

E . L E I P P

LES SONS NOUVEAUX

AVEC INSTRUMENTS DE MUSIQUE MÉCANIQUES

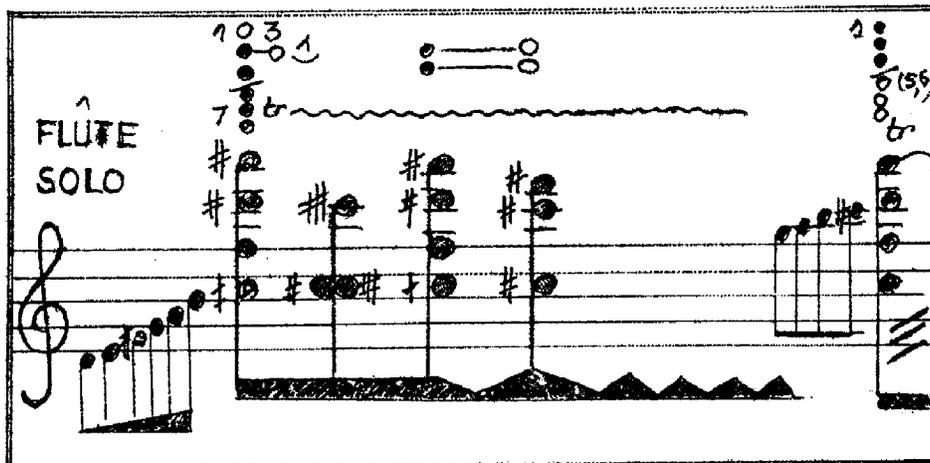
M . C A S T E L L E N G O

SONS MULTIPLES NON HARMONIQUES

SUR LES TUYAUX A EMBOUCHURE DE FLUTE

Juin 1974

N° 74



G A M

BULLETIN DU GROUPE d'ACOUSTIQUE MUSICALE
UNIVERSITÉ PARIS VI TOUR 66 4 PLACE JUSSIEU - PARIS 5^e

SONS MULTIPLES NON HARMONIQUES SUR LES TUYAUX
A EMBDOUCHURE DE FLUTE

I - INTRODUCTION

Pour un musicien occidental de tradition classique, la flûte est cet instrument incomparablement mélodieux, de sonorité pure, douce... Dans le traité d'orchestration de Ch. KOECHLIN on relève les phrases suivantes : " Instrument au son tour à tour plein, doux, lumineux, incisif ; il plane sur l'orchestre ... Son timbre cristallin, fluide et pur évoque selon le mode et l'allure de la phrase, la clarté lunaire ou l'éclat du soleil " puis plus loin " sonorité transparente, cristalline, translucide, immatérielle etc... "

Pendant plusieurs siècles effectivement, la technique de jeu, la facture instrumentale, tout l'enseignement pédagogique ont contribué à donner à cet instrument la personnalité qualifiée plus haut par KOECHLIN. Les recherches allaient dans le sens d'une esthétique donnée, prônant le son pur de hauteur bien définie, c'est-à-dire sans bruit de souffle ou autre son parasite, et recherchant la réalisation d'un timbre bien homogène sur toute l'étendue de l'instrument.

Pourtant la flûte permet bien des effets; il suffit d'écouter tel musicien roumain rythmant de son souffle la mélodie qu'il joue tout en chantant dans l'instrument, ou tel Chinois roulant des " flatterzunge " dans son instrument muni d'un mirilton, ou encore tel joueur de gasba tunisienne mêlant le souffle, les chuintements, le chant, les sons doubles et produisant de véritables explosions avec son instrument.

Parmi ces effets, la possibilité d'émettre plusieurs sons à la fois attire tout particulièrement les musiciens contemporains. Depuis l'ouvrage de BARTOLOZZI " New sounds for woodwind instruments " Oxford University Press - 1967 qui établit une sorte d'inventaire des sons multiples à la flûte, la clarinette, le hautbois et le basson, de nombreux compositeurs les ont utilisés dans leurs oeuvres et le fait semble maintenant musicalement " naturel ".

Il n'en va pas de même si l'on se propose de donner une explication acoustique au phénomène.

Depuis D. BERNOULLI (Bib. 2) qui le premier énonça les lois des fréquences des tuyaux, les instruments à vent sont généralement considérés comme des générateurs de son, strictement monodiques, c'est-à-dire, ne pouvant émettre qu'un son à la fois, plus ou moins riche en harmoniques.

