

LE COR

E. LEIPP L. THEVET
AVEC LE CONCOURS DE J. PIETRI
MAI 1969 N° 41

GAM

BULLETIN DU GROUPE d'ACOUSTIQUE MUSICALE
FACULTE DES SCIENCES - 8 RUE CUVIER - PARIS 5^e

REUNION DU 8 MAI 1969

M. le Vice Doyen GAUTHIER de la Faculté des Sciences nous avait honoré de sa présence.

Etaients présents

M. le Professeur SIESTRUNCK, Président.

M. LEIPP, Secrétaire Général; Melle CASTELLENGO, Secrétaire.

Puis, par ordre d'arrivée : M. J.S. LIENARD (Ingénieur A et M); Mlle LEIPP Françoise (Orthophonie); M. LEGUY (Jacques), étudiant Télécomm.; M. MAGNARDI (Conservatoire de Paris); M. THEVET (cor solo Opéra); Mme et M. CLAEVER (tambourinaire); M. FORET (compositeur); M. BLANCHARD; Melle POUBLAN; Melle DENIS (Schola Cantorum); Melle KLEFSTARD-SILLONVILLE; M. HODIN; M. HASLER (Professeur de musique); Melle THEVET (Assistante Fac. Sc.); M. PIETRI (Ingénieur); Melle M. SEIGNER (Prof. Chimie); M. SELMER (Facteur d'instruments); MM. ADNET et VOUREY; M. LEFAIVRE (Ingénieur); M. FAYELLE (Chef de la Fanfare, OPERA); M. LEDUC (Editeur de musique); Melle SOLA (ORTF); M. BIRSENS (Etudiant corniste); M. BRADAC (Etudiant); M. MERON (Ecole PHOTO CINEMA); M. J.J. BERNARD (Maître de Conférence Fac. Sciences de CAEN); Mme CHARNASSE (CNRS); Mme NYEKI (Phonothèque Nationale); M. S. OUNA; M. SURUGUE (Ethnomusicologue); M. VAL (J.L.) Fac. Sciences; M. BATT (assistant Fac. Sciences); M. DUPREY (RAUC); Melle STURGE-MOORE (RACC); M. BATISSIER (Secrétaire général SIERE); Melle DUFILS (étudiante); M. DESCAMP; M. Akira TAMBA (compositeur, CNRS); M. AROM (ethnomusicologue); Mlle BARRO, MERAND, VALADA, étudiants au Conservatoire de Paris); Melle LEIPP (M.); Mme PERRET (Musée de l'Homme); M. SAIEB (musicologue); M. GUT (compositeur); Melle M.N. RENAUDIE (Professeur de musique); Melle Sylvie HUE (Professeur de musique); M. POUBLAN (Médecin biologiste); M. GEORGEAIS (Professeur Lycée La Fontaine); M. HOMON (Lycée La Fontaine); M. CONDAMINES (Labo. Ac. ORTF); M. Flavio SYLVA (Etudiant musicologie).

Excusés : M. Ch. MAILLOT, Lyon; M. BLONDELET (Ets BUFFET CRAMPON); Melle COURTIN (Inspectrice Générale); M. Cl. CHARPENTIER; M. FRANCOIS (P); M. HUGOUNET; M. THUILLIER; Melle DINVILLE; M. FONTENEAU; M. MAILLARD; M. PHILIPPOT; M. DUCHESNE; Melle NOUFFLARD; D. CHAILLEY; Mme STRAUS; M. CHIARUCCI; M. N. DUFOURCQ; M. LAFORGE; M.R. LEHMANN; Mme BOREL MAISONNY; M. TRAN VAN KHE; M. RENAUDIN; M. CHARPEINE; Mme de CHAMBURE; M. BREMOND; M. GILLOTAUX; Dr CLAVIE; J. CHAILLEY; M. JUNCK; M. MOLES; J. MEYER; W. AEBI.

Périodique : 6 n° annuels.

Prix de vente : service gratuit

Imprimeur : Laboratoire de Mécanique Physique - Faculté des Sciences de Paris

Nom du Directeur : Professeur SIESTRUNCK

N° Inscription à la Commission paritaire 46 283.

...../

I. LES ANCETRES1°) GENERALITES

Le cor d'orchestre actuel est l'ultime maillon de la longue chaîne évolutive des instruments à embouchure de cor et à colonne d'air évasée. Il représente l'aboutissement de tâtonnements empiriques réalisés à partir de tuyaux coniques naturels : cornes d'animaux évidées, coupées au bout et utilisées dès la préhistoire, défenses en ivoire où l'embouchure est parfois percée latéralement (trompes traversières d'Afrique noire) - où encore coquillages de grande taille que l'on trouve dans les mers chaudes. Mais le principe de fonctionnement reste toujours le même : il s'agit de trompes, de cors.

Ces instruments donnent un nombre de sons restreint en raison de leur petite longueur et de leur perce large. A l'origine ils servaient à émettre des signaux d'avertissement codés, à communiquer des messages. Mais ils furent aussi utilisés de bonne heure à des fins rituelles et magiques; le SCHOFAR, corne de bélier utilisé dans les synagogues, en reste un exemple vivant, et jusqu'à la fin du siècle dernier le cor conservera dans notre musique des relents de magie liés aux puissances infernales (WEBER, BERLIOZ etc.) L'utilisation vraiment musicale du cor en occident est tardive (LULLY), cet instrument étant par nature incomplet du point de vue de son échelle, défaut qui disparaîtra il y a un siècle à peine.

La corne d'animal primitive avait été remplacée très tôt par des tubes faits de main d'homme. En Amérique, les Indiens de l'Orénoque, spécialistes en la matière puisqu'ils savaient faire des tuyaux en bois extrêmement bien faits pour leurs sarbacanes, fabriquaient de temps immémorial des trompes droites en bois. De même il existait depuis toujours, dans les régions forestières d'Europe et d'Asie, des trompes tirées de troncs d'arbres. On trouve de tels instruments jusqu'à nos jours en Finlande, dans le Thibet, et dans la plupart des régions montagneuses de l'Europe, où, perdant leur signification fonctionnelle primitive, elles ont été adoptées par la musique folklorique. Le prototype en est le cor des Alpes.

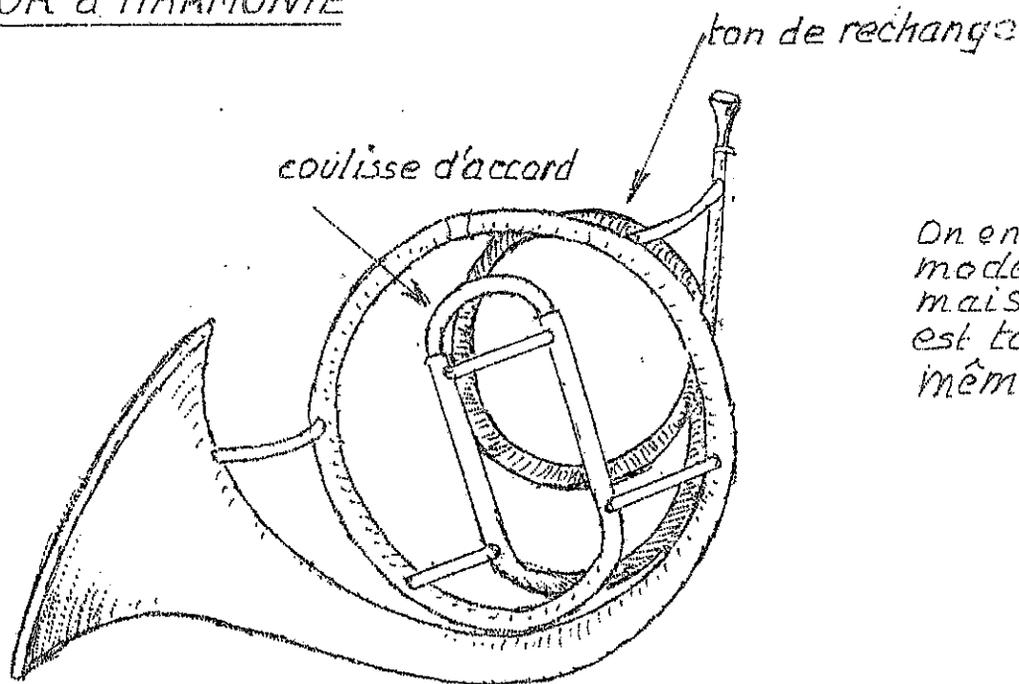
2°) LE COR DES ALPES (fig.1a)

Grâce à M. AEBI, un industriel suisse qui nous a apporté un cor des Alpes, une méthode de jeu et des disques, nous pouvons donner ici quelques précisions sur cet instrument.

L'existence du cor des Alpes est attestée par de nombreux documents dès la fin du Moyen-Age. L'instrument, dont la longueur varie approximativement de 2,50m à 4m servait à communi-

...../

COR d'HARMONIE

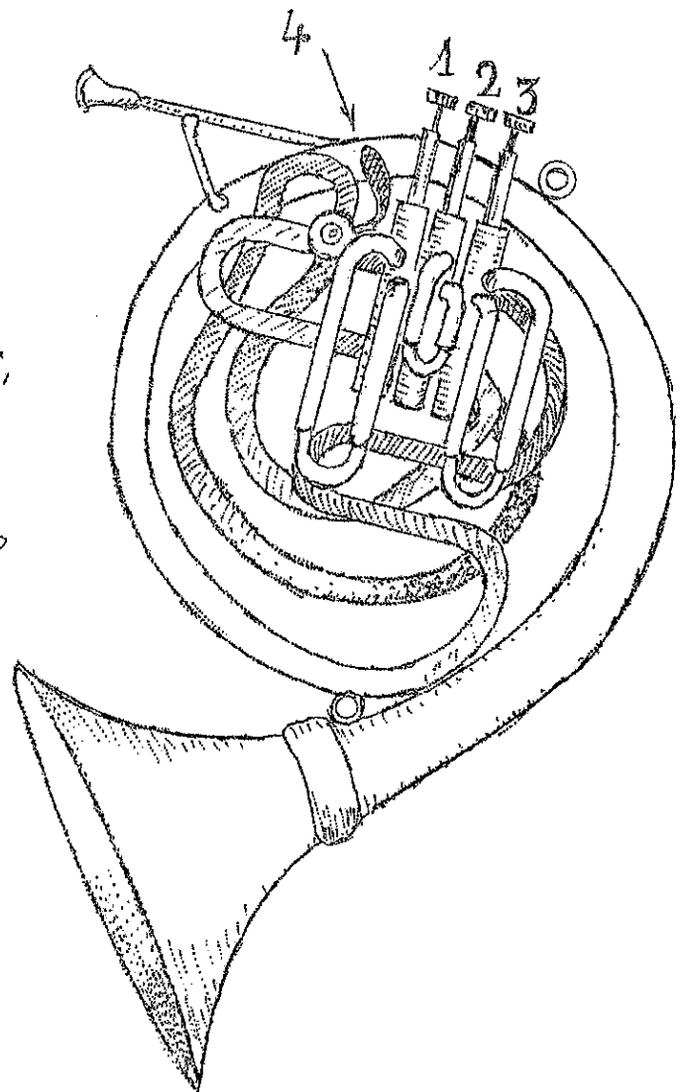


On en fabrique des modèles variés, mais le principe est toujours le même.

COR d'ORCHESTRE ACTUEL

(modèle français)

Les 4 pistons, dont le 3ème et le 4ème sont ascendants, en font un instrument chromatique complet, riche en possibilités, mais très difficile à jouer: il faut une excellente oreille, un long entraînement musculaire et respiratoire (synchronisation des lèvres, des doigts et des muscles régissant la respiration). De surcroît, la lecture des partitions est souvent difficile.



quer à distance des messages simples dans les régions montagneuses où les communications terrestres sont difficiles. Dès 1030, le moine EKKEHARD de St Gall cite l'instrument. En 1555, il est signalé par CONRAD GESSNER sous le nom de "lituus alpinus" (en fait, l'instrument est encore appelé "liti" par les Suisses). Pendant la Guerre des Paysans le cor des Alpes sonnait les rassemblements des révoltés.

L'instrument que nous possédons a 3,70 m de long. L'embouchure, en bois, a 17 mm de diamètre environ et ressemble à une embouchure de cor moderne. Les embouchures anciennes étaient probablement beaucoup plus larges, car il s'agissait de produire des basses fréquences qui seules portent très loin (en dessous de 500 Hz). Les embouchures modernes permettent par contre de donner un nombre de sons beaucoup plus élevé, mais les graves sont déficients : elles sont mieux adaptées à la musique folklorique. La portée de l'instrument est très grande : plus de 5 km dans de bonnes conditions.

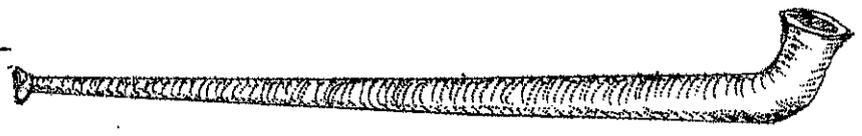
Pour fabriquer ce cor, on coupe un sapin bien droit, ayant poussé sur une forte pente, et dont le pied est donc recourbé. On scie le tronc en deux dans le sens de la longueur, on le vide à la gouge en lui donnant une forme évasée, plus ou moins tronc-conique que l'expérience a enseignée comme la meilleure pour obtenir l'échelle musicale désirée (naturelle en général). Puis on rapproche les deux moitiés et, on entoure le tout d'écorce de bouleau ou autre (canne ou rotin actuellement). On adapte généralement un pied vers le gros bout de l'instrument qui repose normalement sur le sol, et voici l'instrument prêt à l'usage.

