.

Nous pouvons considérer en première approximation que le débit acoustique qui entre dans la clarinette est l'opposé de celui qui entre dans le CV de sorte que, sans pouvoir entrer ici dans les détails [4], les impédances de la clarinette et du résonateur s'additionnent dans les équations. C'est donc la somme de ces deux impédances qui nous intéresse. Celle de la clarinette est connue depuis longtemps (se référer par exemple à la banque de données disponible sur [13]) mais en revanche celle du conduit vocal des clarinettistes l'est beaucoup

moins puisque les trois tentatives précédentes de mesure [3, 6, 12] révèlent toutes des lacunes (mesures bruitées, phase non mesurée, ouverture glottique non contrôlée). Ceci nous a ainsi conduit à développer notre propre système de mesure de l'impédance du CV, à l'UNSW <sup>1</sup>.

## 4 Mesure de l'impédance du conduit vocal des clarinettes

Il est important de pouvoir effectuer la mesure sans déranger le musicien : en particulier, la tête de mesure (l'atténuateur et le microphone) doit tenir autant que possible dans un bec de clarinette afin que le musicien ne soit pas obligé d'ouvrir la bouche plus qu'en situation de jeu. Ceci réduirait en effet l'impédance puisqu'elle est inversement proportionnelle à la section.

Pour ne pas mesurer l'impédance du CV couplée à celle de la clarinette, il fallait boucher le bec de clarinette ce qui empêchait les musiciens de jouer. Cependant, un musicien professionnel développe une mémoire musculaire afin de pouvoir jouer une note juste et belle dès l'attaque, de sorte que le retour auditif n'est pas nécessaire. En revanche, le contrôle de l'ouverture glottale ne peut se faire sans souffler. Une petite fuite devait donc être ajoutée latéralement dans le bec pour permettre aux musiciens de souffler, avec un débit moyen à peu près identique à celui qu'ils produisent en mode de jeu typique sur une vraie clarinette. La reproductibilité s'est ainsi avérée très bonne.



FIG. 2 – Expérience réalisée sur L. Dobell, clarinette solo de l'Orchestre Symphonique de Sydney

Dix-sept clarinettes australiennes, de niveaux avancé et professionnel, participèrent à

---

<sup>1</sup>University of New South Wales, Sydney, Australie

l'expérience. Ils durent mimer les configurations du CV qu'ils utilisent en mode de jeu normal sur l'ensemble du registre ainsi que celles qu'ils utilisent pour des effets particuliers (*pitch bend*, c'est-à-dire un glissando vers le bas ; liaisons techniquement délicates ; ajustement en hauteur d'une note trop basse ou trop haute ...). La mise en place du protocole s'est faite grâce à l'aide de la concertiste et enseignante australienne D. de Graaff. Ils durent également remplir un questionnaire, agrémenté de schémas (un exemple est donné à la figure 3), sur leur utilisation du CV dans leur jeu.

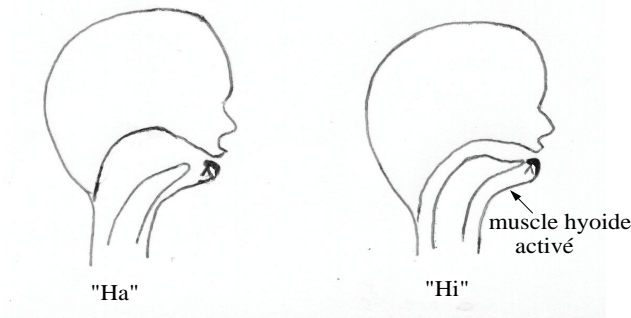


FIG. 3 – Deux configurations dessinées par D. de Graaff : une "mauvaise" à gauche, qu'elle évite donc d'utiliser, et une "bonne" à droite qu'elle enseigne à ses élèves.

Les résultats obtenus sont les suivants [5] :

- En mode de jeu normal, les musiciens gardent une configuration de CV à peu près identique sur l'ensemble du registre, à l'exception parfois du suraigu.
- Pour des effets particuliers, la configuration adoptée varie en revanche considérablement de celle du mode de jeu normal.
- Les configurations sont cependant très différentes d'un musicien à un autre même si les musiciens suivent tous les deux règles précédentes. Une conséquence pédagogique est donc qu'il ne semble pas y avoir de "règle d'or" quant à la configuration à adopter.
- Il n'y a pas de configuration de CV "inerte" puisque l'impédance du CV n'est en général pas négligeable devant celle de la clarinette sur l'ensemble du domaine fréquentiel (figure 4).