Pourtant BOUASSE, affirme à plusieurs reprises dans ses ouvrages :

" Il semble naturel de poser que l'écoulement d'une lame d'air est périodique. Or les tuyaux à cheminée donnent des accords manifestement faux " Instruments à vent T.I. § 101.

" Des partiels non harmoniques peuvent être émis simultanément; bien que due à une lame d'air unique, l'excitation n'est manifestement pas périodique " Tuyaux et résonateurs § 60.

" Il faut admettre la coexistence d'ondes de fréquences quelconques dans un tuyau excité par une lame d'air " Instruments à vent T. II § 43.

Ces constatations allaient à l'encontre des idées généralement admises sur le fonctionnement des tuyaux. Pourtant nous allons voir que la polyphonie des tuyaux à embouchure de flûte est inhérente au fonctionnement normal du tuyau et ne demande que des conditions particulières d'entretien pour se manifester avec évidence.

Nous allons tout d'abord rappeler brièvement le fonctionnement d'un tuyau à embouchure de flûte.

II - RAPPEL DU FONCTIONNEMENT D'UN TUYAU A EMBOUCHURE DE FLUTE.

a) Sons de bouche

Le système lame-d'air-biseau que constitue la bouche est un générateur de sons remarquable.

Coupons une flûte à bec à ras du biseau et soufflons doucement dans l'embouchure (fig.1). On entend un sifflement léger dont la hauteur croît rapidement avec le souffle, et subit aussi des sauts brusques à des fréquences plus graves ou plus aiguës.

Une analyse spectrographique du son ainsi obtenu montre qu'il comporte un certain nombre de composantes non harmoniques, et du bruit de souffle en quantité variable selon la construction de la bouche. En première approximation, la fréquence N est donnée par la relation : $N = i k p$, i étant un nombre entier, et p la pression. La bouche peut donc fonctionner selon divers régimes qui peuvent d'ailleurs coexister. Dès l'excitation, le tuyau à embouchure de flûte est susceptible de polyphonie.

b) Régime buccal

Quand on associe la bouche à un résonateur, on entend des sons de hauteur bien définie, correspondant aux partiels du résonateur. Par pression croissante on n'obtient plus une montée régulière du son de bouche, mais des sons isolés sautant de façon apparemment fantaisiste. On obtient cet effet sur la flûte traversière, en soufflant très faiblement, lèvres relâchées (fig.2).

Les sons ainsi obtenus sont faibles, instables, et changent rapidement pour de faibles variations de pression. Voyons maintenant le mode normal de fonctionnement d'un tuyau à embouchure de flûte.

c) Régime normal

Nous savons que le tuyau possède aussi plusieurs régimes vibratoires possibles correspondant à autant de distributions différentes des noeuds et des ventres de vibrations de l'onde stationnaire supposée établie dans le tuyau.

Pour chaque mode vibratoire le tuyau peut émettre un son partiel possédant un certain nombre d'harmoniques. Dans la théorie élémentaire des tuyaux cylindriques ouverts aux deux bouts les intervalles entre les partiels successifs sont, l'octave, la quinte, la quarte, la tierce majeure etc...

On passe généralement d'un partiel à l'autre en forçant le souffle; sur la flûte traversière, on peut également régler l'orientation du jet.