Le modèle que nous avons au laboratoire représente donc approximativement un cône de 3,70 m de long, la grande ouverture ayant environ 18 cm, la petite 1,5 cm. L'instrument se dévisse en 2 parties égales pour le transport. On peut tirer de l'instrument un nombre de partiels assez élevé, selon l'embouchure et l'habileté du musicien; M. THEVET en tire jusqu'à 20! Le fondamental ne sort pas et la pédale (partiel 2) sort assez mal avec l'embouchure utilisée.

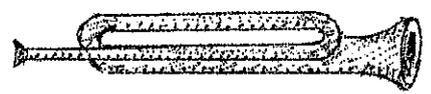
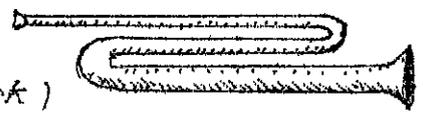
La méthode de Cor des Alpes insiste sur l'effet magique que possède cet instrument lorsqu'il est joué devant des parois rocheuses, des flancs de montagnes, vers le fond des vallées. On nous y apprend que, de près, le cor des Alpes perd son moelleux; il est certain que la distance filtre fortement l'aigu du son. La réverbération des vallées et les échos sont des effets recherchés. Ils imposent évidemment un jeu très lent et mesuré afin d'éviter le brouillage des notes. Tel qu'il est, l'instrument représente un instrument original du folklore suisse, dont l'intérêt théorique mériterait une étude approfondie que nous espérons faire un jour. Notons qu'on a parfois réalisé des trompes en bois de ce genre mais repliées pour limiter l'encombrement.

1a

COR des ALPES



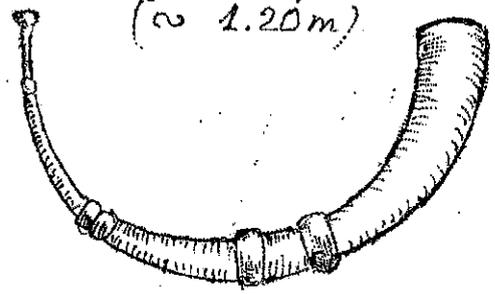
TROMPES REPLIÉES
(Wurzhorn de la Steiermark)



1b

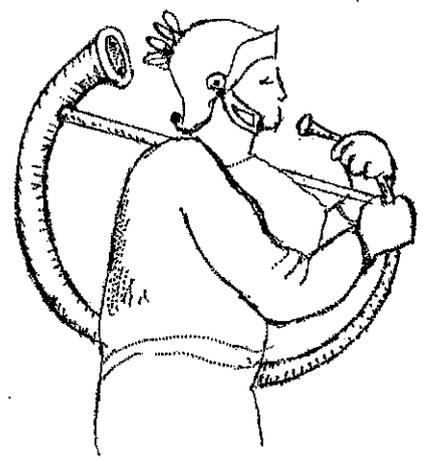
TROMPE ETRUSQUE
en bronze
(British Museum)

longueur 4 pieds
(≈ 1.20m)



1c

CORNU ROMAIN
de POMPEI
(Musée de Naples)



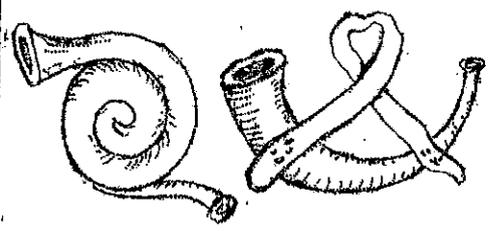
1d

LOUR
danois
(Musée de Copenhague)



1e

VIRDUNG (1511)

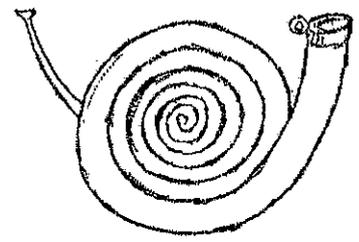


Jägerhorn Acherhorn

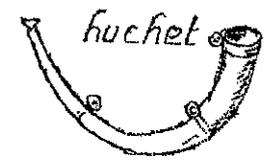
1f

MERSENNE (1636)

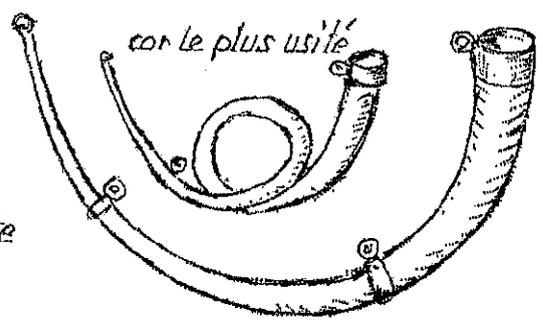
cor enroulé



fuchet



cor le plus usité



cor de poste



grand cor

3°) LES TROMPES METALLIQUES.

En d'autres lieux où la technologie du métal était suffisamment évoluée, on voit apparaître de bonne heure des cors en bronze, de forme évasée. Ainsi le British Museum possède une trompe étrusque (fig.1b) en arc de cercle sans pavillon, ayant 4 pieds de long (1,20 m environ). De même on a retrouvé à Pompéi un "cornu" romain en bon état de fonctionnement que l'on peut voir au musée de NAPLES (fig.1c) et dont on peut tirer des sons entre le partiel 3 et 12 à peu près. Au Danemark on a mis à jour une quarantaine de trompes très particulières, les "lours" ou "lures", dont on trouve quelques exemplaires au musée de Copenhague (fig.1d). Ces instruments avaient entre 1,30 et 2,30 m de long; le pavillon n'est pas évasé comme dans nos trompes, mais en "assiette", artistement décorée par repoussage. Ces instruments, selon certains remonteraient à l'ère du bronze, 1500 à 800 av. J.C.; selon d'autres ils seraient plus récents. On a retrouvé des instruments de ce genre en Irlande, sans doute importés par les Vikings.. Les tubes étaient tordus de diverses manières afin de diminuer l'encombrement, mais non enroulés en spires comme notre cor actuel.

Tous ces instruments n'étaient guère normalisés, sauf peut être les "cornus" romaines; leurs innombrables variantes vont se perpétuer à travers tout le Moyen Age. A partir de la Renaissance nous possédons sur ce point une iconographie très riche. Nous avons en particulier consulté les "classiques" :

- VIRDUNG (1511) (fig.1e), nous montre le "cor" en demi-cercle (Acherhorn) strictement identique à l'instrument étrusque cité plus haut; et d'autre part, un cor de chasse (Jägerhorn) à trois tours. Il n'y a pas d'échelle permettant d'apprécier les dimensions et l'auteur ne fait que citer ces instruments qu'il ne considérerait pas comme des instruments de musique proprement dits.
- PRAETORIUS (1618). Sa planche VIII représente des cornets à bouquin, des trombones, une trompette, un cor des Alpes (d'environ 7 pieds de Braunschweig, soit à peu près 2 m). On y voit en particulier un petit cor enroulé en spirale qu'il appelle "Jäger Trommet", c'est-à-dire "trompette de chasseur", qui est certainement l'ancêtre de la célèbre "trompette de Bach" ou "clarino". Rappelons ici que les figures de Praetorius sont d'un intérêt extrême; l'auteur a fait ses dessins à l'aide d'une "camera obscura" et donne chaque fois une échelle qui précise les dimensions des instruments.
- MERSENNE (1636). La figure 1f qu'il donne, montre un "grand cor", réplique exacte de l'instrument étrusque, un cor à un tour ("le plus usité") avec son "enguichure", un huchet, un cor de poste en arc de cercle, et enfin un cor enroulé en 7 spirales, semblable à celui de Virdung. Merseune insiste sur le fait que les bons chasseurs tirent du cor à un tour "autant de tons que sur la trompette", soit 16 notes. On peut donc dès lors penser à jouer des sonneries assez élaborées avec de tels instruments, qui seront utilisés en fait jusqu'à la veille de la Révolution.

- L'ENCYCLOPEDIE DE DIDEROT. On sait que sa rédaction et son impression s'étalèrent sur plusieurs années (1751-1777). Si les écrits musicaux qu'on y trouve sont sujets à discussion (ROUSSEAU y écrivit la partie "harmonie" et "composition"...), les gravures de l'ouvrage sont cependant précieuses. Elles nous montrent une reproduction scrupuleuse, malheureusement sans échelle des outils et de certains instruments, y compris les détails de fabrication. En particulier, on voit un atelier, une forge, où l'on fabrique des trompes de chasse apparemment identiques aux trompes actuelles. Rappelons que dès 1297, les "fiseurs de trompes" en laiton s'étaient joints à la corporation des chaudronniers. Les cors en argent relevaient des orfèvres.

La fabrication reste assez simple et demande peu d'outillage. On coupe une feuille de laiton (70 % de cuivre et 30 % de zinc); on l'enroule autour d'un mandrin droit ayant la forme évasée de l'intérieur de l'instrument, en appliquant la feuille par martelage. On soude les bords à la soudure forte. Puis on met le tube debout, le pavillon en l'air, et on y verse du plomb fondu. On peut ainsi, après refroidissement, donner à la trompe sa forme à plusieurs tors sans écraser le tuyau. Quand tout est terminé, on chauffe à nouveau l'instrument pour faire écouler le plomb; puis on le polit : le voici prêt à être joué. En dehors de son utilisation à la chasse, la trompe sera adoptée par les musiciens dès Lully. Nous y reviendrons plus loin et MM. PIETRY et THEVET nous apporteront toutes précisions utiles sur ce point. Mais auparavant, quelques considérations sur l'acoustique de ces instruments ne seront certes pas hors de propos, car elles éclaireront certains aspects du fonctionnement et du rayonnement de l'instrument.

II. QUELQUES DONNEES ACOUSTIQUES SUR LA TROMPE ET LE COR

Plusieurs chercheurs se sont intéressés à l'acoustique du cor (bib. 1 - 2 - 3 - 4 - 5). L'impulsion à nos propres recherches fut donnée à la suite d'une visite à notre laboratoire de W. AEBI qui nous apporta un cor des Alpes et qui possède d'intéressants instruments historiques. Une assez longue expérience dans le domaine du fonctionnement et du rayonnement des instruments de musique nous a montré depuis longtemps que tout instrument "mécanique" comporte deux parties distinctes qu'il est indispensable de considérer d'abord isolément. Ensuite seulement on peut tenter une approche des problèmes que pose leur association et leurs interactions réciproques. Ces parties sont :

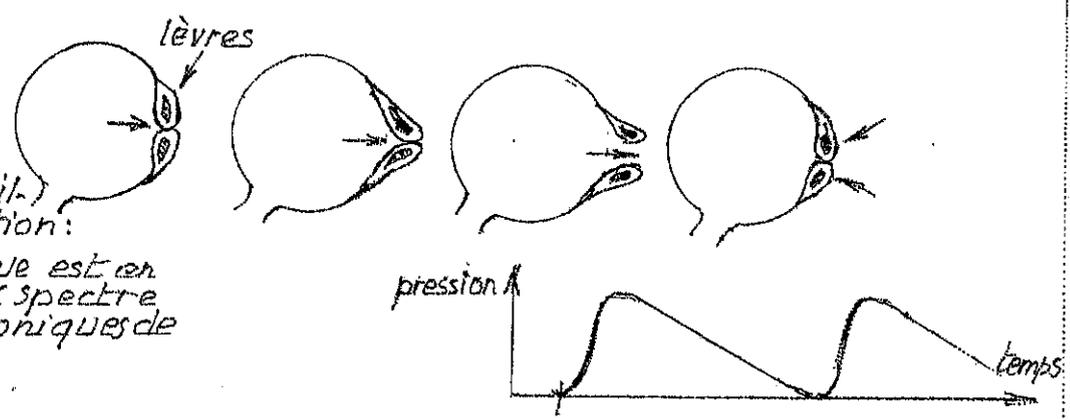
- d'abord un système excitateur destiné à fournir l'énergie nécessaire, éventuellement transformée en vibrations plus ou moins périodiques.

- ensuite le "corps sonore", assez improprement appelé "résonateur", qui amplifie et déforme le signal de l'excitation et le rend audible au loin.

