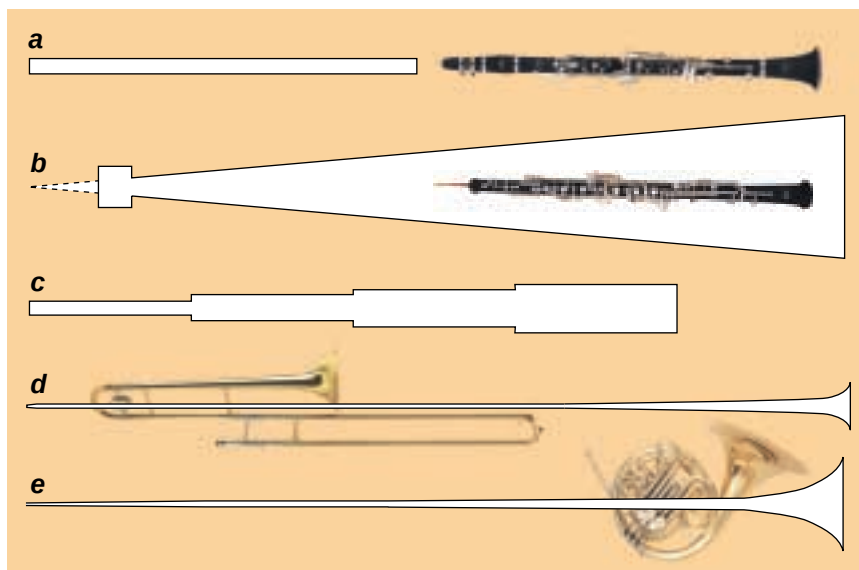




5. DIFFÉRENTES FORMES de résonateur possèdent des fréquences de résonance harmoniques lorsqu'ils sont fermés à une extrémité (cas de tous les instruments à vent excepté les flûtes). Le cylindre (a, *clarinette*) et le cône (b, *hautbois*) sont les seuls utilisés dans la pratique pour les instruments à anche. Pour conserver cette propriété lorsque l'on tronque le cône afin d'y placer une embouchure, celle-ci doit être de volume équivalent à la troncation. Si les facteurs acceptaient de recourir à des discontinuités de section, ils pourraient fabriquer des instruments de forme intermédiaire, en enchaînant des cylindres de même longueur (c). Pour les cuivres, (d, *trombone* et e, *cor*), le musicien contrôle mieux la note émise : l'utilisation d'assemblages de cônes et de cylindres, dans des longueurs de rapport variable est alors possible.

seconde résonance étant trop basse de six pour cent (un demi-ton). Dans les instruments réels, les fréquences de résonance, excepté la première, trop basse, sont effectivement dans une série harmonique, la seconde étant en général aussi trop basse, mais dans une moindre mesure.

Cette inharmonicité de la première fréquence de résonance est toutefois compensée par les instrumentistes : les notes du registre le plus grave ne coïncident pas avec des fréquences de résonance du tuyau, mais avec la fondamentale de la série harmonique des résonances d'ordre supérieur. Bouasse avait observé ces régimes d'oscillation particuliers et remarqué qu'en remplaçant l'embouchure de trombone par un bec de saxophone ténor de volume identique, la note la plus grave était une quinte plus grave et correspondait au contraire à la première fréquence de résonance du tuyau.

Ce phénomène se retrouve dans le cas du basson : dans le spectre des notes graves, l'énergie acoustique à la fréquence fondamentale est très faible, ce qui n'empêche pas l'oscillation d'être produite à cette fréquence, par combinaison des harmoniques aigus du spectre où l'énergie est surtout présente.

Mieux encore, un bassoniste suisse, N. Rihs, a récemment obtenu,

en soufflant d'une façon particulière et en modifiant légèrement l'anche, une note fondamentale à l'octave au-dessous de la note la plus grave obtenue normalement pour un doigté donné. La fréquence fondamentale de cette note ne correspond à aucune fréquence de résonance de l'instrument, qui devrait, pour cela, être deux fois plus long.

Ce bassoniste a ainsi retrouvé expérimentalement un résultat théorique obtenu en 1983 par M. McIntyre et J. Woodhouse, de l'Université de Cambridge, et R. Schumacher, de l'Université Carnegie-Mellon. Ils avaient modélisé de façon simplifiée l'instrumentiste et l'instrument, en couplant deux équations dont l'une correspondait à un exciteur (l'instrumentiste et l'embouchure) et l'autre à un oscillateur (le tube sonore). Ils se plaçaient ainsi dans le domaine plus général de la physique des oscillateurs non linéaires. En choisissant bien les valeurs des paramètres (dont les équivalents physiques seraient la pression d'alimentation, la raideur de l'anche et l'ouverture entre l'anche et la table du bec) et les conditions initiales, ils obtenaient, par simulation, une cascade «sous-harmonique», c'est-à-dire des notes de fréquences moitié, quart, de la fréquence fondamentale.