Chaque partiel est stable dans une zone donnée de pression, mais dont les

...../

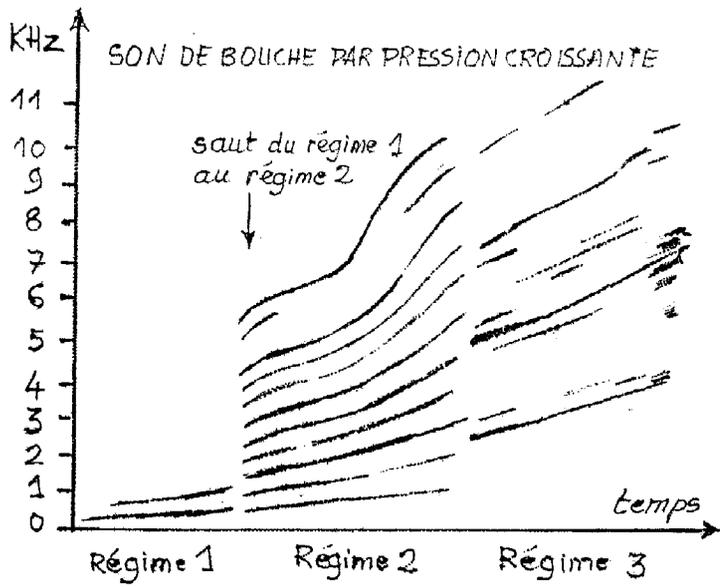


figure 1

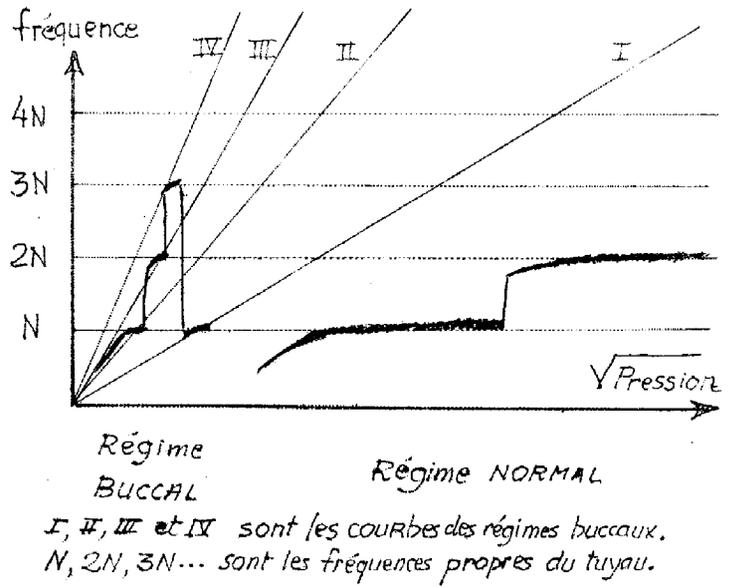


figure 2

fig. 3

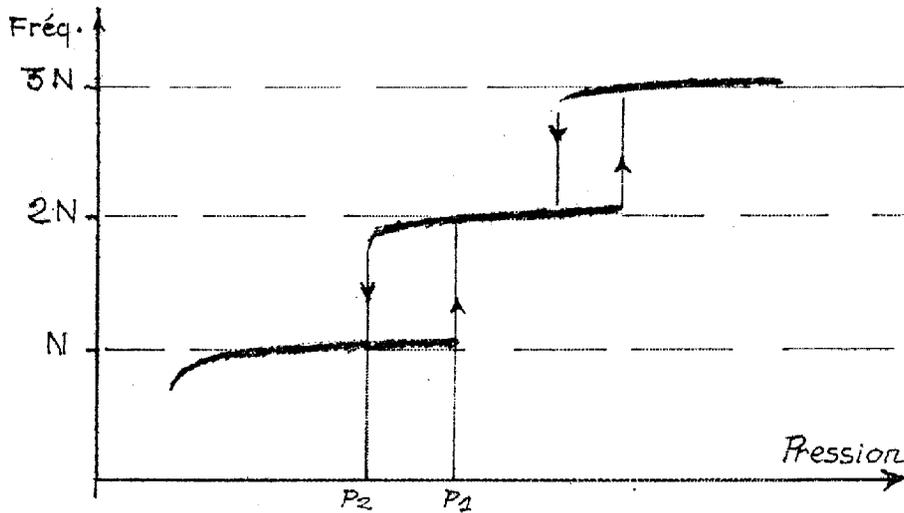
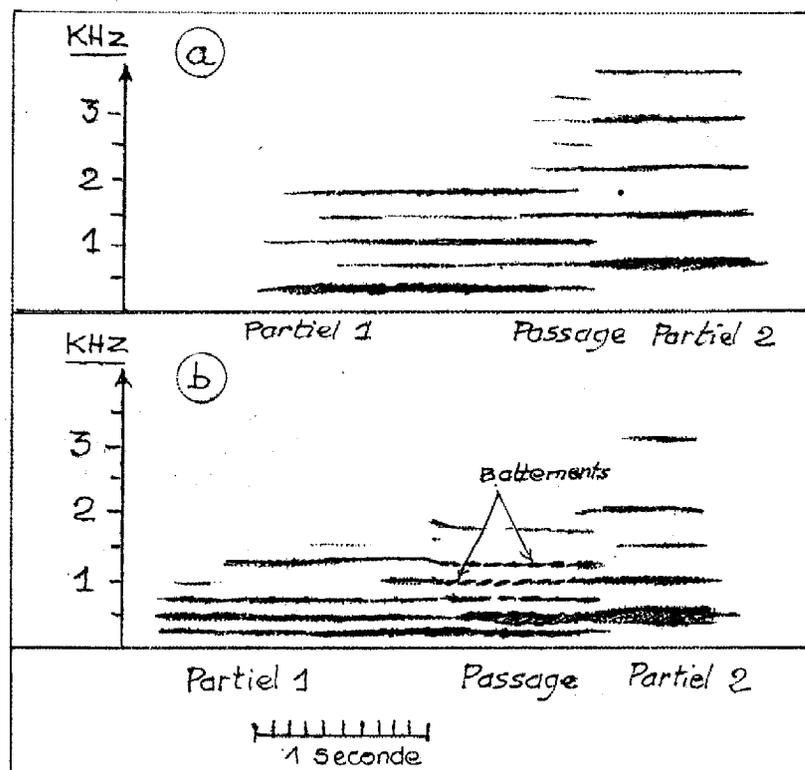


fig. 4



frontières sont assez floues. Prenons un exemple (fig. 3).