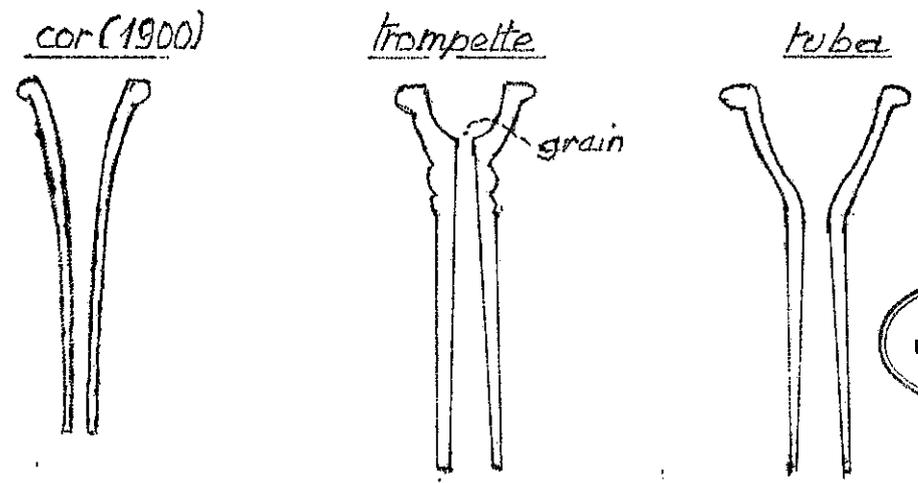
...../

2a

Le mouvement des lèvres est une oscillation de relaxation:
le signal acoustique est en dents de scie (spectre riche en harmoniques de tous rangs)



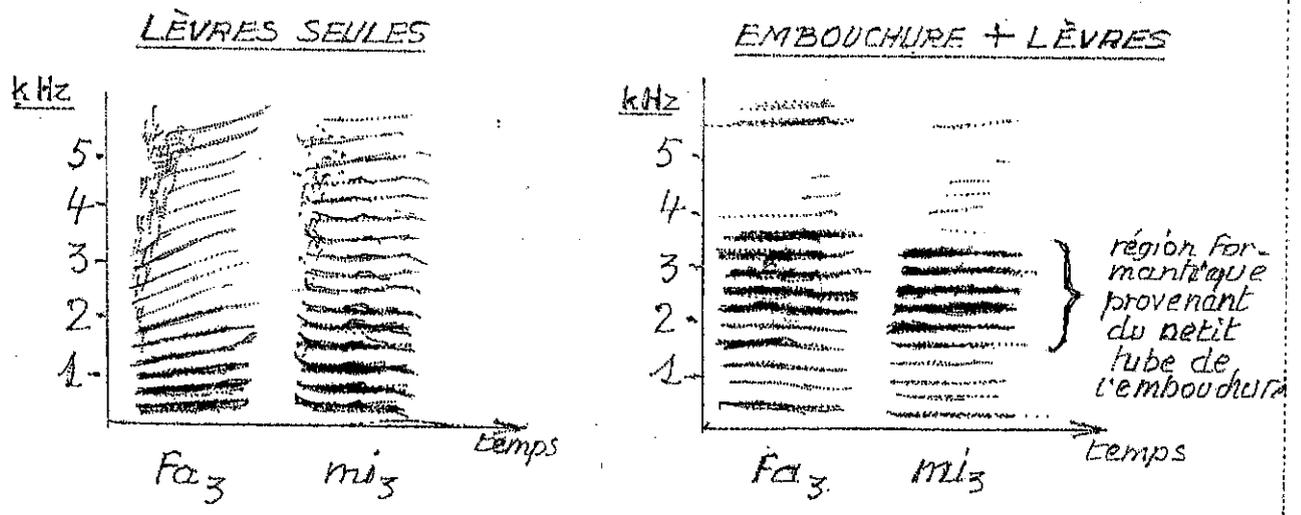
2b



GAM
BIBLIOTHÈQUE
DE PRÊT

La forme de la cuvette détermine la tendance: aigu-grave, timbre cuivré ou moelleux.

2c



L'embouchure permet une grande sûreté dans l'attaque des notes, mais elle modifie aussi le timbre en produisant un "Formant"

1°) LE SYSTEME EXCITATEUR

Dans le cas qui nous intéresse ici, il comporte une anche double musculaire, l'anche lippale, et une embouchure.

a) - L'anche lippale.

Nous avons déjà eu l'occasion d'aborder ce problème à l'occasion de notre étude sur l'appareil phonatoire (Bulletin GAM n° 32, décembre 1967). Résumons ce qu'il convient de retenir ici.

Les lèvres sont commandées essentiellement par deux systèmes musculaires, le muscle orbiculaire qui règle l'ouverture et la fermeture de la bouche, et le muscle buccinateur qui régit les mouvements avant-arrière des lèvres. Ce dernier nom vient précisément de "buccin", l'ancienne trompette, dont le jeu provoquait à la longue une déformation professionnelle des lèvres des musiciens qui en jouaient.

Les lèvres sont recouvertes d'une muqueuse; son rôle est déterminant dans la forme acoustique des vibrations des lèvres, c'est-à-dire dans le timbre.

Les lèvres étant closes au début, on augmente graduellement la pression dans la cavité buccale (fig.2a). Le joint des lèvres, point de moindre résistance, commence par glisser vers l'avant mouvement plus ou moins contrarié par le muscle buccinateur.

Pour une certaine pression, il se produit enfin une ouverture interlippale. L'air fuit brutalement vers l'extérieur; simultanément la pression diminue fortement à l'intérieur de la bouche: la muqueuse revient en arrière ainsi que l'ensemble des lèvres qui se referment. Puis le mouvement recommence.

On peut vérifier par le cinéma au ralenti ou le stroboscope que le mouvement, manifestement périodique n'est pas régulier, mais saccadé. L'ouverture est graduelle, la fermeture brutale. C'est le cas-type d'une oscillation de relaxation en dents de scie qui produit par définition une série harmonique complète (pairs et impairs). Celle-ci est d'autant plus riche que le mouvement est plus dissymétrique, c'est-à-dire l'ouverture plus lente et la fermeture plus brutale. Les caractéristiques de la muqueuse jouent de ce point de vue un rôle déterminant. Cette oscillation détermine bien entendu un son musical, audible dans la mesure où il rentre dans le domaine de l'aire audible (au-dessus de 30 Hz environ). La hauteur du son dépend à la fois du tonus des muscles buccaux, de la longueur vibrante des lèvres (que l'on peut plus ou moins régler) et de la pression délivrée par les poumons. Le timbre dépend de la plasticité et de la "nervosité" des muscles et de la muqueuse.

Pour peu que l'on soit bien doté par la nature de ce point de vue et que l'on soit bien entraîné, on peut ainsi produire des sons musicaux sur une ou deux octaves. M. THEVET nous a montré qu'on pouvait parfaitement "jouer" avec les lèvres seules une échelle musicale quelconque très précise. On relève des harmoniques jusque

vers 8000 Hz ...

Mais l'expérience montre qu'il est très difficile de "piquer" ainsi des notes bien fixes et stables. Cette observation a de bonne heure conduit à l'invention de l'embouchure.

b) - L'embouchure.

Il suffit de percer une plaque de quelques millimètres d'épaisseur par un trou de 2 ou 3 centimètres pour réaliser une véritable "embouchure". En appuyant les lèvres sur cette ouverture on peut régler avec beaucoup plus de précision le tonus et la longueur vibrante des lèvres et ainsi il devient beaucoup plus aisé de produire des sons musicaux bien définis, en hauteur.

Mais dans ces conditions le timbre est déficient car le muscle buccinateur est difficile à régler, et son efficacité est fortement diminuée lorsque le trou est trop petit. Aussi en est-on venu à imaginer une petite cuvette qui permettait une attaque des sons beaucoup plus sûre (fig. 3b). Cette cuvette était autrefois réalisée à même le bout coupé des cornes; bientôt on la fit en métal, sous l'aspect que nous connaissons à présent. Il en existe d'innombrables variantes, plus ou moins bien adaptées à la conformation des lèvres de l'utilisateur et à ce que l'on se propose d'obtenir comme qualité sonore. Pour les sons graves il faut bien entendu des embouchures larges (plus de 3 cm dans le serpent, le cor des alpes, le tuba); pour l'aigu elles sont plus petites. Sur un même instrument on peut faire sortir le fondamental et les partiels graves avec une grande embouchure; ils ne sortent plus ou sortent mal avec une embouchure de faible diamètre - qui par contre permet de sortir beaucoup de partiels aigus. Bref en soufflant correctement dans une embouchure, on peut produire en continu des sons riches en harmoniques dans un intervalle de plus de deux octaves. Bien entendu, si l'on est habile, on peut aussi jouer des "gammes" ou des mélodies, et c'est beaucoup plus facile qu'avec les lèvres seules.

Mais le petit bout de tuyau qui est fixé à la cuvette intervient évidemment! En faisant l'analyse spectrale comparative de telles "notes" avec et sans embouchure, on vérifie que celle-ci détermine effectivement une zone de résonance, un "formant" très net dont la situation fréquentielle est liée à la longueur du tube. Pour une embouchure de 7 cm de long par exemple tous les harmoniques des notes jouées, compris entre 2 et 3000 Hz, sont très marqués (fig. 2c); ceci détermine un son très intense, car ces harmoniques sont placés dans la zone de maximum de sensibilité de l'oreille. Par contre les harmoniques très aigus, au-dessus de 4000 Hz disparaissent pratiquement. L'embouchure règle en somme la répartition de l'énergie dans les spectres et le signal qui sort de l'embouchure va permettre d'exciter à présent le "corps sonore". Notons en passant une règle générale bien connue des fabricants d'embouchures et des musiciens: le son est d'autant plus éclatant que le petit trou du fond de la cuvette (le grain) est plus près de la bouche et que le rétrécissement de la cuvette est plus brusque.

..../

On retiendra donc que le système lèvres-embouchure est déterminant du point de vue du rendement final de l'instrument, puisque c'est lui qui règle dès le départ la hauteur et le timbre du phénomène excitateur.

2°) LE CORPS SONORE

a) - Généralités.

Les instruments réels ont une colonne d'air de forme évasée d'allure vaguement conique mais difficile à définir mathématiquement.

On dispose sur l'acoustique de ce genre de tuyaux particulier d'un très grand nombre de données plus ou moins disparates :

- Ce sont d'abord des données que nous ont apporté les physiciens, c'est-à-dire des théories mathématiques et physiques sur des tuyaux de forme géométriquement bien définie.

- Ce sont ensuite de très nombreuses expériences de laboratoire faites soit par des physiciens ou des facteurs d'instruments. Les tuyaux sont alors excités à une extrémité soit par des haut-parleurs ou des ionophones, soit tout simplement par la bouche, en soufflant sur le bord du tuyau, ou encore en y adaptant des embouchures de cor ou des becs d'instruments.

- Enfin on a la pratique des facteurs d'instruments et des musiciens, qui le plus souvent ne se soucient guère de théorie.

Lorsqu'on essaye de raccorder toutes ces observations et recherches on se trouve placé devant des contradictions et des paradoxes sans nombre. Comme on ne peut suspecter ni les uns ni les autres de déraisonner, on est obligé d'admettre que ces données ne sont insuffisantes, prises isolément, mais il doit être possible de les raccorder, ^{c'est} ce que nous allons tenter ici.

En fait, on a trop souvent simplifié des problèmes où les conditions sont très nombreuses et les variables souvent difficiles à préciser, tant par le calcul que par l'expérience. Pour y voir clair il est d'abord indispensable de préciser quelques termes dont le sens est flou ou différent selon ceux qui les utilisent.

b) - Définitions

Soufflons sur la tranche d'un tuyau cylindrique ouvert aux 2 bouts et de taille moyenne (rapport/diamètre de l'ordre de 20 à 25 par exemple), en forçant graduellement le souffle. On entend d'abord une note très grave (le fondamental) puis une série successive de sons qui sont approximativement une série harmonique (fréquences double, triple, quadruple etc... du fondamental). Les sons que l'on "sort" ainsi d'un tuyau sont ses partiels : le fondamental est le partiel 1, puis vient le partiel 2, 3 etc... On sait que les tuyaux fermés à l'autre bout (bourdons) ne donnent que la

série des partiels impairs (1,3,5 etc...).

Chaque partiel correspond à un découpage automatique du tuyau, en deux, trois, quatre parties égales. Lorsqu'on souffle de plus en plus fort, à certains moments c'est comme si on excitait un tuyau deux, trois, quatre fois plus court en ce qui concerne la hauteur des sons obtenus. Ceci est très approximatif, car les bouts du tuyau ne sont acoustiquement pas faciles à déterminer. Aussi introduit-on généralement une " correction aux bouts " dans les calculs.

A l'intérieur du tuyau, ce découpage en 1, 2, 3 parties est délimité par les "noeuds" et des "ventres". On devrait toujours préciser "de vitesse" ou de "déplacement", car un noeud de pression est un ventre de vitesse. Ainsi, pour un tuyau cylindrique ouvert aux deux bouts qui donne son fondamental, on a un ventre (de vitesse) aux deux extrémités et un noeud au milieu. Pour le partiel 2 on a un ventre à chaque bout et un autre au milieu avec des noeuds intermédiaires etc... Tout cela est bien connu.

Il est néanmoins indispensable de préciser que chaque partiel ainsi donné par le tuyau est une note musicale, phénomène périodique complexe dont chacune comporte par définition toute une série d'harmoniques, harmoniques qui sont nécessairement des multiples exacts du fondamental.

Résumons : En pratique, en raison de la correction aux bouts, les partiels d'un tuyau ne sont pas tout à fait des multiples du fondamental, parfois ils s'en éloignent même beaucoup. Mais chaque partiel comporte une série d'harmoniques exacts, qui se traduisent sur nos sonagrammes par une superpositions de raies rigoureusement équidistantes.

