

M. CASTELLENGO . F.DROUIN . P.SECHEZ

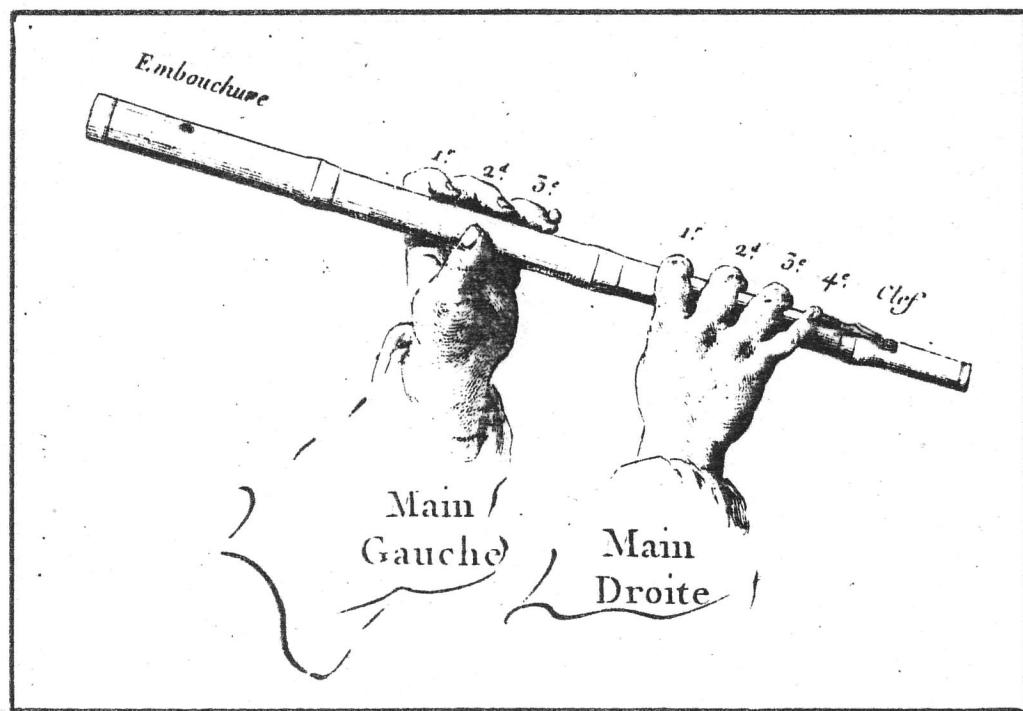


LA FLUTE TRAVERSIERE

A UNE CLEF

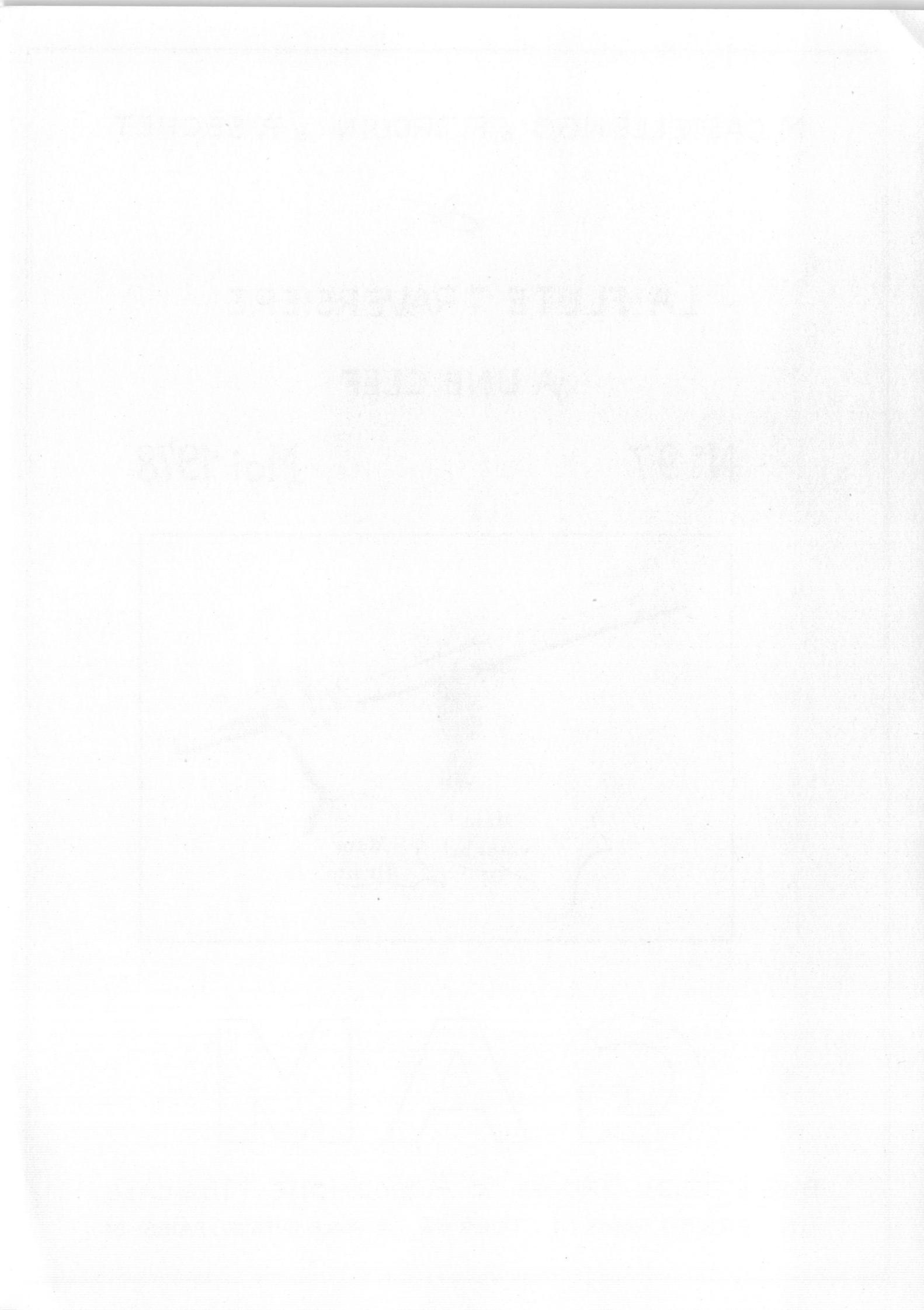
N° 97

Mai 1978



G A M

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



G. A. M.
Groupe d'Acoustique Musicale
Université Paris VI
Tour 66 - 5ème étage
4 Place Jussieu, Paris 5^e

Paris, le 1er Février 1980

BULLETIN N° 97

LA FLUTE TRAVERSIERE A UNE CLEF

REUNION DU 19 Mai 1978

M. SIESTRUNCK, Président, n'a pu être des nôtres.

Etaient présents :

M. LEIPP, Secrétaire Général,
Mlle CASTELLENGO, Secrétaire.

Puis, par ordre d'arrivée :

J.L. VAL (Maître Assistant); J. KERGOMARD (CNRS); F. DROUIN (Facteur de flûtes); P. SECHEZ (Musicien); Ph. SUZANNE (Musicien); Mlle VIAIN, M. HAMON (Musiciens); M. QUESNE (Prof. Math.); M. BAERD (ONERA); M. LIBAULT (Ingénieur du son); Mc LEAN (Musicien); Mlle JACQUOT (Institutrice); M. COMITI (Facteur de Flûtes de pan); M. COUSSON (Etud. Architecte); M. KREISE (Prof.); M. LANGELLIER (Fonctionnaire); M. Hugo REYNE (Lycéen); Mme BUBUR (Ingénieur); M. BATT (Assistant); Mlle EVISON (Etudiante); M. ALLAIN-DUPRE (Etud.); M. Olivier COSTE (Etudiant); Mme CHARPENTIER (Prof.); Mme D. PISTONE (Prof.); Mme DECHARIAUX (Technicienne); M. et Mme MULLETIN (Enseig. Paris VII); Mme Colette SECHEZ, M. Marc ECOCHARD (Hauboïste); Mlle LAMBERGER (Etud.); M. Marc HANTAI (Musicien); Mme MARTHELOT (Prof.); M. CORDEAU (Prof.); Mlle JOHN; M. DUPERRON (Organiste); Mlles Anne et Claire MICHON (Etudiantes); M. GUIRAUD (Ingénieur); M. LEGUY (Ingénieur, Facteur d'instruments); M. CARRE, M. R. CAUSSE (IRCAM); M. HARLETON (Facteur); M. CONDAMINES (Acousticien). M. DUGOT (Revue Musique Ancienne); Dr KADRI (Orthophoniste); Mlle LONGUET-MARY (Etud.); Mlle O. LACROIX (Etudiante); M. LEGROS (Ingénieur); M. M. DURVIE (Luthier); J.M. FONTAINE (Cnam); M. P. DUMOULIN; M. CEOEN (R.T.B.); M. KURZ (Buffet Crampon);