Jouons le partiel 1 d'une flûte à bec, en augmentant graduellement la pression. La fréquence monte peu à peu, puis pour une valeur p_1 de la pression saute au partiel 2. Maintenant diminuons à nouveau la pression; la fréquence du partiel 2 baisse, puis brusquement le partiel 1 réapparaît, pour une pression p_2 inférieure à p_1 .

Il existe donc une zone p_1, p_2 de pression, dans laquelle le partiel 1 ou le partiel 2 ont autant de chances de se produire, isolément ou simultanément. D'ailleurs le passage d'un partiel à l'autre n'est pas toujours très franc, surtout si la pression varie très lentement.

Quand le partiel 2 est quasiment à l'octave du premier, le passage est insensible. Par suite de l'accommodation des deux partiels l'un sur l'autre il se produit une fusion d'où peu à peu se dégage le partiel 2. On lit très clairement le phénomène sur la figure 4a.

Si pour des raisons de construction du tuyau l'intervalle entre les deux premiers partiels s'écarte notablement de l'octave, il peut se produire des battements qui sont bien la preuve que les deux partiels coexistent ! (fig. 4b). Le tuyau devient polyphonique; il fonctionne selon deux régimes simultanés non harmoniques.

Pour exploiter ce phénomène en musique il faut faire en sorte qu'il soit bien stable, facile à produire à coup sûr. Au départ, nous devons disposer de partiels non harmoniques. Nous avons pour cela deux possibilités :

- soit donner au tuyau une géométrie particulière (raccordement de divers cônes, discontinuités de section)
- soit percer des trous latéraux.

Le premier cas est celui des tuyaux d'orgue à cheminée dont BOUASSE fait une étude détaillée (Bib. 4 p. 320 à 358). Précisons toutefois que la polyphonie des tuyaux à cheminée ne se produit que pour certaines proportions de la cheminée et un réglage donné de la bouche. Elle n'est pas utilisée dans la pratique normale des facteurs d'orgue.

Le deuxième cas est celui de toutes les flûtes. Certaines combinent même les deux cas, comme la flûte à bec dont la perce est de conicité variable.

Nous allons examiner plus en détail ce qui se produit lorsqu'on perce un trou latéral dans un tuyau.

III - TUYAU PERCE D'UN TROU LATÉRAL.

Lorsque le trou est fermé le tuyau vibre sur toute sa longueur AB (fig.5). Ouvrons le trou T. La théorie élémentaire nous apprend que la partie vibrante se réduit à BT, ce qui explique que la fréquence fondamentale du tuyau soit plus aiguë.

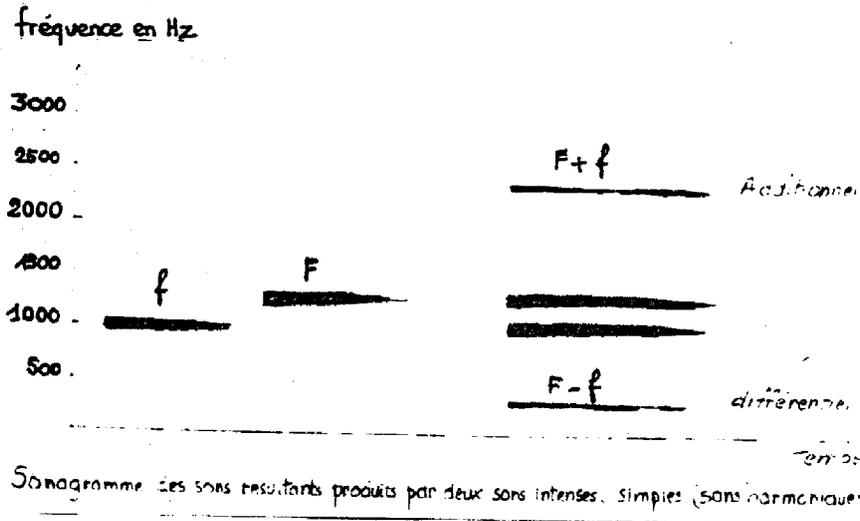
En fait, le trou, surtout s'il est de petites dimensions, n'annule pas complètement la vibration du tuyau dans son ensemble, c'est-à-dire que le son correspondant au tuyau AB sans trou, continue à subsister. On le perçoit d'ailleurs souvent assez nettement comme un son chuchoté.