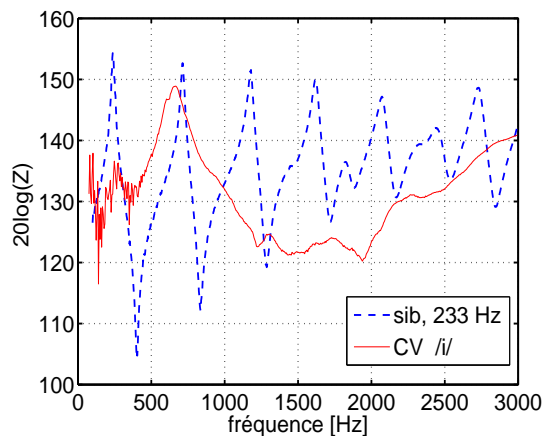


FIG. 4 – Module de l'impédance de la clarinette mesurée pour la note Sib 3 et celle du conduit vocal d'un musicien mesurée dans une configuration de type /i/ (langue en position haute dans la bouche, près du palais).

Une fois que, grâce aux mesures d'impédance acoustique, les configurations utilisées par les musiciens étaient mieux connues, il s'avérait intéressant d'étudier expérimentalement comment un changement de configuration pouvait influencer sur la fréquence de jeu et le timbre de la note jouée.

## 5 Expérimentation avec une bouche artificielle

Il s'avère impossible pour un musicien de modifier uniquement la géométrie du conduit vocal sans altérer l'embouchure (c'est à dire la forme de sa bouche au niveau du bec de la clarinette) puisque sa mâchoire va nécessairement bouger ce qui induit des conditions différentes sur l'anche (position et pression de la lèvre inférieure). Ceci implique des effets dominants sur le timbre et la hauteur, effets qui ont déjà été étudiés. Or nous souhaitons nous intéresser aux effets secondaires, résultant uniquement d'un changement de géométrie, ce qui nécessitait un dispositif artificiel permettant un contrôle indépendant des différents paramètres et une grande reproductibilité. Ce dispositif, conçu et réalisé à l'IRCAM<sup>2</sup> [11], est représenté à la figure 5.

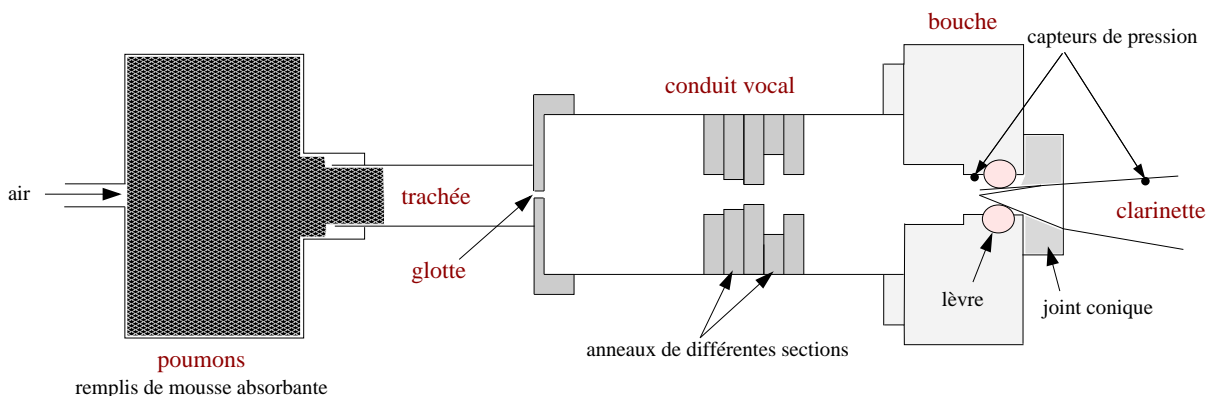


FIG. 5 – Dispositif expérimental.

Les lèvres sont des tubes de latex remplis d'eau, dont la pression est contrôlée grâce à une colonne d'eau. Le conduit vocal est un assemblage d'anneaux de différentes ouvertures, dans un cylindre d'une longueur de 17cm, permettant de moduler à loisir la géométrie. Les poumons sont simulés par un bidon en plastique rempli de mousse absorbante. La glotte a été choisie quasi fermée (fente rectangulaire de 3mm d'épaisseur, 1.5mm de largeur et 1cm de longueur).