Excusés :

Mme BRAN-RICCI (Conservateur du Musée Instrumental du CNSM) et M. et Mme ABONDANCE; M. ROBIN; M. JAQUIER (Atelier du CNSM); M. Robert MEYLAN; Philippe BOLTON; Daniel FRIEDERICH; Mme STRAUS.; P. JOSSERAND; R. LEHMANN; M. et Mme BRAND; Luc ETIENNE; M. SOLE; M. GEUENS; J.C. VEILHAN; Mme OTTIE; M. HERON; M. BARJON; Mlle DINVILLE; Francis RAPPART; Mlle OLIVIER; J.CL. CARPENTIER; M. POUBLAN; Loïs BELTON-HEMARD; Hélène d'YVOIRE; M. DECOLOGNE; Bruno SCHLEMMER;

PERIODIQUE : 6 numéros annuels

Directeur de la Publication : M. le Professeur R. SIESTRUNCK

N° d'inscription à la Commission Paritaire : N° 819 ADEP

Diffusion du bulletin G.A.M. :

LE DROIT CHEMIN DE MUSIQUE
5, Rue Fondary
75015 - PARIS - Tél. 575 12 14

Notre étude n'aurait pu être réalisée sans l'accès aux instruments originaux. Que soient ici remerciés les collectionneurs qui ont contribué à notre travail, et en particulier Madame BRAN-RICCI Conservateur du Musée Instrumental du Conservatoire National Supérieur de Musique de Paris.

LA FLUTE TRAVERSIERE A UNE CLEF

Acoustique , jeu , facture

par

Michèle CASTELLENGO

François DROUIN

Pierre SECHET

P L A N

I - LA FLUTE TRAVERSIERE - DEFINITION

II - FONCTIONNEMENT DE L'INSTRUMENT ET ROLE FONDAMENTAL DU MUSICIEN

- a) Divers modes d'un tuyau, partiels et harmoniques
- b) Le système jet d'air-biseau.
- c) La technique d'embouchure

III - LIMITES DE LA REDECOUVERTE OBJECTIVE DES INSTRUMENTS DU PASSE

IV - AVANT LA FLUTE A UNE CLEF : A BRICHEVART STUDY AU

- a) Les documents
- b) Etude des tablatures
- c) Données acoustiques : la taille, les trous, la justesse des partiels, sons de base et de fourche.

V - LA FLUTE TRAVERSIERE A UNE CLEF : DES HOTETERRE A DEVIENNE

- a) Définition
- b) Origine
- c) Les instruments, les facteurs
- d) Perce Longitudinale et latérale

VI - DONNEES ACOUSTIQUES SUR LE TUYAU

- a) Le tuyau cylindro-conique : conséquences acoustiques et musicales.
- b) Contrôle acoustique de la perce : Le champ de liberté en hauteur des partiels.
- c) Modification de la perce du pied.

VII - CARACTERISTIQUES SONORES ET MUSICALES DE LA FLUTE A UNE CLEF

- a) Les méthodes
- b) Les tablatures
- c) Observations sur les sons à baisser ou à monter. Accord des \sharp et des \flat

VIII - JUSTESSE DE LA FLUTE A UNE CLEF

- a) De la justesse
- b) Justesse et tempérament
- c) Un test pratique de justesse : le champ de liberté des hauteurs
- d) Examen du champ de liberté de quelques flûtes à une clef

PLAN (Suite)

- VIII - e) Référence au tempérament à tierces pures.
 f) La justesse mélodique en cours de jeu.
 g) Place du bouchon et son rôle sur la justesse et la sonorité de la flûte
 h) Mise au diapason. Le tirage de la tête - les corps de recharge

IX - ETUDE DU TIMBRE

- a) Définition
b) Analyse acoustique du timbre de la flûte à une clé
c) Les facteurs qui conditionnent le timbre de la flûte à une clef.