De même, la portion AT de tuyau située au delà du trou n'est pas inerte et peut, pour certaines positions du trou, vibrer de façon autonome.

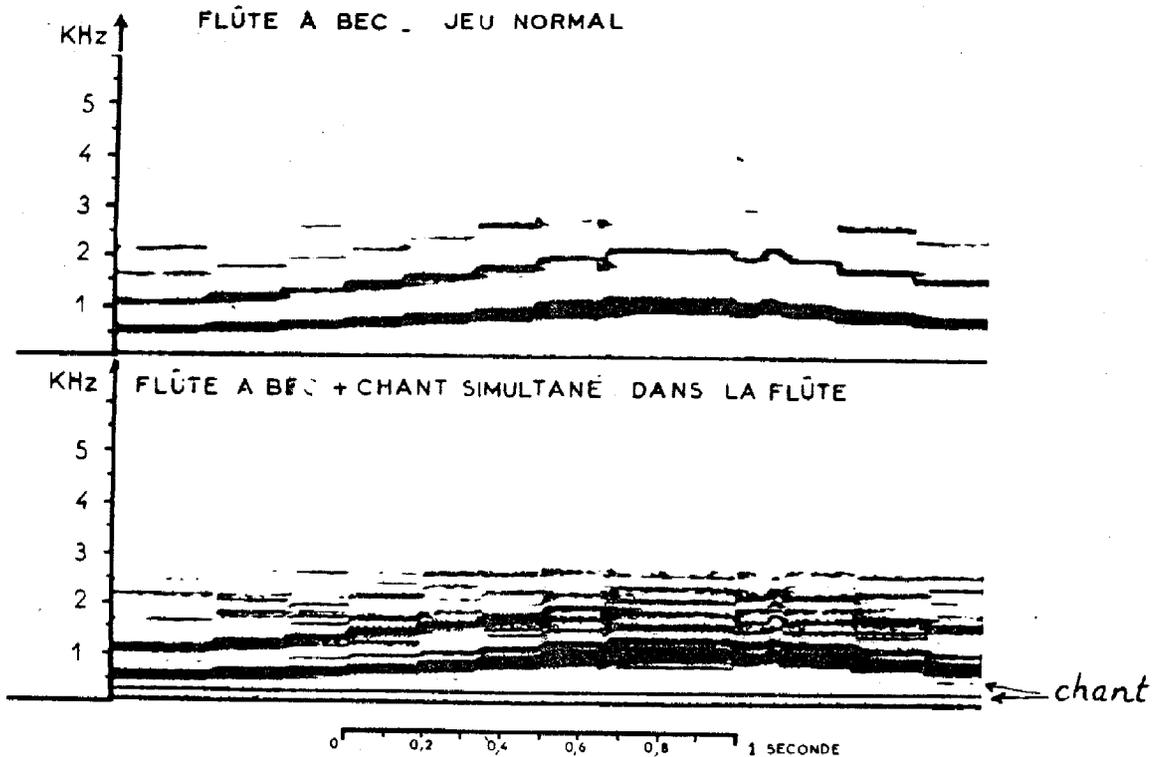
5



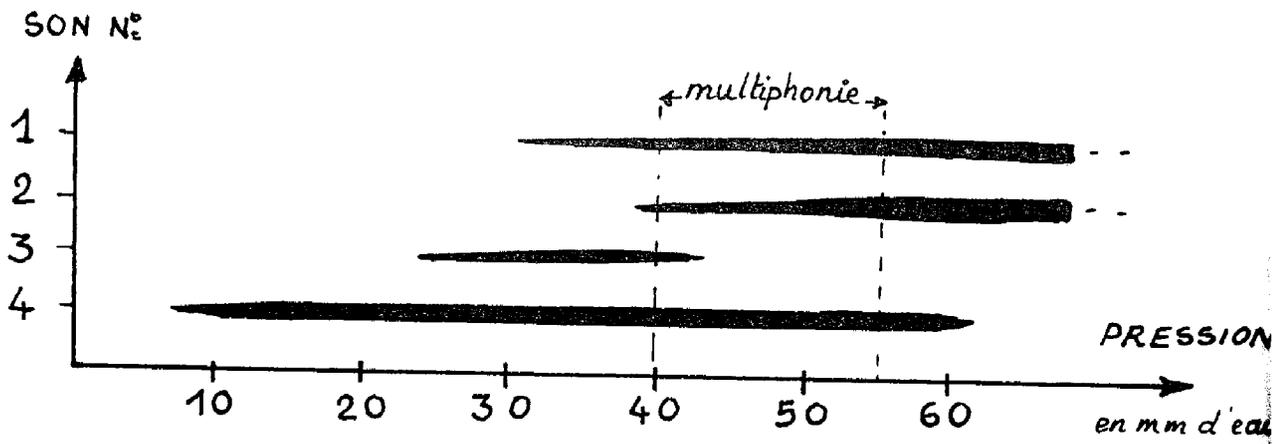
6



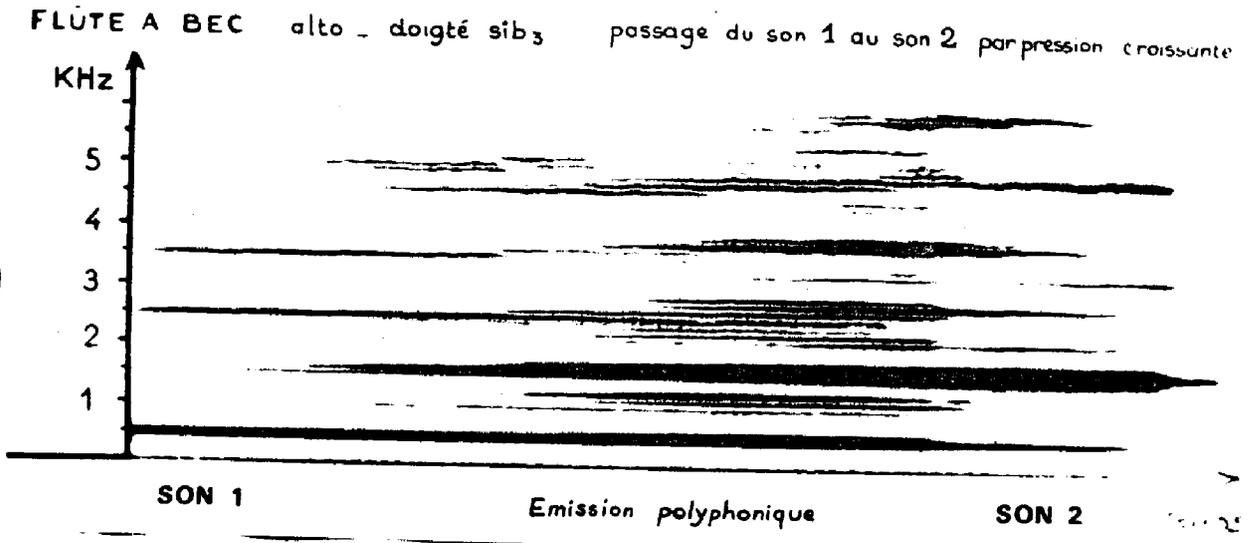
7



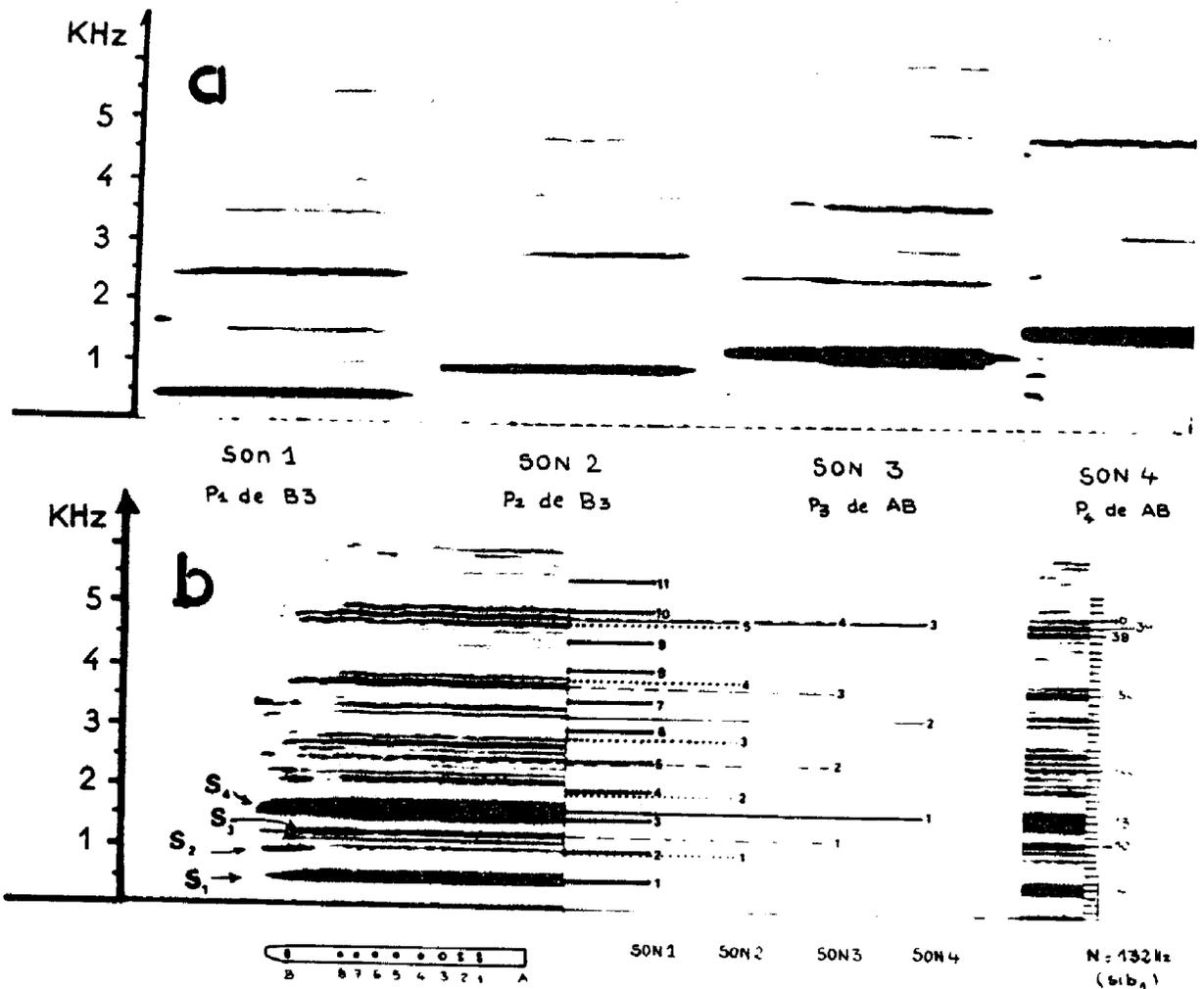
8



9



10



Le fait de percer un trou latéral transforme donc le tuyau de départ en trois tuyaux plus ou moins autonomes. Chacun d'eux possédant sa propre série de partiels, plus ou moins harmoniques, l'instrument va être le siège de luttes d'influences, d'accommodations réciproques. Pour un tuyau donné, le résultat sonore dépendra en grande partie des conditions d'excitation à la bouche.

Avant de prendre un exemple, nous voudrions rappeler, à l'aide d'une figure simple, le phénomène des sons résultants, que nous allons voir apparaître avec une grande intensité lors de l'émission polyphonique des tuyaux à bouche.