Deux capteurs de pression, l'un placé dans le barillet (pièce reliant le bec de clarinette au reste de l'instrument), l'autre dans la bouche, permettent de mesurer la pression acoustique et un manomètre permet de lire directement la pression statique d'alimentation dans la bouche.

Le réglage de la bouche a été effectué par un concertiste et professeur suisse, P.A. Taillard, afin d'obtenir un son assez joli (et non tonitruant comme c'est souvent le cas avec un dispositif artificiel) dans toutes les nuances et sur tout le registre de la clarinette. Ainsi, le concerto pour clarinette de Mozart a pu être interprété, en première mondiale, sur bouche artificielle [1] !

<sup>2</sup>Institut de Recherche et de Coordination Acoustique Musique, Centre Pompidou, Paris.

Deux configurations “extrêmes” du CV ont principalement été étudiées : l’une correspondrait en parole à la voyelle /a/ (sachant que le musicien ne peut faire exactement cette voyelle puisqu’il a le bec de clarinette dans la bouche), c’est-à-dire avec une cavité buccale importante, l’autre correspondrait à une configuration de type /i/, soit avec une constriction palatale importante (la langue se rapproche du palais). Leur géométrie interne est représentée à la figure 6.

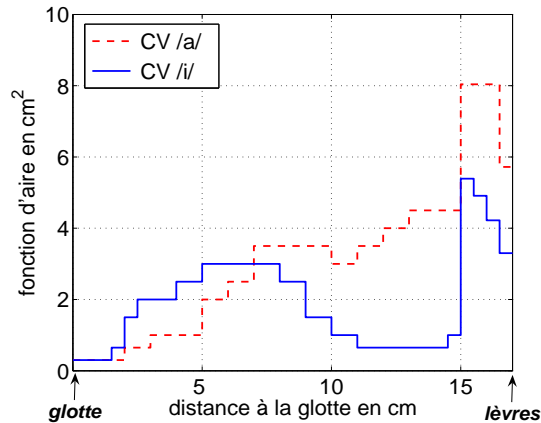


FIG. 6 – Evolution de la section du CV en fonction de la distance à la glotte pour les deux voyelles /a/ et /i/

La différence entre ces deux configurations s’est faite sentir à différents niveaux :

- En mode de jeu normal : l’émission semble être facilitée par la voyelle /a/ dans l’aigu et le suraigu, ainsi que le préconise le clarinettiste Marchi [8]. Par ailleurs, la fréquence de jeu est baissée avec une configuration /a/ par rapport à une configuration /i/ (figure 7) si l’ouverture buccale est bien plus grande dans le premier cas que dans le deuxième. Ceci est en accord avec l’opinion des clarinettistes et vient renforcer l’effet créé par la modification de l’embouchure qui s’ensuit chez les musiciens : lors du passage du /i/ au /a/, la mâchoire se relâche, la pression de la lèvre sur l’anche diminue et par conséquent le son baisse. Un effet sur le spectre a également été observé mais aucune règle simple de corrélation n’a été trouvée.
- En ce qui concerne des liaisons techniquement délicates, nous avons obtenu les phénomènes décrits par les musiciens français : la voyelle /a/ facilite les liaisons descendantes alors que le /i/ est préférable pour les liaisons ascendantes.
- Il semble que le bruit généré juste avant que la note ne soit réellement entendue dépende fortement de la configuration de CV utilisée ce qui présente un avantage pédagogique important : le débutant a ainsi un moyen d’ ”entendre” son conduit vocal et en cherchant à reproduire le bruit que génère son professeur, il peut arriver à trouver la configuration adéquate pour obtenir tel ou tel effet.

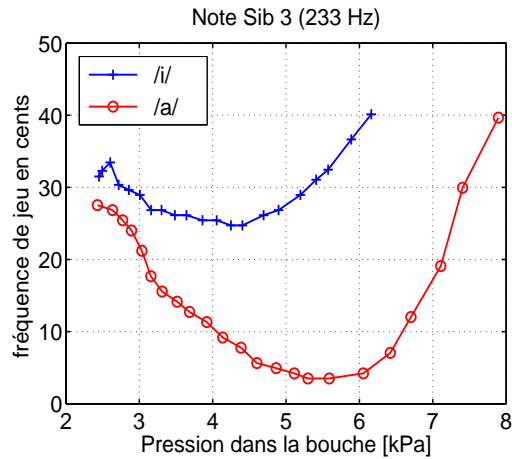


FIG. 7 – Fréquence de jeu mesurée pour la note Sib 3, lorsque la pression d’alimentation dans la bouche augmente, pour les deux configurations /i/ et /a/. Un cent correspond au centième d’un demi-ton et la plus petite différence de fréquence perceptible par notre oreille est de l’ordre de 4 cents.