X - LE JEU DE LA FLUTE TRAVERSIERE A UNE CLEF

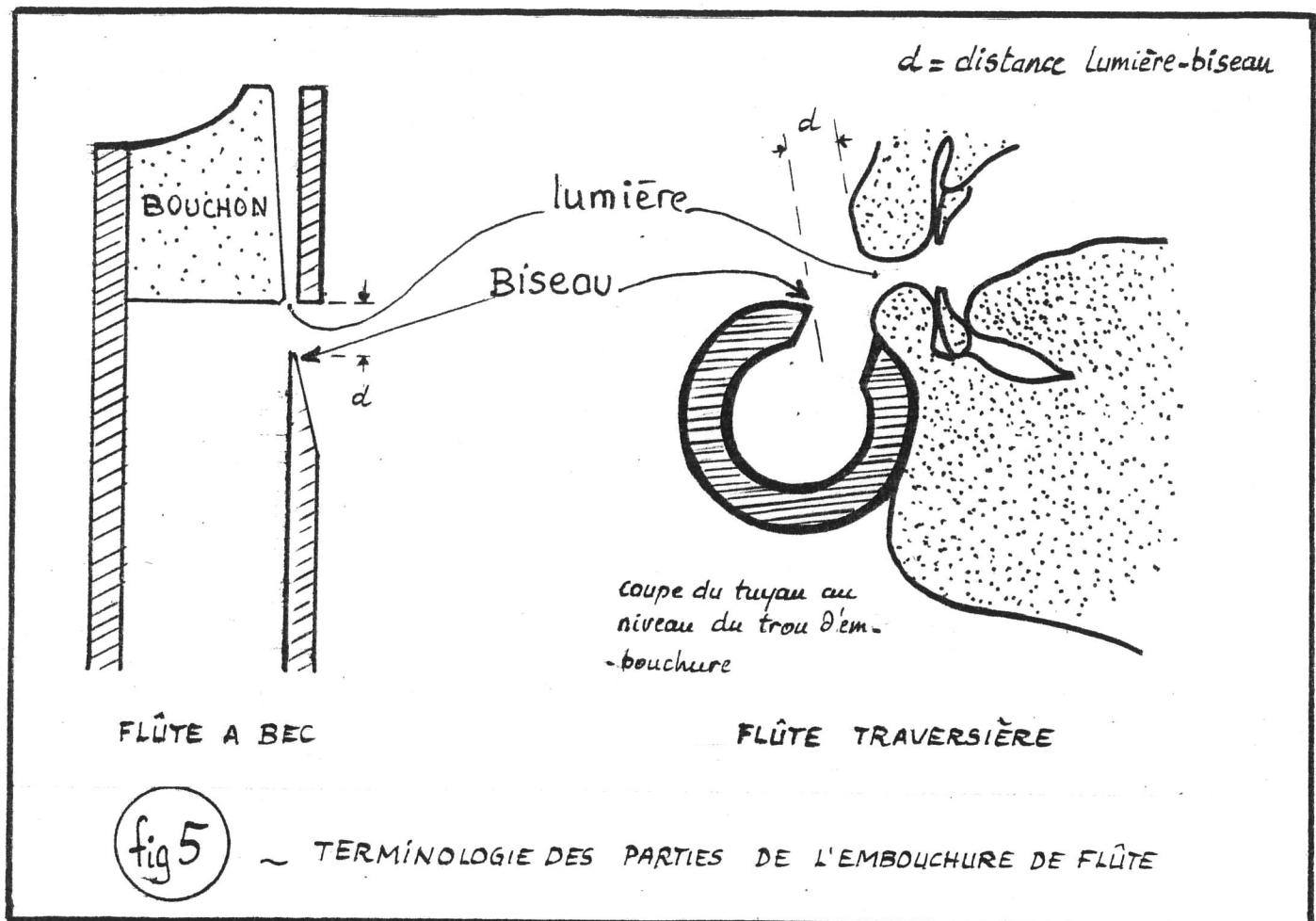
- a) La production du son
b) Le choix ou modification des hauteurs
c) L'articulation

XI - FACTURE DE LA FLUTE A UNE CLE

- a) L'outillage d'extérieur
b) La perce
c) Les bois
d) Faire une flûte aujourd'hui.