IV - SONS RESULTANTS - Additionnels et différentiels .

Soient deux sons sinusoïdaux de fréquences F_1 et F_2 (fig.6) que nous jouons d'abord l'un après l'autre, puis simultanément. L'analyse au sonographe montre que le son complexe provenant du jeu simultané des 2 sons, comprend, outre les deux fréquences d'origine, une composante grave de fréquence $F_2 - F_1$, c'est le son différentiel, et une composante aiguë de fréquence $F_2 + F_1$ qui est le son additionnel.

Quand les deux sons de base ne sont plus sinusoïdaux les phénomènes deviennent vite très compliqués car il se produit aussi des sons additionnels et différentiels entre les harmoniques, de façon variable selon leurs intensités respectives.

Les sons de combinaison sont les plus nets lorsque les deux sources sont alimentées par le même souffle. C'est le cas lorsque le flûtiste chante en même temps qu'il joue. Sur la figure 7 on voit clairement le grand nombre de sons résultants provenant des interférences entre la voix et la flûte.

V - EXEMPLE DE SONS MULTIPLES A LA FLUTE A BEC ALTO

Le jeu normal de cet instrument comprend un certain nombre de doigtés spéciaux dits doigtés de fourche, pour lesquels un ou deux trous, généralement hauts placés restent ouverts. Comme de plus les trous sont d'assez petites dimensions et que l'instrument a une perce longitudinale irrégulière, nous réunissons les meilleures conditions possibles pour produire des sons multiples plus ou moins gringants. A l'embouchure, le musicien ne peut agir que sur la pression dont il règle la rapidité d'établissement lors du transitoire d'attaque, et la valeur moyenne pour le son tenu.