## 6 En conclusion

Cette étude s’est révélée riche et passionnante en raison des nombreuses sensibilités qu’elle a sollicitées à travers, d’une part, une collaboration entre trois laboratoires et trois directeurs de thèse (R. Caussé à l’IRCAM, J. Wolfe à l’UNSW et J. Kergomard au LMA <sup>3</sup>), et d’autre part, par les nombreux contacts que j’ai noués en France et à l’étranger pour trouver, à chaque fois, les personnes les plus compétentes pour m’aider. Ces collaborations scientifiques se sont accompagnées d’un échange permanent avec de nombreux musiciens, australiens et européens, et le climat de travail global ainsi créé nous a offert des débouchés et des perspectives plus nombreux que prévus. Ainsi, l’interaction avec les musiciens a permis l’éclaircissement d’un certain nombre de problèmes ainsi que l’amorçage de nouvelles réflexions menant plus ou moins directement à des applications en pédagogie. Par ailleurs, cette étude a également soulevé des problèmes encore non résolus : l’impédance ne semble pas forcément la seule grandeur pertinente dans ce modèle et la circulation de l’air dans le conduit respiratoire (un sujet cher au musicien avec la notion de “soutien”) devrait, à l’avenir, être prise en compte. Le mystère est encore loin d’être éclairci... Le jeu du virtuose garde heureusement encore bien des secrets.

<sup>3</sup>Laboratoire de Mécanique et d’Acoustique, Marseille

## Références

- [1] Extrait du concerto pour clarinette de Mozart sur bouche artificielle. <http://www.phys.unsw.edu.au/~cfritz>.
- [2] J. Backus. The effect of the player's vocal tract on woodwind instrument tone. *J. Acoust. Soc. Am.*, 78(1), 1985.
- [3] A. Benade. Air column, reed and player's windway interaction in musical instruments. Dans *Vocal Fold Physiology* éd. par I.R. Titze and R.C. Scherer. The Denver Center for the Performing Arts, 1983.
- [4] C. Fritz. *La clarinette et le clarinettiste : Influence du conduit vocal sur la production du son*. Thèse de Doctorat, Université Paris 6, France / University of New South Wales, Sydney, Australia, 2004.
- [5] C. Fritz and J. Wolfe. Acoustic impedance measurement of the clarinet players' airway. Dans *7 ème Congrès Français d'Acoustique et 30 ème Congrès Allemand d'acoustique*, Strasbourg, France, 2004.
- [6] P. Hoekje. *Intercomponent energy exchange and upstream/downstream symmetry in nonlinear self-sustained oscillations of reed instruments*. Thèse de Doctorat, CaseWestern Reserve University, Cleveland, Ohio, 1986.
- [7] R. Johnston, P. Clinch, and G. Troup. The role of the vocal tract resonance in clarinet playing. *Acoustics Australia*, 14(3), 1986.
- [8] J. Marchi. *Etude des harmoniques et du suraigu de la clarinette*. Ed. Lemoine, Paris, 1994.
- [9] J. Mooney. *The effect of the oral cavity on the tone quality of the clarinet*. Thèse de Doctorat, Brigham Young University, 1968.
- [10] M.D. Susumu Mukai. Laryngeal movement while playing wind instruments. In *Proc. of the International Symposium on Musical Acoustics*, pages 239–242, Tokyo, Japan, 1992.
- [11] C. Vergez, C. Fritz, A. Almeida, R. Caussé, and A. Terrier. MIAM (Multi Instrument Artificial Mouth) : A contribution to the 40 years old story of artificially blown brass and reed instruments. *En préparation pour le J. Acoust. Soc. Am.*.
- [12] T. Wilson. *The measured upstream impedance for clarinet performance and its role in sound production*. Thèse de Doctorat, University of Washington, 1996.
- [13] J. Wolfe. Clarinet acoustics. <http://www.phys.unsw.edu.au/music/clarinet>.