Ceci étant précisé, le cor se rapproche plus du cône que du cylindre... Que s'y passe-t-il donc dans ces conditions ?

o) - Théorie des tuyaux côniques et cylindro-côniques

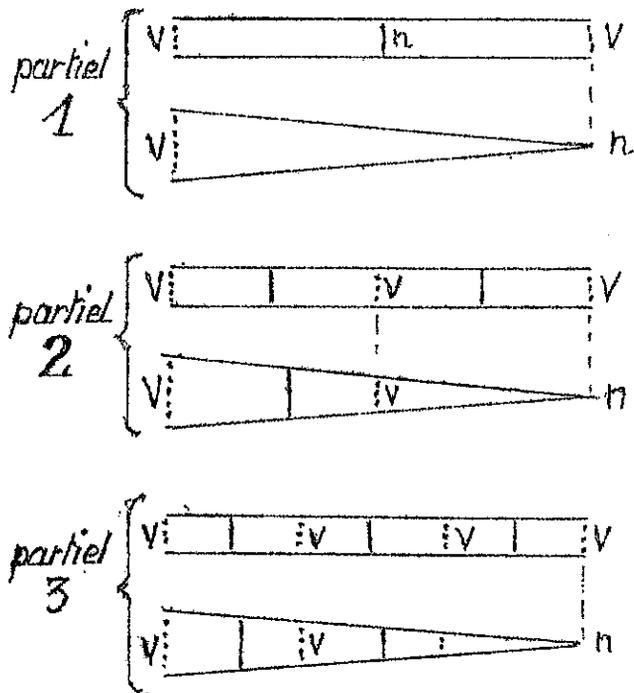
On trouve dans divers manuels, ceux de BOUASSE en particulier (bib. 1-2-3) la théorie mathématique des cônes complets. Elle aboutit aux conclusions suivantes : (fig.3)

- Un cône complet (3a) a un noeud (de vitesse) sur la pointe, et un ventre au bout ouvert. Il donne une série de sons partiels identique à celle que fournit un tuyau cylindrique de même longueur ouvert aux deux bouts (série complète 1,2,3). Pour le partiel 2 du cône, on vérifie que la distance de la pointe au premier ventre est nettement plus longue que la distance noeud-ventre suivante; cette "anomalie" varie évidemment avec l'angle du cône. Pour le partiel 3 et suivants on retrouve les mêmes particularités. Mais de toutes façons on retiendra que la série des partiels correspond à celle d'un tuyau cylindrique de même longueur.

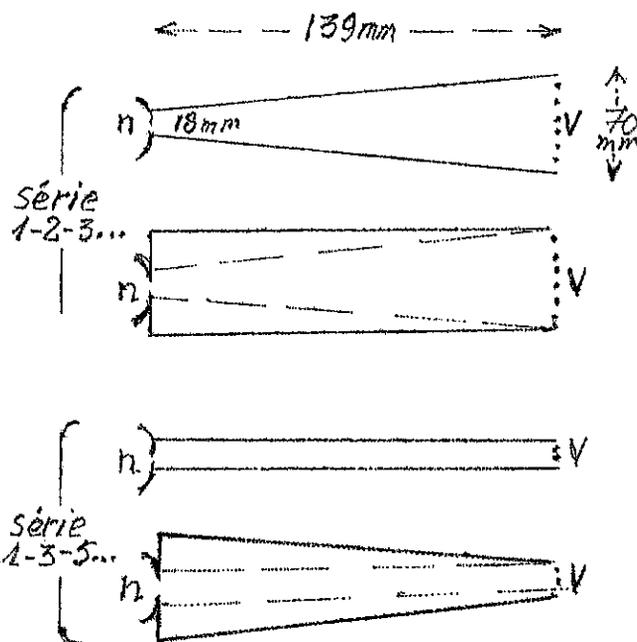
Il va sans dire qu'il n'existe aucun instrument de musique mécanique qui soit en toute rigueur un cône, car dès que l'on se

..../

3a TUYAUX CÔNIQUES



3b Expérience de LARROQUE (tronc de cône.)



(NB: Ventres et noeuds sont ici de vitesse)

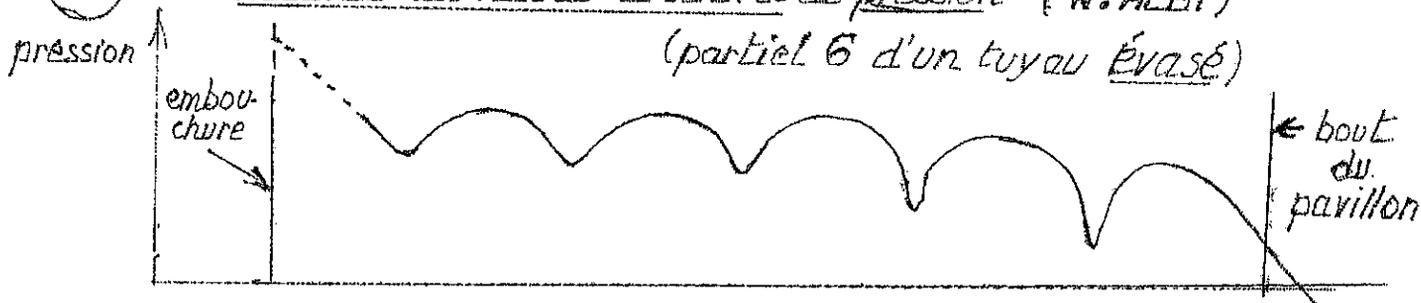
Le cône complet a un noeud au sommet, un ventre du côté ouvert. Il donne une série complète, comme le tuyau ouvert aux deux bouts de même longueur (cylindrique)

Une embouchure de cor excite les tuyaux au petit puis au gros bout. Selon le cas, on a une série complète, ou impaire de partiels.

3c

RELEVÉS des noeuds et ventres de pression (W. AEBI)

(partiel 6 d'un tuyau évasé)



Le tuyau est excité à un bout par un haut-parleur. On relève graduellement la pression avec une sonde. Ce qui se passe aux extrémités est difficile à définir; en jeu normal c'est impossible: les phénomènes sont beaucoup plus compliqués que ce que nous apprend la théorie élémentaire.

propose d'exciter le cône par la pointe il faut y ménager une ouverture; et alors il s'agit d'un tronc de cône.

- le tronc de cône et le cylindro-cône. Après bien d'autres, nous avons refait quelques expériences simples avec des troncs de cône (par exemple un corps de saxophone; longueur 48 cm; grand diamètre 5 cm; petit diamètre 2,5 cm). On souffle sur l'arête de la petite ouverture et on vérifie qu'on peut ainsi produire une série de partiels correspondant à peu près à une série harmonique complète (1, 2, 3...) Avec un tuyau cylindrique ouvert aux deux bouts, ayant la même longueur et un diamètre de 2,5 cm, on obtient à très peu de chose près la même chose. Quand on ajuste le cône au bout du cylindre, on obtient encore une série complète (graves à part car ils ne "sortent" pas) de partiels approximativement harmoniques (1,2,3...). Cette série est simplement placée à peu près une octave plus bas que celles du cylindre ou du tronc de cône seuls.

Or la théorie montre :

- qu'il est impossible d'assimiler un cône complet à un tronc de cône

- qu'avec un cylindro-cône géométrique il est impossible d'obtenir une série 1,2,3,

Théorie et expérience semblent donc en contradiction. Il n'est donc pas étonnant que de nombreux expérimentateurs se soient attaqués à la question. Citons en particulier l'expérience de LARROQUE, indiquée par BOUASSE, et reprise par FOUCHÉ avec des résultats divergents.

LARROQUE (fig.3b) prend un tuyau en tronc de cône (longueur 138 mm, diamètres 78 et 18 mm). Au bout étroit il adapte une embouchure de trompette ou une anche de clarinette. Il vérifie que ce tuyau donne alors une série complète de partiels (1,2,3...) identique à celle que donne un cylindre ayant un diamètre de 70 mm.

Il adapte ensuite son embouchure au gros bout du tronc de cône et vérifie que dans ces conditions on n'obtient plus qu'une série de partiels de rang impair (1,3,5...), la même qu'on aurait avec un tuyaux cylindrique étroit fermé à un bout de même longueur.

M. AEBI expérimente sur des instruments réels. Il fait construire des tuyaux en métal droits ayant les mêmes dimensions que tel instrument normal, trompette ou cor, et qui sont excités par un "haut-parleur" spécial. Il introduit par le pavillon une sonde acoustique (capteur de pression de faible diamètre) qu'il déplace graduellement, centimètre par centimètre, entre le pavillon et l'embouchure. Corrélativement il relève, pour chaque partiel, les pressions à l'enregistreur de niveau, ce qui permet de détecter les noeuds et ventres de pression (qui, rappelons-le, correspondent respectivement à des ventres et noeuds de vitesse). Ces relevés sont intéressants. Prenons par exemple le partiel 6 d'un tuyau évasé donné (trompette de signalisation). Le relevé (fig.3c) montre :

...../

- que les "festons" sont asymétriques, preuve que le tuyau est d'allure cônique

- qu'au niveau de l'embouchure et du pavillon le phénomène est indéterminé : on n'est ni à un noeud de pression (ventre de vitesse) au bout du pavillon, ni à un ventre de pression à l'embouchure (noeud de vitesse).

Ces expériences montrent la réalité des noeuds et ventres, mais il convient de faire quelques commentaires :

- D'abord l'excitation d'un tuyau par source sinusoidale est un artefact et le fonctionnement du tuyau n'est pas le même si on l'excite avec un spectre harmonique riche tel que celui du système embouchure-lèvres.

- D'autre part, en excitation normale d'un instrument, on introduit par l'embouchure des jets d'air pulsés périodiques, qui s'écoulent nécessairement le long du tuyau et modifient les ondes stationnaires et les phénomènes à l'extrémité ouverte.

- Enfin le fait d'introduire une sonde, même de faible diamètre, déforme certainement le phénomène.

Bref, on ne peut tirer de ces expériences que des conclusions très générales, difficiles à transposer à la réalité. Nous croyons que la visualisation optique en lumière polarisée (bib.6), avec des tubes transparents, excités de façon normale permettrait une approche plus réaliste du phénomène qui est certainement beaucoup plus compliqué que ce qu'en dit la théorie élémentaire.

Résumons. Toutes ces expériences affectent une allure plus ou moins paradoxale; mais ce n'est là qu'une apparence et des compléments d'information vont nous apporter la clef de l'affaire. D'abord on ne sait jamais exactement ce qui se passe aux bouts du tuyau; est-il ouvert ou fermé du côté de l'embouchure de trompette? Que devient la correction aux bouts? Comment l'onde stationnaire et les "bouffées d'air" au bout ouvert déterminent-elles une onde progressive perçue à distance? etc.. Ensuite on a oublié un point d'importance capitale qui ne semble pas avoir préoccupé suffisamment les expérimentateurs et sur lequel nous pensons utile d'insister : il s'agit du problème des réactions réciproques entre le système excitateur et le corps sonore.

d) - La réaction excitateur-tuyau .

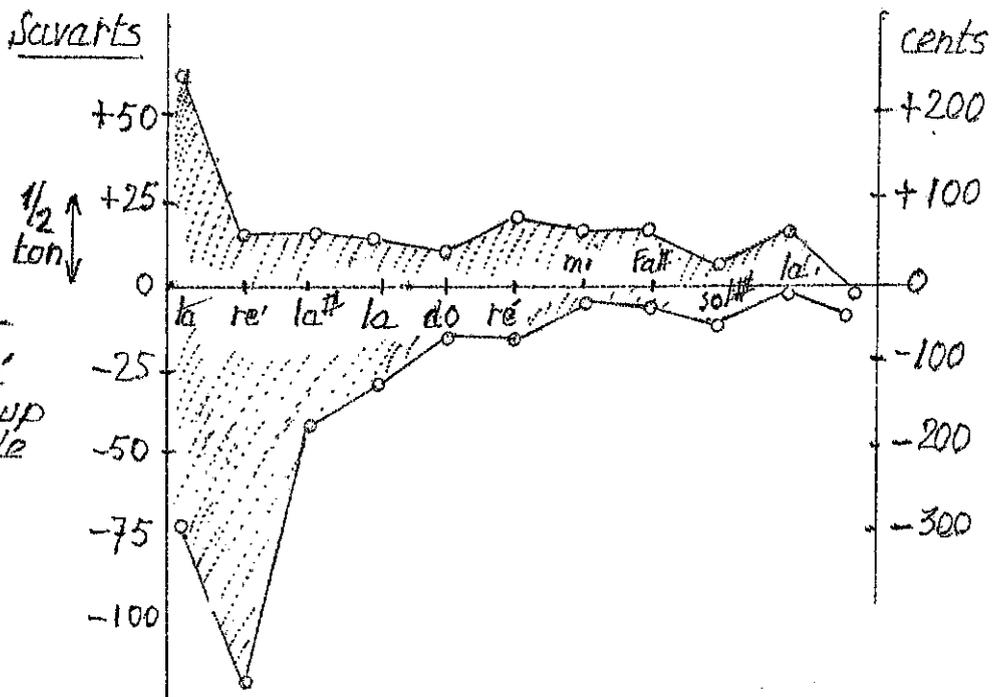
Nous avons d'une part un tuyau; excité d'une manière quelconque il est nécessairement le siège d'une onde stationnaire dont la fréquence est fonction de la longueur du tuyau. Cette onde stationnaire peut donc être définie clairement, compte tenu des corrections au bout. Il en est de même des partiels, et la théorie, aux approximations près, est tout à fait suffisante dans ces cas pour définir la hauteur des partiels que ce tuyau est susceptible de donner. Cette onde stationnaire contient évidemment une certai-

..../

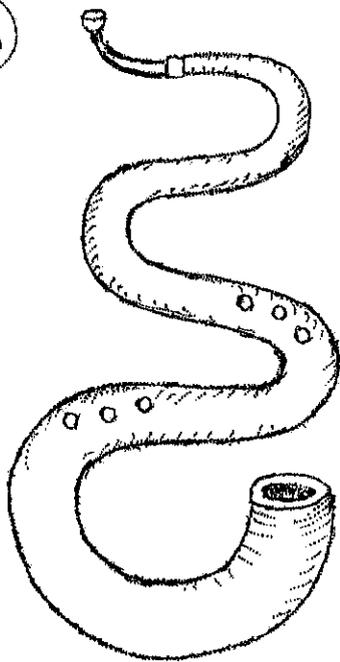
4a

CHAMP de LIBERTÉ d'une TROMPE de CHASSE

Le champ de liberté, énorme dans le grave, se réduit à moins d'un demi-ton dans l'aigu. D'où la difficulté de produire à coup sûr les partiels de rang élevé.



