



## Bulletin de la Sabix

Société des amis de la Bibliothèque et de l'Histoire de  
l'École polytechnique

32 | 2002

Les polytechniciens et la musique

---

# Franck Laloé X60, le musicien scientifique

Stéphane Afchain

---



### Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/sabix/392>

DOI : [10.4000/sabix.392](https://doi.org/10.4000/sabix.392)

ISSN : 2114-2130

### Éditeur

Société des amis de la bibliothèque et de l'histoire de l'École polytechnique (SABIX)

### Édition imprimée

Date de publication : 1 décembre 2002

Pagination : 35 - 42

ISBN : ISSN N° 2114-2130

ISSN : 0989-30-59

### Référence électronique

Stéphane Afchain, « Franck Laloé X60, le musicien scientifique », *Bulletin de la Sabix* [En ligne], 32 | 2002, mis en ligne le 06 janvier 2013, consulté le 17 septembre 2020. URL : <http://journals.openedition.org/sabix/392> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/sabix.392>

---

Ce document a été généré automatiquement le 17 septembre 2020.

© SABIX

---

# Franck Laloé X60, le musicien scientifique

Stéphane Afchain

---

- 1 *Franck Laloé (X 1960), directeur de recherche au laboratoire Kastler-Brossel de l'Ecole Normale Supérieure. Il est à la fois un chercheur très compétent et un clarinettiste enthousiaste. Parallèlement à ses recherches « officielles » en optique quantique, il a collaboré avec des chercheurs de l'IRCAM sur l'étude scientifique des instruments de musique, et de la clarinette en particulier.*
  - Dans quelles circonstances avez-vous commencé l'étude de la clarinette ?
- 2 J'ai débuté tardivement à l'âge de vingt ans. Je n'ai pas fréquenté d'école de musique ou de conservatoire : il s'agissait de leçons particulières données par un professeur qui, soit dit sans méchanceté aucune, n'avait pas la dimension d'un grand professeur de conservatoire. J'ai ainsi pu pratiquer la clarinette avec des amis musiciens à l'Ecole Polytechnique : j'ai quelques bons souvenirs de répétitions dans les caves de l'Ecole. Mais il n'y avait aucune prétention dans tout cela. Je me suis toujours considéré comme un musicien amateur. Je pratique également le piano, mais à un niveau franchement faible par rapport à celui de mon épouse que je qualifierais de très bonne amatrice. Et c'est pour moi un vrai bonheur que de pouvoir jouer avec elle le répertoire pour clarinette et piano ; je pense notamment aux deux sonates de Brahms par exemple.
  - Le fait d'être un amateur ne vous empêche pas de côtoyer des professionnels de la musique, à l'IRCAM notamment
- 3 Oui, mais il est bien évident que je ne me suis pas mis à fréquenter les gens de l'IRCAM grâce à mes compétences très restreintes de clarinettiste. En revanche, je peux dire que c'est par la physique, et non par la musique, que j'ai commencé à intervenir à l'IRCAM.
- 4 Au début, il s'agissait d'y donner un cours de physique à des étudiants de DEA. Ce cours n'était pas spécialement orienté vers l'acoustique, mais abordait néanmoins des thèmes susceptibles d'intéresser les gens travaillant à l'IRCAM, tels que les notions de mesure et de chaos. Je me suis progressivement rapproché des chercheurs, tout simplement parce que leur sujet de recherche m'intéressait : en tant que clarinettiste, il était naturel d'accorder une certaine attention à ceux qui cherchaient à mieux comprendre

les mécanismes physiques à l'œuvre dans le fonctionnement des instruments à vent. Certains d'entre eux réfléchissaient précisément sur la clarinette et sur les perfectionnements à y apporter. Finalement, je me suis mis à travailler avec eux, en tant que consultant extérieur. J'ai ainsi participé à l'élaboration d'un bec de clarinette de volume variable, actionné continûment à l'aide d'une pédale. Ce dispositif permet de varier la hauteur du son émis sur une amplitude d'un demi-ton. Concrètement, cela permet notamment de jouer des notes définies au quart de ton près sans recourir à des doigtés factices dont la justesse n'est qu'approximative.