Formons le doigté du Sib_3 (466 Hz) qui est la quatrième note diatonique de l'instrument. Seul le 3ème trou est ouvert. En usant d'attaques diverses nous pouvons émettre sur ce doigté 4 sons différents :

Son 1 : Si_{b3} qui est le partiel 1 de BT

Son 2 : La_4 qui est le partiel 2 de BT

Son 3 : Do_5 qui est le partiel 3 de AB (ayant un ventre de vibration au niveau du trou)

Son 4 : environ Sol_5 qui est le partiel 4 de AB.

Pour chacun d'eux nous avons relevé leurs zones d'existence en pression. On voit fig. 8 qu'il existe une importante zone commune aux sons 1, 3 et 4 principalement (*)

...../

(*) Erratum - fig. 8 remplacer 4, 3, 2, 1 par 1, 2, 3, 4 sur l'ordonnée.

Jouons le son le plus grave (Sib_1) et faisons croître la pression lentement, nous entendons bien les autres sons venir se superposer au son grave remarquablement stable; puis le son 2 disparaît; les sons 1 et 3 s'atténuent et il ne subsiste que le son 4. Le sonagramme de cette séquence est donné Fig. 9.

Essayons d'analyser plus en détail le passage multiphonique. Sur la fig.10 nous avons reporté, en regard du sonagramme, les fréquences relatives à chacun des quatre sons. On voit d'emblée qu'il existe un grand nombre de sons résultants. Les fréquences dominantes sont le fondamental du son 4 et celui du son 1. Dans la partie aiguë du spectre, principalement, on est frappé par la présence de raies voisines, équidistantes, qui pourraient être les harmoniques d'un son très grave. C'est bien ce qui se passe effectivement. Nous avons dessiné sur la partie droite de la figure le spectre intégral de ce son dont la fréquence est voisine de 132 Hz (Sib_1). En examinant attentivement les harmoniques de chacun des sons et en les comparant à ceux du son grave on constate que les sons 1 et 4 sont respectivement comme les multiples des harmoniques 4 et 13 du son de 132 Hz. Par contre le son 2, n'a que l'harmonique 5 commun avec l'harmonique 38 du son grave, ses harmoniques 1 et 3 qui coexistent, provoquent des battements. De même le son 3 ne rentre pas dans la série. Son harmonique 3 est commun avec le 39ème du son grave, mais ses autres composantes provoquent aussi des battements ou disparaissent.

En résumé, lors de l'émission polyphonique, les partiels tendent à se synchroniser au mieux sur les harmoniques d'un son plus grave dont le fondamental est le PGCD d'au moins une des composantes de chacun des partiels. Dans notre exemple, 132 Hz est le PGCD de l'harmonique 1 du son 1, de l'harmonique 5 du son 2, de l'harmonique 4 du son 3 et de l'harmonique 1 du son 4.

Il subsiste néanmoins un certain nombre de battements qui montrent bien que le phénomène n'est pas périodique. Il faut donc bien admettre que l'entretien à la bouche ne l'est pas non plus.

VI. CONCLUSIONS :

Nous avons vu que l'émission polyphonique des tuyaux à embouchure de flûte, loin d'être un paradoxe, rentre dans le fonctionnement normal du tuyau.

La géométrie de l'instrument peut favoriser ou non le phénomène, mais en dernier ressort c'est le musicien qui choisit de le produire en réglant les paramètres de l'excitation. Ces phénomènes, rejetés par les musiciens occidentaux classiques jusqu'à une date récente étaient restés pratiquement ignorés des théoriciens du tuyau. Ils montrent bien l'intérêt des études expérimentales basées sur la réalité musicale et conduisent à repenser la théorie de l'entretien des tuyaux à embouchure de flûte.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) BARTOLOZZI (B.) - New sounds for woodwind instruments
Oxford University Press. 1967.
- (2) BERNOULLI (D.) - Sur le son et sur les tons des tuyaux d'orgue différemment
construits (1762).
Mémoires de l'académie royale des Sciences
- (3) BOUASSE (H.) - Instruments à vent - 2 tomes - Delagrave
Paris (1929 et 1930)
- (4) - Tuyaux et résonateurs - Delagrave-Paris (1929)

Je remercie P.Y. ARTAUD, flûtiste, et G. GEAY compositeur avec qui j'ai pu étudier les phénomènes se rapportant à la flûte traversière.