4b



LE SERPENT. C'est un cor à trous.

A cause de sa perce large et de sa grande embouchure ($\phi \sim 33\text{mm}$) on peut jouer en continu des notes sur près d'une octave, tous trous bouchés...

On peut se demander à quoi servent les trous, dont la place indique clairement qu'ils ne sont pas placés pour jouer une gamme diatonique. En fait, en débouchant tel trou, on vérifie que tel partial "accroche" mieux, et que le timbre de telle note est meilleur.

Le serpent a la réputation d'être un instrument faux; en réalité c'est un instrument difficile à jouer, comme le cor.

ne quantité d'énergie.

D'autre part, nous avons le système excitateur qui, lorsqu'il s'agit d'une embouchure de cor, est susceptible, tout à fait indépendamment du tuyau, de délivrer en continu et sur une large étendue, des sons riches en harmonique. Les oscillations de relaxation ainsi engendrées contiennent de même une certaine quantité d'énergie.

Si l'excitateur, et c'est évidemment possible, est accordé sur la même fréquence que le tuyau, en adaptant l'un à l'autre, onde stationnaire et onde d'excitation s'accrochent l'une sur l'autre. Il n'y a pas de problème; la hauteur perçue est celle de la bouche - ou celle du tuyau qui est la même dans ces cas.

Mais si l'excitateur n'a pas la même fréquence que le tuyau ils vont nécessairement réagir l'un sur l'autre, et ce de façon différente selon les cas.

Deux cas nous intéressent particulièrement ici :

- celui de notre expérience de tout à l'heure. On souffle sur le bord du tuyau ce qui revient à produire une lame d'air. Ce sont bien entendu les oscillations périodiques de celle-ci qui produisent le son perçu, car on ne peut évidemment entendre l'onde stationnaire qui reste par définition à l'intérieur du tuyau. Cette lame d'air est une anche aérienne très faible et déformable sous l'effet d'une force minime... Dans ces conditions, l'onde stationnaire, prédominante, règle la fréquence de l'anche, et la hauteur du son qu'on entend est à très peu de choses près celle que détermine la longueur du tuyau. Bref, dans le cas d'une anche faible, c'est le tuyau qui impose sa fréquence.

- Mais il n'en est plus du tout de même lorsqu'il s'agit d'une "anche forte" comme celle des lèvres avec embouchure de cor. On vérifie facilement que dans ces conditions les lèvres font vibrer la colonne d'air en vibrations forcées. Ce sont alors les lèvres qui, dans une large mesure, imposent leur fréquence au tuyau; étant entendu que si les lèvres sont accordées sur le tuyau, il y a résonance et on a dans ce cas le son le plus "plein", le plus facile. Le phénomène est le même si les lèvres sont accordées sur un partiél du tuyau : le son sort alors mieux que pour les fréquences voisines de celui-ci. Un tuyau excité par une embouchure de cor peut donc, en principe, donner des sons bien différents des partiels prévus par la théorie élémentaire, avec, cependant, des sons privilégiés.

En réalité, les lèvres ne réussissent jamais à imposer entièrement leur fréquence à un tuyau dans les conditions normales des instruments traditionnels existants. Tout dépend des dimensions de tuyaux; de leur "taille" en particulier, de leur amortissement, de l'angle du cône lorsqu'il s'agit de tuyaux coniques etc... Mais on vérifie que dans les instruments normaux; le musicien habile, peut effectivement réagir de façon importante sur l'onde stationnaire dans le grave (plus d'une quinte parfois).

La réaction de l'embouchure sur le tuyau devient cependant de plus en plus faible au fur et à mesure qu'on utilise des partiels de rang plus élevé.

Cette propriété (réaction excitateur-tuyau) se traduit par un "champ de liberté" très large. Rappelons de quoi il s'agit.

Le musicien joue le premier partiel d'une trompe (fig. 4a). On lui demande de monter le son "aux lèvres" le plus qu'il peut; puis de le baisser au maximum. On inscrit les extrêmes sur un diagramme. Puis on procède de même avec le partiel suivant, etc... Finalement on décrit ainsi le champ de liberté à l'intérieur duquel le bon musicien peut jouer les notes qu'il veut, étant entendu qu'elles ne sont pas toutes aussi "bonnes" ni aussi "faciles"....

L'allure de ce champ de liberté (de trompe de chasse) est tout à fait typique des instruments à embouchure de cor. On voit que dans le grave ce champ dépasse la tierce; dans l'aigu il est beaucoup plus étroit, à peine d'un demi-ton. Ces diverses observations éclairent d'un jour singulier toutes les discussions et tous les paradoxes ayant surgi entre théoriciens, facteurs d'instruments et musiciens :

e) - Conclusion sur les échelles des instruments à embouchures de cor

De ce qui précède découlent plusieurs conclusions nettes :

1°) Dès qu'on met une "anche forte" sur un tuyau, on peut démontrer expérimentalement tout ce qu'on veut avec des tuyaux de forme quelconque. Le musicien habile, qui sait régler sa musculature lippale et qui l'a puissante, réussira à jouer n'importe quelle gamme de sons discrets. Comme le champ de liberté est limité dans l'aigu (où les partiels sont très rapprochés) il lui suffira de régler les graves, dont le champ est énorme, jusqu'à obtention d'une série correcte.

Théoriquement certains sons sonneront mal, ne "sortiront" pas bien. Mais le constructeur de l'instrument a corrigé ces défauts en réalisant une forme de tube compliquée s'écartant notablement du tronc de cône ou du cylindre-cône, de telle façon que la série harmonique correcte devienne possible. L'instrument n'est donc finalement qu'un compromis viable ! Il va sans dire que s'il est joué par un débutant, les lèvres de celui-ci seront "attirées" par la réaction de l'onde stationnaire et il jouera faux, car aucun instrument à tuyau ne peut être juste, quelle que soit la forme qu'on lui donne ; la théorie est évidemment rigoureusement exacte de ce point de vue.

Autre observation : même en admettant qu'un tuyau ne donne que des partiels de la série impaire, le musicien habile saura faire sortir les "pairs" aux lèvres grâce au champ de liberté. En particulier, si l'on considère les partiels successifs de rang élevé, leur intervalles se réduisent de plus en plus au fur

...../

et à mesure que le rang augmente. Entre le partiel 9 et 10 par exemple il existe à peu près un demi-ton; or le champ de liberté est de cet ordre de grandeur ! On peut donc parfaitement produire des partiels pairs sur un tuyau qui n'aurait par définition que des partiels impairs ...

Bref, tout s'explique. La réalité est beaucoup plus compliquée que ce que nous apprend la théorie élémentaire. Les instruments de musique de ce type n'ont pas une forme géométrique définissable de façon simple; ce sont des compromis permettant de donner au mieux une série de partiels quasi harmoniques dans les meilleures conditions grâce au champ de liberté que possède tout instrument ainsi excité. Le musicien habile en fait ce qu'il veut; le moins habile ce qu'il peut ! Il devient ainsi possible de raccorder tout ce qui a été établi sur les tuyaux par les physiciens et vérifié d'autre part par la pratique expérimentale des facteurs et musiciens. Il va sans dire que pour jouer une certaine gamme sur de tels instruments il faut une excellente oreille, une capacité de se représenter mentalement la hauteur du partiel à atteindre, un entraînement suffisant pour régler la musculature compliquée des lèvres et la pression à développer pour l'"accrocher" sûrement, ce qui est d'autant plus délicat que son rang est plus élevé.

S'il était besoin d'une démonstration, il n'existe pas d'instrument plus intéressant que le SERPENT (fig.4b). Nous avons la chance d'en posséder un au laboratoire, aimablement prêté par M. Charles MAILLOT de Lyon. L'instrument est fait en bois, par demi-coquilles recollées ensemble à l'aide de bandes de cuir. C'est proprement un "cor des Alpes"; mais un cor des Alpes à trous latéraux ! MERSEINE nous en donne une description et nous parle de son jeu. L'instrument était utilisé bien avant lui et, jusqu'à l'orée de ce siècle, dans les petites églises où l'on n'avait pas d'orgue, afin de soutenir les voix. Il servait aussi dans les couvents de femmes pour suppléer l'absence de "basses" dans les chants religieux. Longtemps il fit partie des musiques militaires, où il fut remplacé ensuite par l'ophicléide en métal.

Le corps, replié comme un serpent qui rampe, est long de 2,50 m environ. L'embouchure, hémisphérique, avec un diamètre de 3 cm et plus, est fixée sur le serpent par l'intermédiaire d'un bocal en métal. La perce est assez large; les ouvertures sont respectivement de 2,5 et de 11 cm. L'instrument comporte 6 trous latéraux, disposés de façon que l'on puisse à peu près les recouvrir avec les doigts des deux mains; on utilisait pour plus de commodité des gants spéciaux en cuir. Un seul coup d'œil montre que la disposition de ces trous n'a rien à voir avec ceux d'une flûte où le débouchage successif détermine une montée par tons et demi-tons.

On vérifie que, tout bouché, on peut jouer en continu des notes recouvrant à peu près une octave ! A partir d'un certain point on a un saut au partiel suivant.... Le champ de liberté est donc énorme et on peut bien se demander pourquoi on y a ménagé des trous latéraux ! En fait, ils permettent d'accrocher plus fa-

cilement tel ou tel partiel désiré, de réaliser telle ou telle note avec un timbre plus beau qu'avec tel autre doigté. Le serpent (et le musicien qui en jouait) était assez généralement l'objet de risée : on en possède des témoignages ! Il était réputé pour être faux ! Mais nous savons ce qu'il faut en penser ! Il n'est "juste" et "beau" que lorsqu'il est joué par un musicien habile...

Quoiqu'il en soit, toutes les considérations précédentes vont nous permettre à présent d'aborder l'instrument qui est l'objet de notre propos ici, à savoir le cor, dont l'ancêtre direct est la trompe de chasse de l'Encyclopédie, et dont il convient de dire quelques mots.

Nous avons la chance d'avoir un sonneur de trompe avec nous, en la personne de M. Jean PIETRI, avec qui nous avons déjà fait naguère de nombreux enregistrements et spectrogrammes. Nous ferons sur ce sujet une réunion GAM l'an prochain où nous entrerons dans le détail. Mais d'ores et déjà je voudrais poser quelques questions à M. PIETRI.

III.- CONVERSATION AVEC M. PIETRI SUR LA TROMPE DE CHASSE

M. LEIPP : Fait-on toujours les trompes comme à l'époque de l'Encyclopédie ?

M. PIETRI : Oui. La trompe PERINET, que vous voyez ici et qui a une centaine d'années était faite ainsi, et les successeurs de PERINET conservent les mêmes traditions de fabrication. Certains fabricants réalisent maintenant les pavillons par déformation d'une seule pièce plane de métal sur mandrin approprié.

M. LEIPP : Vos embouchures n'ont pas les mêmes bords que celles des cors d'orchestre; leurs bords sont coupants !

M. PIETRI : Oui. N'oublions pas que nous sonnons à cheval et il ne faut pas que l'embouchure glisse sur les lèvres.

M. LEIPP : Les mesures que nous avons faites ensemble ont montré que vous émettiez des sons d'une intensité extraordinaire, 110 dB à un mètre... Cela doit vous poser des problèmes pour vous entraîner à Paris !