BIBLIOGRAPHIE

GAM97 - PLANCHE 1



VITESSE d'écoulement (ou pression)	→ DÉBIT	→ intensité
	→ FREQUENCE D'OSCILLATION DU JET	→ hauteur → changm ^t régime
SECTION de la LUMIÈRE (ouverture des lèvres)	→ DÉBIT	→ intensité
DISTANCE LUMIÈRE-BISEAU (longueur du jet : d)	→ FREQUENCE DU SON DE FAISEAU	→ choix du régime (octavation)
DIRECTION DU JET	→ FORME DE L'OSCILLATION	→ timbre
	→ LISSON JET-TUYAU	→ chose du régime
FORCE DE LA LUMIÈRE	→ FORMATION DU JET diffusion, direction...	timbre
TOUS CES PARAMÈTRES SONT PLUS OU MOINS INTERDÉPENDANTS		

fig 6

TABLEAU DES PARAMÈTRES
DE L'EMBOUCHURE DE FLÛTE

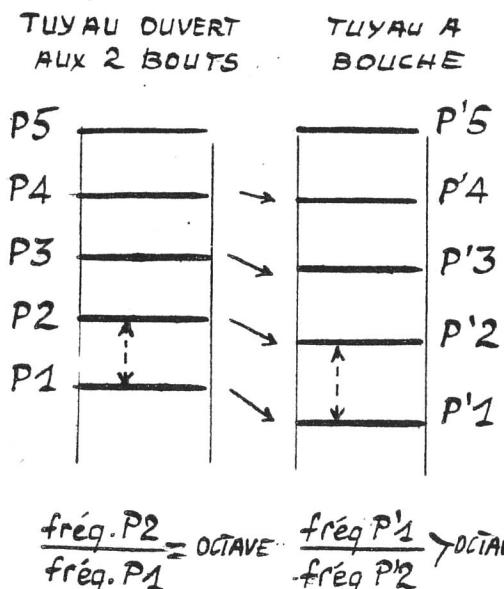


fig 4

ABAISSEMENT Dû A LA FERMETURE
PARTIELLE DE LA BOUCHE

LA FLUTE TRAVERSIERE A UNE CLEF

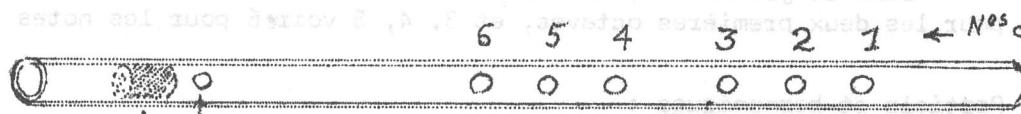
par M. CASTELLENGO - F. DROUIN - P. SECHET

I - LA FLUTE TRAVERSIERE. DEFINITION

Les mots latins "fistula" (tuyau), "flatus" (souffle ou haleine), "flatare" (jouer de la flûte), sont à l'origine du mot français : flûte. "Traversière" se rapporte à la manière de tenir l'instrument, par opposition aux flûtes droites ou obliques. Rappelons que la flûte traversière semble absente de l'ancienne civilisation grecque.

Un simple tuyau devient une flûte traversière lorsqu'il est muni :

1. d'un système d'excitation : trou d'embouchure latéral.
2. dans la plupart des cas d'un bouchon qui, placé non loin de l'embouchure, empêchera l'excitation de se propager dans l'autre partie du tuyau.
3. de plusieurs trous latéraux dont la fermeture et l'ouverture contrôlée par les doigts du joueur modifieront la longueur acoustique du tuyau.



II - FONCTIONNEMENT DE L'INSTRUMENT ET ROLE FONDAMENTAL DU MUSICIEN

a) Divers modes d'un tuyau, partiels et harmoniques.

Un tuyau dont l'excitation est entretenue périodiquement est susceptible de vibrer selon divers modes ou régimes. Pour un tuyau cylindrique ouvert aux deux bouts la disposition des noeuds et ventres de vitesse de l'onde stationnaire est bien connue pour chaque mode (fig.2)

Le son correspondant à un mode donné est appelé partiel et il porte le numéro. On peut voir d'après la position des ventres de vitesse que le partiel 2 est à l'octave du partiel 1, le partiel 3 à la douzième, le partiel 4 à la double octave. Soit, en désignant par F_1 la fréquence du partiel 1 :

Fréquence du partiel 2 = 2 F_1

Fréquence du partiel 3 = 3 F_1

Fréquence du partiel 4 = 4 F_1 etc...

mode 1	v	n	v	n	v
2	v	n	v	n	v
3	v	n	v	n	v
4	v	n	v	n	v

etc...

Figure 2

.....