• Quel bénéfice peut-on espérer tirer de l'approche scientifique des instruments de musique ?

- 5 Potentiellement, on peut attendre de grands progrès dans la facture instrumentale. Il est vrai que jusqu'à présent, les travaux menés à l'IRCAM n'ont pas débouché sur la conception d'un instrument révolutionnaire, dont les imperfections auraient été réduites au maximum par une méthode scientifique. En fait, si cette approche n'a pas encore donné les résultats qu'on pourrait en attendre, c'est parce qu'elle est encore trop difficile à mettre en œuvre ! Nos moyens de calculs sont encore trop limités pour pouvoir prendre en compte toute la subtilité des phénomènes physiques mis en jeu. Mais on peut néanmoins s'attendre à une évolution sensible dans les prochaines années : les ordinateurs disponibles actuellement commencent à se montrer capables de simuler toute la complexité des instruments de musique. Dans ce domaine, presque tout reste encore à faire et l'on peut parier que beaucoup de progrès vont être accomplis très prochainement.

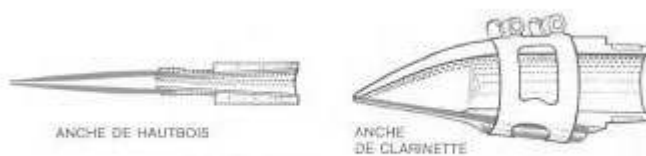
#### 1. La clarinette vue par Franck Laloé

- 6 Je voudrais simplement dans le texte qui suit donner une rapide présentation de la clarinette vue par un scientifique. Cette - approche n'est pas originale et les physiciens s'intéressent aux instruments de musique et à leur fonctionnement depuis déjà fort longtemps, mais il faut reconnaître que jusqu'à présent, les progrès significatifs accomplis dans la fabrication des instruments ont davantage été le fait des recherches empiriques des facteurs plutôt que des théories encore partielles des scientifiques. Cependant, il n'est pas interdit de penser que les choses vont évoluer, grâce à des avancées dans les domaines de l'informatique et de l'électronique notamment.
- 7 Examinons donc la clarinette tout particulièrement. Il s'agit d'un instrument à vent appartenant à la famille des « bois ». Cette dénomination qui se justifie par des raisons historiques évidentes ne fait plus aujourd'hui référence à un matériau de fabrication : la flûte et le saxophone, construits en métal, sont également des « bois ». En fait, « bois » désigne aujourd'hui tout instrument à vent dont le tube résonateur est muni de trous latéraux que l'instrumentiste peut boucher soit directement, soit par l'intermédiaire d'un système de clés. Ainsi, la puissance sonore peut être rayonnée à partir des trous laissés ouverts, ce qui est une distinction importante par rapport aux « cuivres » pour lesquels le son est intégralement projeté à partir du pavillon.
- 8 A l'intérieur de la famille des bois, la clarinette constitue un instrument très particulier. En effet, les musiciens ont l'habitude de dire dans leur jargon que la clarinette « quinte » (du verbe quintoyer) au lieu d'« octave » comme le hautbois ou la flûte par exemple. Lorsqu'un flûtiste bouche tous les trous de son instrument, il peut normalement obtenir une certaine note, en l'occurrence un do (sous la portée en clé de sol). Mais, toujours en bouchant tous les trous, il peut également émettre le do situé une octave au-dessus, simplement en soufflant de façon différente. Pourquoi une octave ? Tout simplement parce que cet intervalle musical correspond à un rapport de

fréquences privilégié. Si  $f$  est la fréquence du premier do ( $f$  vaut alors environ 261 hertz), celle du second do est  $2f$  et c'est précisément ce facteur 2 entre les deux fréquences que l'oreille humaine interprète comme une octave. En fait, un flûtiste peut également émettre, toujours avec le même doigté, les sons de fréquences  $3f$ ,  $4f$ ,  $5f$  ... Pour un physicien, la fréquence  $f$  la plus basse correspond à ce que l'on appelle le mode fondamental, et les fréquences  $2f$ ,  $3f$  ... aux deuxième, troisième ... modes. On comprend tout l'intérêt de ce phénomène pour les instruments de musique : on peut obtenir des notes plus aigües avec les mêmes doigtés, ce qui étend considérablement leur tessiture.