M. PIETRI : Oui. Beaucoup d'entre nous sont obligés de s'entraîner dans des caves !

M. LEIPP : Quel a été le rôle du Marquis de DAMPIERRE dans le cas de la trompe de chasse ?

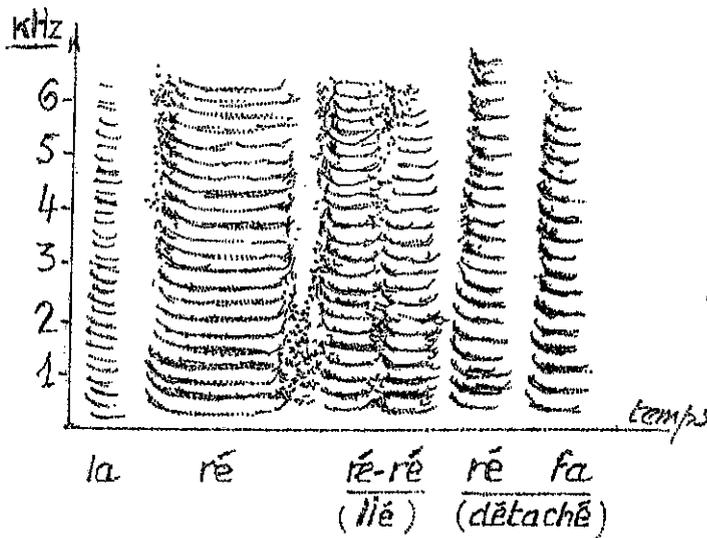
M. PIETRI : DAMPIERRE n'a fait qu'utiliser des cuivres qui existaient bien avant lui. Par contre il a écrit les sonneries, les fanfares qui constituent encore l'essentiel du répertoire actuel, quelques modifications à part, car la vènerie a évolué depuis.

...../

TROMPE de CHASSE

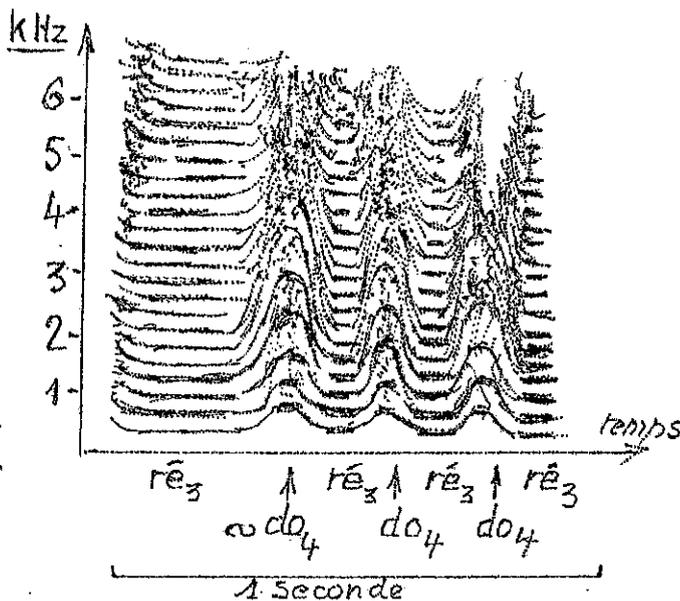
5a) Jeu normal.

Les spectres sont très riches: ils montent plus haut que 10 000 Hz... Les attaques sont très franches, avec des bruits; la très rapide baisse de hauteur est une caractéristique importante venant du style de jeu particulier aux sonneurs de trompe: le timbre est lié à ce phénomène que le sonographe seul peut mettre en évidence.



5b) Tayauté

Cet effet très particulier est difficile à analyser à l'oreille. Le sonogramme montre qu'il s'agit en fait d'un "passage" entre deux notes identiques (ré₃ ici) avec un très bref saut sur le partiel suivant, que l'on n'atteint pas tout à fait (la septième environ ici)



COMMENTAIRES: L'allure spectrographique des sons de trompe en jeu normal, beaucoup plus que de l'instrument, dépend de l'embouchure très particulière, à bords coupants, utilisée par les sonneurs, et du style de jeu (en particulier de la façon d'attaquer et d'arrêter les sons). L'intensité globale est énorme (110dB à 1 mètre) et les spectres, même filtrés par la distance et masqués par des bruits de fond variés, "portent" au loin (5 km et plus!)

M. LEIPP : Et avant DAMPIERRE ?

M. PIETRI : Les premières sonneries correspondaient à une espèce d'alphabet Morse utilisant la pédale (c'est-à-dire le son le plus grave effectivement possible avec la trompe, et qui correspond au partiel 2) et le "ton grêle" (partiel 3). On a parfois rajouté une troisième note; mais ces sonneries restaient de la signalisation.

M. LEIPP : Le grain de l'embouchure que vous utilisez est très petit, environ 3 mm de diamètre. D'autre part vous développez des pressions considérables souvent supérieure au mètre d'eau au manomètre à air libre, comme nous l'avons vérifié ensemble. Cela doit limiter la durée pratique des sonneries !

M. PIETRI : Oui. Mais cela donne au timbre une richesse extraordinaire.

M. LEIPP : En effet, nous avons vérifié qu'on trouvait des harmoniques intenses jusqu'à 12 000 Hz, au moins de près ... Il va sans dire qu'une partie de ces spectres est absorbée par la distance, le sous-bois etc... Mais il semblerait, d'après quelques essais que nous avons faits antérieurement, que la trompe porte très loin en sous bois; peut être à cause de la réverbération des feuilles qui sont statistiquement parallèles au sol.

M. PIETRI : C'est probable. Mais étant donné la richesse du spectre, dans toutes les conditions il en reste quelque chose à grande distance. La trompe porte à plusieurs kilomètres !

M. LEIPP : Une caractéristique très particulière du jeu de trompe réside dans les attaques : le son y baisse très rapidement avant de trouver sa hauteur normale; c'est très net sur les sonagrammes et il y a là une différence énorme avec le cor en orchestre (Fig.5a). Nous y reviendrons tout à l'heure avec des analyses comparatives. Une autre particularité est le "tayauté" au sujet duquel on a dit beaucoup de choses plus ou moins fantaisistes (fig.5b).

M. PIETRI : Oui. Je vais vous faire entendre cet effet. (Démonstration). Il se produit des phénomènes très rapides entre les notes jouées, que l'on a du mal à analyser à l'oreille, mais qui déterminent justement cette sensation très particulière.

M. LEIPP : Les sonagrammes montrent bien ce qu'il en est! Entre deux notes identiques jouées successivement, on voit un bref saut vers le partiel supérieur. On ne saute pas tout à fait à l'octave car le temps est trop bref, mais à la septième au moins dans certains cas, parfois un peu moins. Entre les deux notes successives il existe une espèce de "bruit blanc" très intense qui fait partie du phénomène. La méthode sonographique nous permet une fois de plus d'analyser ces phénomènes temporels rapides, très importants du point de vue perceptif et de comprendre ce qui se passe.

Pourriez-vous maintenant nous dire en quelle occasion vous jouez "bouché", ce qui produit un timbre très spécial ?

M. PIETRI : Oui ! C'est par exemple à l'occasion de la St-Hubert, où nous interprétons à la MADELEINE, le Te Deum avec les trompes. L'effet est très spécial : c'est vraiment de la musique diatonique, car en bouchant on peut jouer toutes les notes qu'on veut, ^{et combler} les "trous" de la série normale donnée par la trompe. Mais j'empiète là déjà sur le sujet dont va nous parler maintenant M. THEVET.

IV.- EXPOSE DE M. THEVET (résumé par M. LEIPP)

Au commencement, c'est la trompe de chasse qui fut utilisée à l'orchestre. La première fois ce fut par LULLY. Mais la musique des "cors" consistait alors tout simplement en sonneries de chasse classiques.

Lorsqu'on voulut par la suite intégrer la trompe à l'orchestre, il fallut résoudre plusieurs problèmes.

D'abord, il était indispensable de pouvoir accorder l'instrument au ton de l'orchestre considéré, qui, comme chacun sait, variait alors considérablement d'un lieu à l'autre. On adapta donc à l'instrument une coulisse d'accord permettant cette opération sans autres complications, sinon pour le facteur qui devait réaliser la coulisse correctement, sans fuites.

Le deuxième problème à résoudre était le suivant. Avec un cor simple accordé, on ne peut évidemment jouer qu'une seule série de partiels; on est donc limité à une tonalité unique (fig. 6 c). Si on veut moduler, rien ne va plus, car la série des partiels comporte des trous : le cor simple n'est pas chromatique...

Pour cela on imagina l'adjonction de tons. Le ton est un morceau de tuyau cylindrique tel que sur un bout on puisse adapter l'embouchure; l'autre bout est raccordé au cor. En procédant ainsi on allonge l'instrument d'une quantité donnée qu'il suffit de bien calculer pour baisser d'un demi ton, d'un ton, d'un ton et demi etc... Dès lors on peut jouer en toute tonalité.

Mais pour moduler en cours de jeu, il faut changer de ton. Ce n'est pas très rapide et il n'est pas question de le faire sans disposer d'au moins quelques secondes. Et puis, avec les treize tons placés devant soi, on risque bien des erreurs...

C'est alors qu'un corniste allemand, HAMPEL, découvrit qu'en bouchant plus ou moins le pavillon, on pouvait monter ou baisser la série des partiels d'un demi-ton. A part quelques notes graves, l'instrument devenait proprement chromatique... Mais le timbre des sons bouchés n'était plus celui de l'instrument normal; il était plus sourd, et il fallait une grande habileté pour harmoniser l'ensemble des sons joués dans ces conditions. A partir de 1760 donc, l'instrument est utilisé plus souvent en musique sympho-

nique. Dès lors, le cor ne joue plus uniquement des notes d'accompagnement, des tenues, qui rendaient les partitions de cor inintéressantes.... Ainsi MOZART a écrit 4 concertos pour cor où on utilise des sons bouchés. A l'orchestre, il écrit pour deux cors plus rarement pour 4 cors, chacun pouvant bien entendu utiliser des "tons" différents, ce qui étendait singulièrement les possibilités musicales. Dans la symphonie en sol mineur de MOZART le 1° cor est en si bémol, le deuxième en sol : en combinant les deux on avait pratiquement la possibilité de faire des lignes mélodiques continues... WEBER, dans le FREISCHUTZ faisait de même (2 cors en fa, deux en ut). Tous les compositeurs de cette époque utilisaient au mieux les différentes combinaisons de tons.

Cependant l'instrument, avec sa longueur unique restait incomplet.

C'est alors qu'on imagina le dispositif des pistons (ou des valves, en Allemagne surtout).

Il existe deux types de pistons qu'il faut définir :

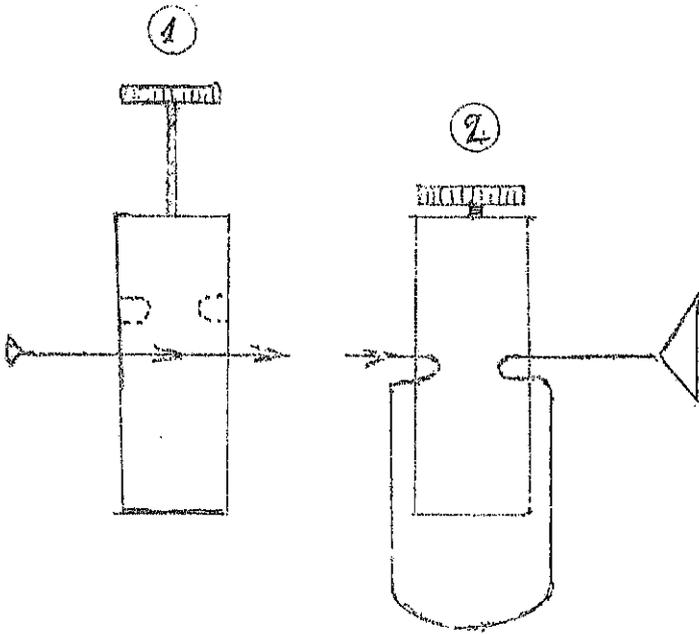
- le piston descendant
- le piston ascendant

Le principe de fonctionnement est bien simple (fig.6)

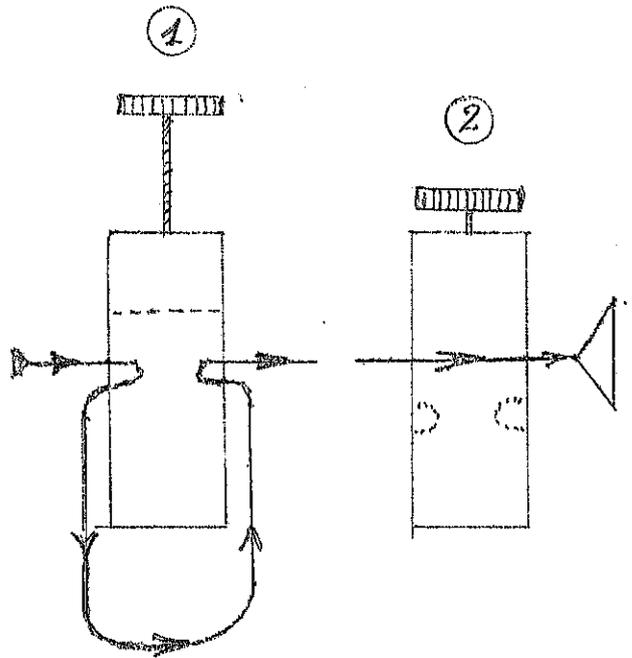
Voir figure 6 hors texte

Types de PISTONS:

⑥a descendant



⑥b ascendant



Piston descendant:

- 1° relevés l'air passe tout droit;
- 2° enfoncé: l'air passe dans une rallonge correspondant à une baisse de $\frac{1}{2}$ - 1 ou $1\frac{1}{2}$ tons.