L'inharmonicité créatrice

L'inharmonicité des fréquences de résonance, dont nous avons vu qu'elle est souvent préjudiciable au jeu musical, est néanmoins recherchée dans quelques cas. Ainsi, les positions possibles des lèvres sur l'anche de la clarinette ou du saxophone sont peu nombreuses, et l'émission des régimes d'ordre supérieur ou égal à deux est difficile : sur un instrument baroque, on ne peut pas passer continûment d'une note à son octave, sans attaquer celle-ci. Les instruments à anche «modernes» sont pourvus d'une clé de registre, avec laquelle on découvre un trou de faible diamètre (de l'ordre du millimètre), placé de manière que seule la première résonance soit décalée et que l'impédance acoustique y soit fortement diminuée, sans modification pour la seconde résonance. Cette inharmonicité apportée entre les deux premières fréquences de résonance rend l'émission du premier régime quasi impossible au profit du second, et apporte un confort appréciable à l'instrumentiste.

L'inharmonicité est aussi une source de création musicale. Pour le saxophone ou le hautbois, de perce conique, lorsque le volume du bec est très différent du volume de la troncation du cône, la forte inharmonicité des résonances rend difficile l'émission des notes graves et peut provoquer l'émission de régimes d'oscillation quasi périodiques. Le spectre de fréquences de ces oscillations quasi périodiques est un spectre de raies pour lequel les fréquences sont des combinaisons linéaires des deux premières fréquences de résonance du doigté utilisé. Nous avons obtenu de tels régimes pour de fortes inharmonicités avec le saxophone modifié : la fréquence des roulements est la différence entre la seconde fréquence de résonance et le double de la première. De telles émissions «multiphoniques» sont aussi favorisées par certains doigtés. Ce nouveau mode de jeu polyphonique, que les facteurs d'instruments classiques tentent d'éviter, a ouvert un champ d'investigations pour la musique contemporaine et la musique improvisée.

La compréhension et la modélisation du fonctionnement des instruments de musique à vent sont donc à la fois source d'amélioration pour les instruments et d'évolution pour la musique. La facture instrumentale bénéficie ainsi de nos travaux : le logiciel «Resonans» que nous avons mis au point est aujourd'hui

d'hui couramment utilisé par plusieurs facteurs pour prévoir la place et la dimension des trous. Nous avons aussi, en réalisant des calculs *a priori*, proposé des innovations que les facteurs n'auraient jamais imaginées : des tubes placés près de l'embouchure d'une flûte ou d'une clarinette permettent de jouer des quarts de tons, fréquents en musique contemporaine, sans doubler le nombre de trous.

Les calculs qui ont produit ces résultats ne prennent toutefois en compte que l'instrument seul, sans l'instrumentiste, et leur capacité prédictive ne concerne que la justesse des notes. En simulant les oscillations elles-mêmes, nous commençons à prévoir aussi la «qualité» des notes en termes de timbre et de facilité d'émission.

Au-delà, la compréhension du fonctionnement des instruments conduit vers une nouvelle synthèse musicale : on ne simule plus le son, mais la source du son. Les synthétiseurs sont commandés par des capteurs artificiels, donc par un véritable instrumentiste, ce qui produit des sons musicalement réalistes, c'est-à-dire évoluant avec des causes perçues comme «physiques». Là, ils se rapprochent du musicien, qui peut intervenir finement sur son instrument et réagir immédiatement sur le résultat obtenu. C'est cette interactivité et les micro-variations de justesse, de timbre, de phrasé qui permettent d'exprimer les émotions les plus subtiles.

Jean Pierre DALMONT maître de conférence, Joël GILBERT, chargé de recherche, et Jean KERGOMARD, directeur de recherche, travaillent au Laboratoire d'acoustique (UMR CNRS 6613) de l'Institut d'acoustique et de mécanique de l'Université du Maine, au Mans.

Les instruments de l'orchestre, Pour la Science, 1995.

H. BOUASSE, *Instruments à vent*, Librairie Delagrave, Paris, 1986.

N.H. FLETCHER et T.D. ROSSING, *The Physics of Musical Instruments*, Springer Verlag, New York, 1990.

Mechanics of Musical Instruments, sous la direction de A. Hirschberg, J. Kergomard et G. Weinreich, CISM Courses and Lectures No.355, International Center for Mechanical Sciences, Springer-Verlag, Vienne-New York, 1996.

C. NEDERVEEN, *Acoustical Aspects of Woodwind Instruments*, Northern Illinois University Press, De Kalb, Illinois, 1997.



Pour la recherche française, l'Amazonie n'est ni une terre inconnue, ni une mode passagère : la coopération scientifique franco-brésilienne s'est déployée en Amazonie depuis le début des années 80, et a obtenu des résultats significatifs, tant pour la connaissance de l'environnement que sur le type de développement - ou de non-développement - qui s'y produit.

Pour contribuer au «programme-pilote de préservation des forêts tropicales du Brésil», la France a choisi de favoriser le renforcement du partenariat ancien et précieux qui s'est progressivement construit entre sa recherche et la recherche brésilienne. Ce livre tire les premiers enseignements de l'effort spécial de coopération qui a été mené dans ce cadre.

code 1532 - 208 pages

Prix : 130F

Voir bon de commande p. 98