Ce cas idéal ne se rencontre jamais dans la réalité car le tuyau est toujours partiellement bouché au bout où se trouve l'embouchure. Cette fermeture entraîne un abaissement de la fréquence de tous les partiels. Un calcul simple sur les 3 premiers partiels va nous permettre d'en comprendre les conséquences.

Tuyau cylindrique ouvert aux 2 bouts

$$P_1 = 100 \quad \frac{P_2}{P_1} = \frac{200}{100} = 2 \quad [\text{Octave}]$$

$$P_2 = 200 \quad \frac{P_3}{P_2} = \frac{300}{200} = 1,5 \quad [\text{Quinte}]$$

$$P_3 = 300$$

comparés au partiel 1, les partiels 2 et 3 sont "justes".

Tuyau cylindrique partiellement fermé à 1 bout

$$P_1 = 80 \quad \frac{P_2}{P_1} = 2,25 \quad [\text{Plus grand que l'octave}]$$

$$P_2 = 180$$

$$P_3 = 280 \quad \frac{P_3}{P_2} = 1,55 \quad [\text{Plus grand que la 5^{te}}]$$

comparés au partiel 1, les partiels 2 et 3 sont trop haut.

figure 3

Dans le jeu de la flûte traversière on utilise couramment les partiels 1 et 2 pour les deux premières octaves, et 3, 4, 5 voire 6 pour les notes de la 3ème octave.

Partiels et harmoniques :

Un son donné de fréquence F est rarement sinusoïdal (ou pur); le plus souvent il comporte des harmoniques, qui ont pour fréquence $2F$, $3F$, $4F$ etc... c'est-à-dire les multiples entiers de la fréquence du fondamental appelé aussi harmonique 1.

Il est intéressant de comparer les fréquences des différents partiels d'un tuyau avec celles des harmoniques du partiel 1, car plus elles en sont voisines, plus l'énergie est répartie sur un grand nombre d'harmoniques. La "justesse" des partiels conditionne donc le timbre.

Remarque : Nous évitons à dessein d'employer l'expression "riche en harmoniques", car la beauté d'un son de flûte est souvent due à la concentration de l'énergie dans le fondamental. Un riche son de flûte peut être très pauvre en harmoniques! Il n'en serait pas de même du hautbois ou clavecin....

b) Le système jet d'air-biseau :

Toutes les flûtes ont en commun le même mode d'excitation et d'entretien constitué par le système jet d'air-biseau. Comparons par exemple la flûte à bec et la flûte traversière (fig.5). Le jet d'air comprimé formé par le canal de la flûte à bec ou par la bouche du flûtiste, sort par un orifice appelé lumière, et oscille de part et d'autre d'une paroi amincie ou biseau.

Une partie importante des phénomènes acoustiques : timbre, intensité, changement de registre, est conditionnée par la forme et la direction du jet, la forme de la lumière, et la distance lumière-biseau. Le détail en est donné dans le tableau de la figure 6. Pour la flûte à bec, ces éléments font partie de l'instrument et sont réglés lors de sa construction. Il n'en est pas de même à la flûte traversière où seule la forme du biseau est décidée par le facteur. On conçoit alors le rôle déterminant du musicien dans

le fonctionnement de la flûte traversière. En cours de jeu, il modifie le jet à son gré, en règle la vitesse, l'orientation, modifie la forme et la section de la lumière et ajuste sans cesse la distance lumière-biseau.

Ce point est important et nous ne devrons jamais le perdre de vue au long de cette étude.

c) La technique d'embouchure

Dans la flûte traversière, instrument à son variable en son principe, le musicien fait le son. La technique d'embouchure est commune à toutes les époques et à tous les lieux(*). La lèvre inférieure posée sur le bord du trou, le musicien dirige vers le biseau une lame d'air dont il règle :

1. la vitesse, par le système abdomino-diaphragmatique.
2. la section, par le contrôle des muscles labiaux en particulier.
3. la direction, par la position de la mâchoire inférieure.
4. la distance lumière-biseau, en modifiant, soit la position de la tête par rapport à l'axe de l'instrument, soit la position de la flûte par rapport au plan du visage.
5. la forme, par le contrôle des muscles labiaux.

Notons qu'aussi bien dans leurs effets que dans les moyens mis en œuvre pour leur réalisation, les cinq fonctions énumérées sont constamment et intimement liées.