Piston ascendant:

- 1° relevé: l'air passe dans une certaine rallonge
- 2° enfoncé: on déconnecte le circuit; le son monte de $\frac{1}{2}$ - 1 ou $1\frac{1}{2}$ tons.

Les pistons sont remplacés par des valves en certains pays (Allemagne par exemple). Le résultat est le même mais il est certain que des différences apparaissent sur les transitoires, donc dans le timbre.

⑥c La série des partiels "naturels"

Partial	Frequency Ratio
1	1/1
2	2/1
3	3/2
4	4/2
5	5/2
6	3/1
7	7/2
8	4/1
9	9/2
10	5/1
11	11/2
12	6/1
13	13/2
14	7/1
15	15/2
16	8/1
17	17/2
18	9/1
19	19/2
20	10/1

Dans le premier cas, on dispose une "rallonge" de tuyau donné, faisant par exemple baisser la note du tuyau d'un demi ton, d'un ton ou d'un ton et demi. En appuyant sur le piston (fig.6a 2), on intercale cette longueur sur le circuit, et le son descend de la quantité voulue.

Dans le deuxième cas, lorsque le piston est levé (fig.6 b1), on a une certaine longueur totale du tube. Si on appuie sur le piston (fig.6 b2), on en coupe une longueur donnée correspondant à un ton, (2 tons et demi) pour le piston manoeuvré par le pouce. Le son monte, puisqu'on raccourcit le tuyau : c'est le piston ascendant.

En résumé, le piston descendant rallonge le tuyau d'une certaine quantité quand on appuie dessus, et le son baisse. Le piston ascendant raccourcit le tuyau, et le son monte.

Appuyer sur un piston descendant ou ascendant revient à changer de "ton", avec l'avantage que cela se fait instantanément... Dès qu'on eut découvert le principe, on imagina diverses combinaisons :

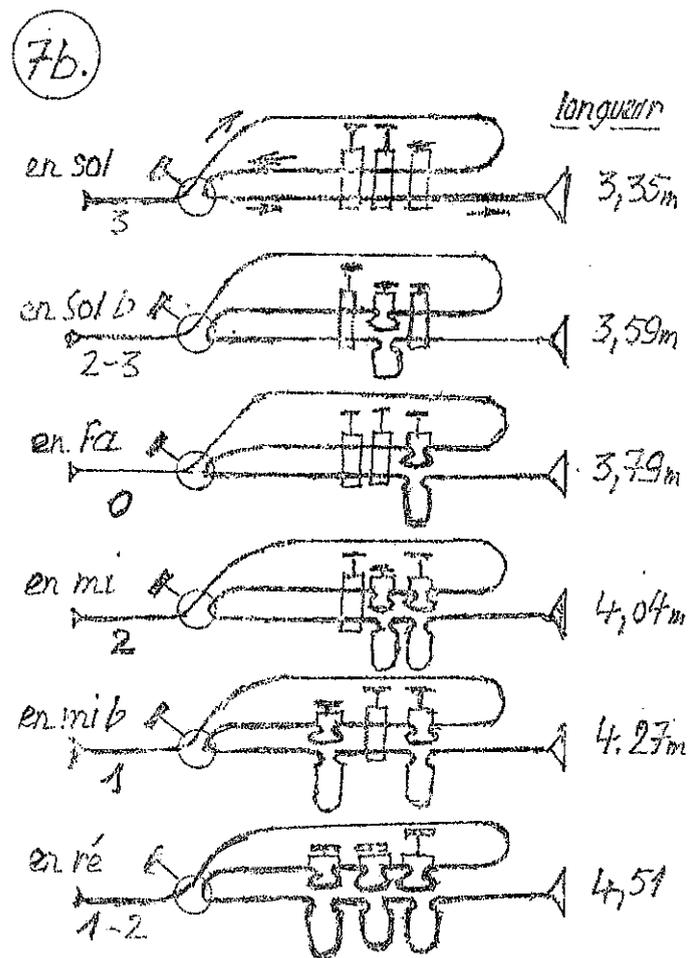
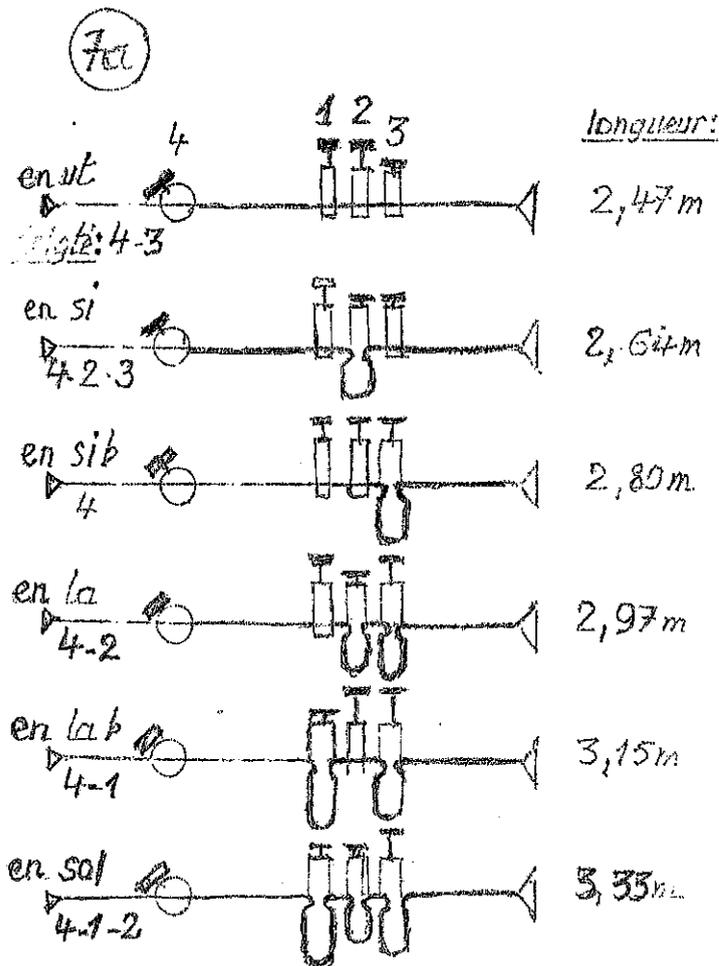
- le cor à deux pistons descendants (1815). Le premier baisse d'un ton, le deuxième baisse d'un demi-ton. D'où 4 séries de partiels; par exemple fa, mi, mi bémol et ré. On pouvait bien entendu rajouter des tons supplémentaires; cependant les "rallonges" des pistons n'étaient plus correctes alors et il fallait les réaccorder par les coulisses. Mais on avait en fait ainsi un cor chromatique. Mon illustre prédécesseur MELFRED, joua un solo de cor à pistons au premier concert de la Société des Concerts (1er Mars 1827). De 1834 à 1864, il enseigna au Conservatoire de Paris le cor à pistons. A partir de 1864, il subsistait une seule classe de cor, où l'on enseignait le cor à pistons et le cor simple. L'enseignement du cor simple fut abandonné vers 1900.

- Le cor à trois pistons : 3ème piston descendant.

Les 3 pistons levés, il sonnait en fa. Le 1er et le 2ème piston avaient le même effet que sur l'instrument à 2 pistons qui vient d'être décrit. En enfonçant les pistons 2 et 3 on était en ré bémol; avec 1 et 3 on était en ut; avec 1, 2, 3 en si grave. L'instrument était assez difficile à jouer, car du fait de son long tuyau, il fallait produire des partiels de rang élevé, ce qui occasionnait fréquemment des "canards" en raison de leur très grande proximité, et en raison de l'étroitesse du champ de liberté vers l'aigu. Mais on avait maintenant un instrument chromatique de 3 octaves 1/2 environ...

L'usage du cor à 3 pistons se généralise assez rapidement à partir, et sous l'impulsion de WAGNER. Mais SCHUMANN et SAINT SAENS continuent à utiliser, parfois simultanément cor simple et cor à pistons. Des réticences se firent jour comme chaque fois lorsqu'on propose un instrument nouveau ou un perfectionnement. La plupart des cornistes utilisaient d'ailleurs le cor à pistons comme cor simple, en continuant à pratiquer la technique de bouchage partiel. Dans certaines oeuvres, par exemple la Villanelle de Paul DUKAS, les élèves, lors du concours du Conservatoire de-

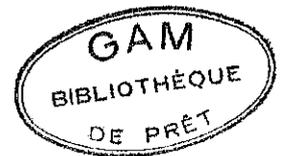
LE COR A 4 PISTONS - 4ème et 3ème ascendants



Schémas des doigts d'après la METHODE DE COR de THÉVET

En 7a, le piston 4 est enfoncé: on déconnecte le circuit complémentaire.

En 7b, le piston 4 est relâché: le circuit complémentaire entre en jeu.



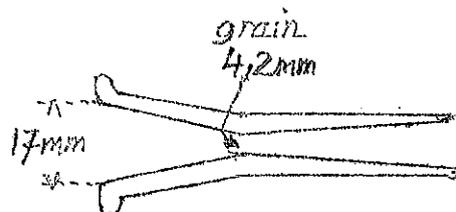
8a

en ut en ré en mi en fa

Passage de L'OR DU RHIN



Embouchure de cor selon MAHILLON



selon THÉVET

vaient montrer qu'ils savaient jouer encore du cor simple : la première page était indiquée " cor simple " !

- le cor à 3 pistons, 3ème piston ascendant (1890) : L'instrument sonnait toujours en fa, les trois pistons étant levés. Mais le raccourcissement du tube augmentait considérablement la sécurité de l'attaque des notes. Il est en effet beaucoup plus facile de "piquer" le partiel 6 duun tuyau, que le partiel 12 d'un tuyau deux fois plus long

- le cor à double circuit, Fa-si bémol à 4 pistons (1920) : 3 pistons descendants, plus 1 piston ascendant commandant le circuit complémentaire. Le fait de rajouter un circuit complémentaire permettait de plus en plus de jouer les notes du médium pour chaque série de partiels, au grand bénéfice de la sûreté du jeu. Ce modèle, qui existe à pistons (France) et à valves (Allemagne) n'a guère fait d'adeptes en France.

- le cor à 4 piston, 3ème et 4ème pistons ascendant (1930) (fig. hors texte). Il augmenta encore les avantages précédents. Dans sa plus petite longueur : doigté 4-3, l'instrument passe en ut aigu (octave grave de la trompette). Il existe 11 combinaisons de doigtés d'ut aigu à ré, le ton de la trompe de chasse. L'instrument est chromatique avec un grand nombre de notes que l'on peut produire avec des combinaisons de pistons différentes. Le schéma de fonctionnement (fig.7, feuille séparée) se passe de commentaires. C'est un instrument à peu près parfait, dont on ne voit plus ce qu'on pourrait perfectionner... Pour l'apprécier pleinement, voici un petit duo pour cor de GALLAY que vont nous interpréter M. ADNET Corniste à l'OPERA et M. VOUREY corniste à la Garde Républicaine.

M. LEIPP : Une chose est claire : le cor est un merveilleux instrument, mais combien difficile à jouer... Le seul problème de lecture apparaît comme un véritable casse-tête à un violoniste !

M. THEVET : On écrit toujours le cor en fa; les jeunes musiciens entendent en ut, ce qui simplifie bien des choses. Mais il est certain que la transposition continuelle pose bien des problèmes.

Dans la partition de l'OR DU RHIN (fig.8a) on le voit bien. A chaque note on est obligé de substituer mentalement une nouvelle clef... On retrouve la même chose dans un passage de ROMEO ET JULIETTE, de BERLIOZ. Les cornistes devaient se partager les notes... au détriment de l'homogénéité du jeu.

M. LEIPP : La fabrication du cor doit être singulièrement plus difficile que celle de la trompe

M. THEVET : Sans doute. Mais on sait faire à présent des pistons mécaniquement très précis ajustés au 1/100° de mm. Les pavillons sont repoussés à partir d'une plaque. Les tubes remplis de plomb sont cintrés sur des formes en bois.

M. LEIPP : A propos de pavillons, nous avons fait avec vous une série d'expériences en relevant les "courbes de réponse" de pavillons; on démonte d'abord le pavillon de l'instrument, ensuite, on

...../

le revise etc... Les analyses ont montré que le pavillon joue un rôle de résonateur, en plus de son rôle sur l'onde aérienne. En particulier nous avons pu voir que l'absence de pavillon provoquait la réjection de toute une bande spectrale entre 1000 et 3000 Hz dont le rôle est important du point de vue auditif.

Nous avons fait de même toute une série d'expérimentations assorties d'analyses spectrales et dont voici quelques unes des plus intéressantes. Nous utilisons la méthode du sonographe qui, seule, rend compte de l'évolution de la fréquence dans le temps; or cette évolution est déterminante dans le timbre et la "sonorité" du cor, en particulier dans les transitoires d'attaque et d'extinction, dont le sonogramme fournit des "images" tout à fait "parlantes", raccordables avec la sensation auditive.