- 9 Avec la clarinette, une différence importante apparaît : les rapports de fréquence obtenues sur un seul doigté sont 1, 3, 5... mais en aucun cas un nombre pair. Ainsi, si la note fondamentale est un do sous la portée, la première note supérieure est un sol au-dessus de la portée, ce qui correspond à un intervalle de douzième, c'est-à-dire une octave plus une quinte. C'est cet intervalle de quinte qui est à l'origine du verbe quintoyer. Mais abordons maintenant le mécanisme de la production du son.
- 10 Tout d'abord, il faut bien se faire à l'idée que le matériau du corps d'un instrument à vent ne joue qu'un rôle marginal dans l'émission du son proprement dite. Dans le cas du violon par exemple, l'air ambiant est mis en vibration par la table et le fond ; pour un piano, c'est essentiellement la table d'harmonie qui communique ces vibrations. Mais le seul rôle du tube d'un instrument à vent est de contenir une colonne d'air qui vibre d'elle-même sans intermédiaire mécanique. Pour la clarinette, l'excitation de la colonne d'air est assurée par une anche, c'est-à-dire une languette flexible de roseau. Elle permet de transformer le souffle continu de l'instrumentiste en une série de « bouffées » d'air très rapprochées. On parle d'anche battante simple parce que la clarinette est munie d'un bec sur lequel est fixée une seule lame de roseau, au contraire du hautbois qui est muni d'une anche double, c'est-à-dire de deux anches montées en regard l'une de l'autre. On dit que l'anche de clarinette est battante car lorsqu'elle vibre, elle est susceptible de frapper l'extrémité du bec sur lequel elle est fixée (figure 1).