EXEMPLES : - embouchure diverses (fig.8 b)
- jeu de cor avec et sans pavillon (9a)
- jeu ouvert-bouché d'un même passage (9b)
- Rôle de la sourdine (9c). A ce propos signalons qu'on en a imaginé d'innombrables modèles, faits de toutes sortes de matériaux et de toutes les formes possibles. La sourdine en bois de M. THEVET conserve la richesse spectrale; mais l'équilibre des spectres est quelque peu affecté : le fondamental avec sourdine semble statistiquement plus faible etc.. Avec la sourdine de métal, on atténue fortement toute une bande grave, de 100 à 1500 Hz. Ce modèle permet de jouer toutes les notes avec le timbre du cor bouché ! Cette nouvelle sourdine remplace avantageusement la main pour l'exécution des "sons bouchés".

MERSENNE signale que la sourdine existait de son temps; mais elle servait à atténuer le son afin que l'ennemi n'entende par les signaux ...

- un glissando (9d). Il balaye en fait très rapidement toute la série des partiels du bas en haut. A l'oreille on entend effectivement un son glissé cependant les notes de la série "accrochent" au passage et on le voit bien sur les sonogrammes : le son reste "granuleux"....

- le staccato (9e) peut être binaire. On l'obtient en prononçant ta ka, ta ka très rapidement... Lorsqu'il est ternaire, on prononce ta ta ka, ta ta ka, et la troisième note n'est jamais aussi claire et nette que les autres. Le sonogramme le montre bien.

- Une spectrographie intégrale de l'aigre au grave de l'instrument joué en gamme chromatique montre plusieurs choses. D'abord l'extrême habileté du musicien, M. THEVET découpe le temps d'une façon très stricte, sans aucun "bafouillage" nulle part. Ensuite, le timbre est très homogène sur toute l'étendue ainsi que la justesse. Etant donné ce que nous avons précisé sur la difficulté de "piquer" les notes justes sur cet instrument, on comprend que M. THEVET affirme qu'il faille au moins 10 ans pour former un corniste convenable.

...../

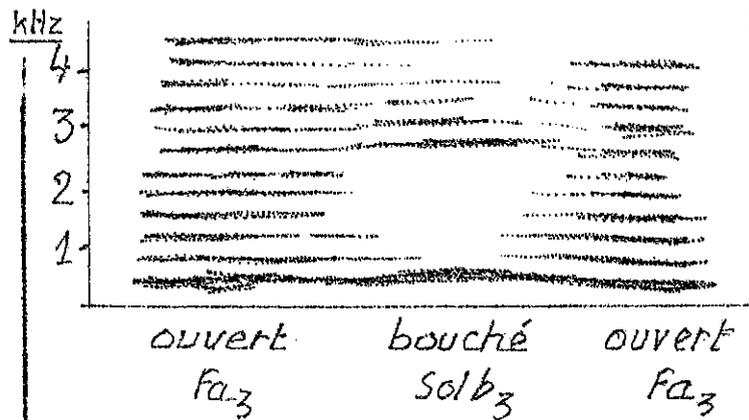
Fig 9

(a) PAVILLON



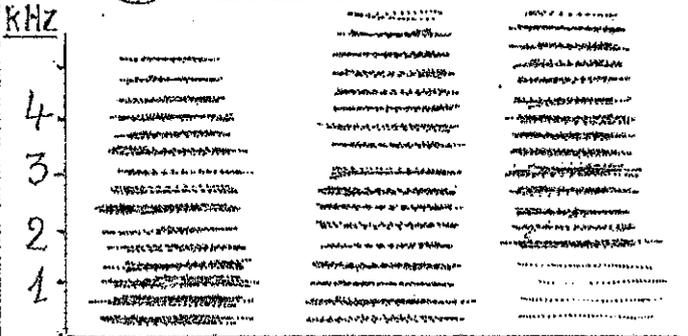
Le pavillon "homogénéise" les spectres.

(b) BOUCHAGE



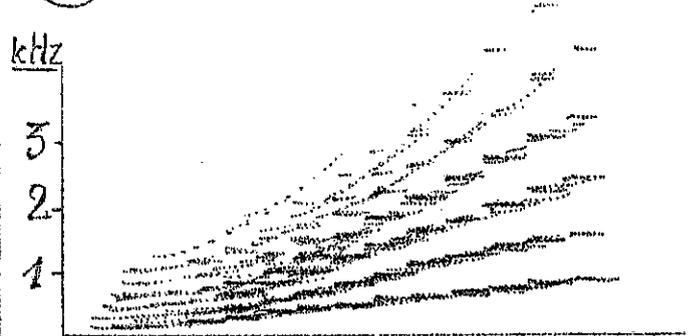
En bouchant à moitié seulement, le son baisse (fa-mi-fa); le timbre devient sourd dans les deux cas.

(c) SOURDINE



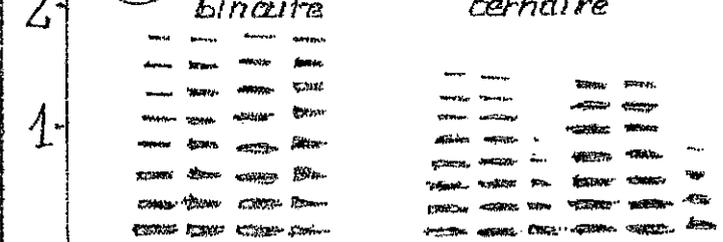
La répartition de l'énergie dans le spectre - donc le timbre - se modifie.

(d) GLISSANDO



C'est une suite rapide de sons discrets qui fusionnent auditivement simulant le glissando vrai - qui est continu.

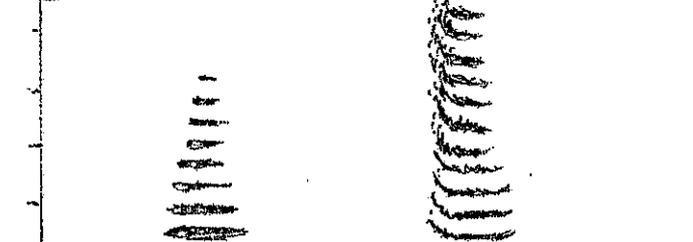
(e) STACCATO



ta ka ta ka ta ta ka ta ta ka

Le "ka" ne "sort" pas très nettement dans le staccato ternaire

(f) COMPARAISON cor-trompe



cor trompe

Le spectre est très différent: le son est plus "pur" plus "ronc", moins "cuivre" et moins "bruyant" pour le cor.

- la comparaison trompe de chasse et cor (9F) est on ne peut plus éloquente. Les caractéristiques de son de trompe, définies plus haut tranchent avec celles du cor. Pour ce dernier instrument, les notes sont beaucoup plus "pures"; les attaques sont très précises : on est tout de suite sur la bonne hauteur !

M. THEVET - Il convient de citer un point très important; c'est celui de la respiration, difficile à régler lors du jeu. Pour attaquer, il faut se préparer assez à l'avance. Enfin, les partiels 5, 7, 9, 10, sont trop bas et il faut sans cesse corriger aux lèvres sous le contrôle de l'oreille.

M. LEIPP - Le sujet, comme on voit, n'est pas épuisé ! Mais comme il est fort tard, il faudrait laisser un peu de temps pour les questions.

o
o

V - QUESTIONS

M. SIESTRUNCK - Avec le principe des pistons ascendants, laissant en permanence des " rallonges " dans le circuit, on doit avoir des problèmes de condensation d'eau... Et on sait bien qu'alors les notes sortent mal. On a sans doute multiplié les clefs d'eau.

M. THEVET - On a deux clefs d'eau. Mais on ôte de temps à autre les coulisses pour les vider.

M. SIESTRUNCK - Récemment, à l'occasion d'une émission radiophonique, un de vos collègues disait qu'on ne pouvait faire les trilles rapides qu'aux lèvres, par exemple dans MOZART.

M. THEVET - C'est exact. Si on voulait les réaliser avec les pistons, ce serait beaucoup trop inerte et la synchronisation lèvres-pistons devient incertaine.

M. SIESTRUNCK - La lutte entre partisans du cor simple et du cor à pistons a dû être longue..... Quels étaient les arguments des partisans du cor simple ?

M. THEVET - On ne change pas si facilement des habitudes, tant manuelles qu'auditives Les partisans du cor simple prétendaient que la sonorité de leur instrument était plus belle, plus variée, plus colorée. En fait, aujourd'hui personne ne sait bien jouer en cor simple et il est certain qu'on obtenait des effets différents du cor à pistons. Mais rien n'empêche de jouer en cor simple sur le cor à pistons !

M. SIESTRUNCK - Il resterait à montrer que le timbre n'est pas altéré par les multiples "tournants" des circuits. D'autre part, je crois me rappeler qu'il y eut autrefois des grèves des cornistes contre Richard Strass.....

...../

M. THEVET - A juste titre ! Richard STRAUSS semble s'être ingénié à compliquer l'écriture, on ne sait trop pourquoi. Dans toutes ses oeuvres on change de ton à chaque instant alors que c'est parfaitement inutile. Ainsi, dans le Chevalier à la Rose, il y a un passage écrit en clé de Fa, pour cor en sol, avec une altération à chaque note. Très difficile à transposer, ce passage serait beaucoup plus aisé s'il était noté selon l'écriture habituelle.

M. DUPREY - Il y a une différence de sonorité entre l'école française et l'école allemande. J'ai entendu dire que la perce était en cause.

M. THEVET - Il existe aussi des différences de perce en France... mais c'est surtout le style de jeu qui change, et la façon d'émettre les sons, d'articuler chaque note.

M. LEIPP - Ne croyez-vous pas que le système à valves puisse jouer un rôle de ce point de vue ? Il y a certainement des différences dans les transitoires entre pistons et barillets.

M. THEVET - C'est possible; mais c'est surtout la différence des techniques de jeu; on continue à boucher le pavillon en Allemagne, en particulier.

M. BATT - Au Konzert Musikhaus de Vienne on vient de donner une reconstitution des oeuvres de BACH. Les cornistes utilisaient des cors simples. Ils disaient avoir plus de mal à s'en servir, mais finalement ils étaient musicalement plus satisfaits à cause de la balance des intensités. Peut-on jouer très piano avec le cor moderne.

M. THEVET - Autant que l'on veut; il suffit d'être entraîné. Dans le suraigu c'est plus difficile.

M. PIETRI - J'ai étudié la question des cuivres dans RAMEAU. En 1730 on jouait dans le style de l'école de la Grande Ecurie, c'est-à-dire avec des sons pleins. Les sons amortis ont été introduits par l'école de Mannheim, par STAMITZ (Concert spirituel, 1750). Il est certain que les joueurs de trompe entendent l'échelle naturelle; un morceau de musique, par exemple le Te Deum de CAMPRA, prend une couleur tout à fait particulière lorsqu'il est joué sur cette échelle par des trompes.

M. LEIPP - Notre orgue expérimental est pratiquement achevé; nous pourrions alors attaquer cette question si controversée. De toutes façons, il est certain que nous avons un autre conditionnement auditif et d'autres habitudes auditives que nos ancêtres; les reconstitutions historiques sont donc toujours peu démonstratives; nous serions probablement déçus si nous entendions l'orchestre de Rameau ou de Bach

M. SIESTRUNCK - Il est maintenant certain que nous n'épuiserons pas toutes les questions posées ce soir. Je voudrais encore remercier très vivement M. THEVET qui a bien voulu nous consacrer beaucoup de son temps; et je vous donne rendez-vous l'an prochain avec M. PIETRI autour de la trompe, autre sujet passionnant que nous n'avons fait qu'effleurer.

BIBLIOGRAPHIE

M. THEVET, cor solo à l'OPERA de Paris et Professeur au Conservatoire de Versailles a publié une METHODE DE COR en deux volumes (chez LEDUC, Paris).

- 1°) BOUASSE (H) - Acoustique Générale. DELAGRAVE, Paris 1926.
- 2°) BOUASSE (H) - Tuyaux et résonateurs. DELAGRAVE, Paris 1929.
- 3°) BOUASSE (H) - Instruments à vent. DELAGRAVE, Paris 1929.
- 4°) RICHARDSON (E.G.) - L'acoustique des Cors et Trompes in Acoustique Musicale Ed. CNRS 1959.
- 5°) MEYER (Jürgen) - Akustische Untersuchungen über den Klang des Hornes - Das Musikinstrument, Heft 1 et 2 (1967)
- 6°) ISING (H) -
Über die Tonbildung in Orgelpfeifen.
Compte-rendus du Congrès International d'Acoustique (ICA)
Liège 1965.
- 7°) LEIPP (E) - Mécanique et acoustique de l'appareil phonatoire
Bulletin G.A.M. N° 32 (Paris) 1967 .

M. W. AEBI nous a également communiqué les résultats de ses recherches sur la localisation des noeuds et ventres dans des instruments réels, mais de forme droite, ce qui permet d'introduire dans le tuyau des sondes. M. AEBI prépare actuellement un ouvrage sur la trompe où il donnera l'ensemble de ses résultats. La figure 3c de ce texte représente un relevé de M. AEBI.