Fig. 1

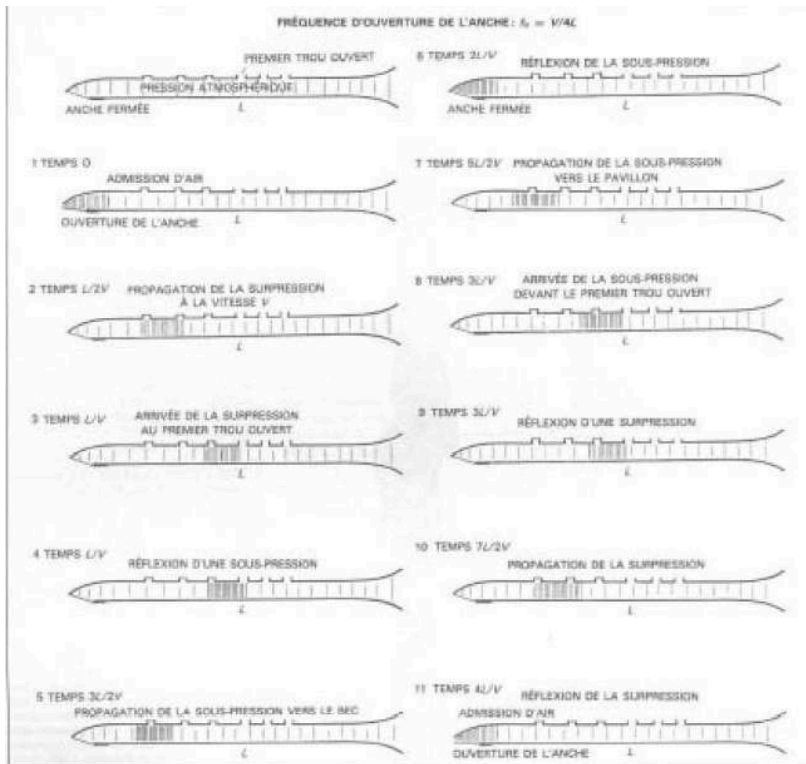


- 11 Le mouvement d'oscillation de l'anche dépend non seulement des caractéristiques propres de celle-ci (flexibilité, inertie), mais aussi du tuyau sonore de la clarinette et en particulier du premier trou ouvert. Ceci peut sembler étonnant à première vue : comment un trou ouvert à une extrémité de l'instrument peut-il influencer sur l'oscillation de l'anche située à l'autre extrémité ? C'est ce que je vais tenter d'expliquer maintenant.
- 12 Initialement, dès que l'instrumentiste commence à souffler (ou, en pratique, lâche l'anche qu'il avait bloquée contre le bec avec sa langue), l'air pénètre dans le tube résonateur et crée une augmentation de la pression. La bouffée de surpression se propage dans le tube sonore vers son extrémité, un peu comme une vague dans un

canal ; cette onde de pression s'accompagne d'un déplacement de l'air, ce dernier étant soumis à une force dans la direction qui va des surpressions vers les sous-pressions. Dans un tuyau cylindrique, l'onde se déplace à une vitesse constante, celle du son, sans déformation notable, jusqu'au moment où elle rencontre le premier trou latéral ouvert. Par ce trou, poussée par la surpression, s'échappe alors une certaine quantité d'air qui, entraîné par son inertie vers l'extérieur, crée une dépression dans le tuyau sonore. C'est maintenant cette dépression qui remonte le tuyau vers le bec : l'onde s'est réfléchi sur le trou latéral ouvert, avec changement de signe de la pression. Lorsque cette dépression arrive sur l'anche, cette dernière, que la pression extérieure tendait déjà à refermer, s'applique sur le bec encore plus fortement puisque la pression interne est plus faible. La dépression se réfléchit alors sur l'extrémité du tuyau fermée par l'anche, mais cette fois sans changement de signe, puisque l'air ne peut s'échapper vers l'extérieur. Nous nous retrouvons donc dans une situation proche de la situation initiale, à cette différence près que c'est maintenant une dépression qui se propage. Arrivée au trou latéral ouvert, l'onde se réfléchit pour la troisième fois, encore avec changement de signe, comme précédemment. C'est donc cette fois une surpression qui remonte vers l'anche : lorsqu'elle l'atteint, elle pousse l'anche vers l'extérieur et l'ouvre, permettant ainsi à une nouvelle bouffée d'air de pénétrer dans le tuyau sonore. Le cycle est alors complet : cette nouvelle bouffée ajoute son effet à celui de la première et renforce l'onde correspondante, entretenant ainsi une oscillation permanente.

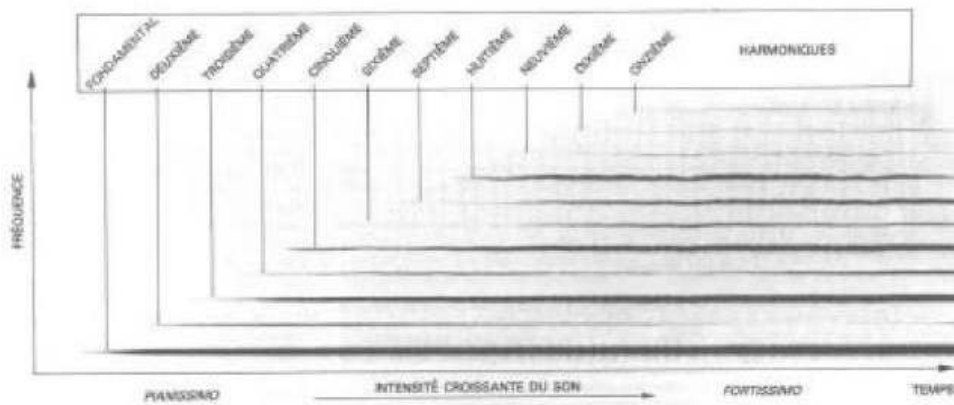
- 13 Evidemment, ce cycle un peu long à décrire et résumé sur la figure 2 ne prend que très peu de temps dans la réalité. Pour être précis, sa durée vaut quatre fois le temps nécessaire à l'onde sonore pour parcourir la longueur du tuyau. Elle est bien entendue trop petite pour que l'instrumentiste puisse la percevoir, de l'ordre de quelques millisecondes. La fréquence du son ainsi généré est alors égale à l'inverse de cette durée (c'est-à-dire le nombre de cycles par seconde). Pour une clarinette en si bémol ordinaire, la fréquence du son le plus grave vaut environ 147 hertz. Mais la description idéalisée précédente n'a pas pris en compte les pertes d'énergie sonore. Celles-ci nuisent a priori au fonctionnement optimal de l'instrument puisqu'elles défavorisent l'entretien des oscillations. En fait, elles sont absolument essentielles, puisque ce sont précisément elles qui permettent de produire un son audible, ce qui est tout de même la raison d'être d'un instrument de musique ! Ces pertes sonores ont lieu essentiellement au niveau du premier trou latéral ouvert, et elles sont relativement faibles, de l'ordre d'un pour cent de l'énergie totale mise en jeu. Il est plutôt étrange de réaliser que l'intensité sonore « utile » représente une part aussi faible de l'intensité produite au cœur du tuyau sonore. Cela signifie que si l'on pouvait mettre son oreille à l'intérieur d'une clarinette en fonctionnement, on percevrait un son assourdissant, totalement insupportable, comparable en intensité à celui d'un avion à réaction au décollage !

Fig. 2



- 14 L'analyse harmonique du son produit par une clarinette présente aussi de notables complications par rapport à ce que prédit la théorie simple précédente. On a vu que son spectre ne devrait comporter que des harmoniques impairs, mais on y détecte en fait également la présence d'harmoniques pairs. Ceci s'explique simplement par le fait que l'approche précédente suppose implicitement que des fréquences différentes correspondent à des oscillations indépendantes. Dans le langage des physiciens, on dit qu'il s'agit d'une théorie « linéaire ». Une telle approche est souvent utile et justifiée en première approximation, mais elle est clairement insuffisante pour rendre compte de toute la complexité de la réalité. En fait, il est nécessaire pour aller plus loin de prendre en compte les phénomènes « non-linéaires ». Par exemple, ceux-ci peuvent se manifester lorsque l'amplitude des oscillations de l'anche devient assez importante pour permettre à celle-ci de frapper le bord du bec (d'être « battante »). Alors peuvent prendre naissance des oscillations dont les fréquences ne sont pas égales aux fréquences de résonance du tuyau sonore. Ceci explique pourquoi les effets non-linéaires se manifestent de façon variable selon la nuance musicale utilisée ; dans la nuance piano, ils sont très faibles, mais ils prennent une importance non négligeable dès que la nuance devient plus importante, comme l'illustre le sonogramme de la figure 3.

Fig. 3



- 15 Comme on l'imagine aisément, la modélisation des non-linéarités est complexe, à tel point qu'il y a seulement dix ans, même des ordinateurs puissants étaient incapables de les prendre en compte. Mais actuellement, on commence à disposer de simulations numériques satisfaisantes du mouvement de l'anche, comme l'illustrent les travaux récents de J. Kergomard. Parallèlement, la compréhension des phénomènes non-linéaires a beaucoup progressé, et les théories dont on dispose aujourd'hui sont bien meilleures que celles d'il y a vingt ans. Enfin, il faut également mentionner que les avancées en électronique ont également permis de procéder à des mesures de plus en plus précises, voire impossibles auparavant. Tout ceci donne à penser que la clarinette est un instrument qui va poursuivre son évolution. Il est bien clair que la clarinette moderne est très différente de celle qu'a connue Mozart. Mais il reste encore à corriger un certain nombre de défauts congénitaux, tels que la justesse des notes les plus graves systématiquement trop basses, ou le timbre médiocre des notes du registre médian. Certes, le talent des clarinettistes confirmés permet de rendre tous ces défauts minimes pour l'auditeur, mais il est clair que ce serait un progrès considérable si on pouvait les faire totalement disparaître. En ce sens, l'approche scientifique semble prendre une part croissante par rapport à la démarche empirique dans la recherche. A quoi ressemblera la clarinette du futur ? Seul l'avenir nous le dira.

Lionel Stoleru



Prêt de l'artiste

---

AUTEUR

STÉPHANE AFCHAIN

X97