L'analyse montre donc que l'action du musicien est prédominante, traduisons : le musicien fait ce qu'il veut.

Mais si le musicien a une telle influence, pourquoi en des lieux et temps divers les flûtes traversières sont-elles si différentes ? C'est qu'en réalité le joueur n'a d'influence que dans les limites de l'instrument, et qu'en des lieux et temps divers on a choisi, en fonction du caractère de la musique à exécuter, des limites différentes, c'est-à-dire des caractères différents : timbre, puissance, ambitus, possibilités de virtuosité, etc... Le musicien sera alors tenté de dire qu'il fait ce qu'il peut, transférant la responsabilité sur le facteur. Voici exposés les trois éléments moteurs de cette étude que représentent les trois signataires : le théoricien, le musicien, le facteur.

III - LIMITES DE LA REDECOUVERTE OBJECTIVE DES INSTRUMENTS DU PASSE

Peut-on reconnaître et définir l'idéal sonore de telle ou telle époque ? Est-il un flûtiste aujourd'hui qui puisse imaginer l'univers sonore d'un musicien du dix-huitième siècle et affirmer, après avoir joué une flûte traversière à une clef, " cet instrument est conforme à l'esprit et aux normes du dix-huitième siècle ?

(*) On peut lire dans MAHAUT la mention d'une technique peu commune de nos jours : ".... d'autres pèsent la flûte entre la lèvre d'en haut et le nez embouchant l'embouchure de la flûte par en bas; cette dernière manière n'empêche pas de bien jouer, mais elle a mauvaise grâce..." p.6

Plusieurs éléments entravent sa démarche.

- a) Le musicien recherche un "beau timbre" selon son goût. Or le "bon goût" est très lié au conditionnement socio-culturel, et l'oreille, sur les plans esthétique et physiologique est façonnée par ce conditionnement. Le musicien modifie son jeu en conséquence.
- b) Le musicien ajuste les hauteurs plus ou moins consciemment mais forcément en fonction d'une certaine intention de justesse qui est aujourd'hui celle du tempérament égal, cependant tributaire de la nature musicale de l'interprète.
- c) Le flûtiste d'aujourd'hui est également conditionné par la pratique de l'instrument moderne (système Boehm) et réagit en fonction des réflexes qu'il a patiemment acquis en vue de mettre en œuvre des phénomènes déterminés qui par la facture ont été éliminés de tel ou tel autre type d'instrument. Par exemple si le joueur a l'habitude de corriger la justesse du DO[#]4 trop haut sur la flûte Boehm, ses réflexes lui feront instinctivement faire la même correction sur un instrument du type "Hotteterre" dont le même DO[#] est réputé bas. On sait que de tels réflexes s'acquièrent rapidement, mais est-il possible d'avoir des réflexes polyvalents ?
- d) En ce qui concerne les flûtes des 17ème et 18ème siècles, les instruments de haute qualité conservés à ce jour en l'état original sont en nombre extrêmement limité.

Quelques éléments favoriseront par contre cette démarche, pourvu que l'on puisse les utiliser de la manière la plus objective possible; ce sont :

- Le secours des critères de jeu trouvés dans les traités et méthodes.
- Une technique de souffle suffisamment libre et souple qui permette de jouer l'instrument de manière neutre.
- La connaissance d'instruments authentiques de grande facture.

Bien que cela soit encore parfaitement subjectif, on reconnaît un bon instrument au fait qu'il "parle", qu'il "sonne" à la première sollicitation, sans qu'il soit besoin d'artifices étrangers aux méthodes originales.

IV - AVANT LA FLUTE A UNE CLEF

a) Les documents :

Nous avons défini l'instrument et justifié l'étude de différents types. Avant d'aborder la flûte traversière du dix-huitième siècle en Europe, il nous faut pour la situer, prendre connaissance de ce qu'elle fut avant cette période. Nous utiliserons pour cela les trois sources habituelles d'information que sont en organologie historique l'iconographie, les textes littéraires ou musicaux, et les instruments.

- L'iconographie nous renseigne sur la forme extérieure des instruments, la manière dont on les tient, leurs dimensions par comparaison avec le corps humain, le cadre de leur emploi social, musical etc...
 - Les textes littéraires, principalement les traités de :
 - Martin AGRICOLA - Musica instrumentalis Deudsch. 1528 et 1545.
 - Philibert JAMBE DE FER - Epitome Musical 1556.
 - Ercole BOTTRIGARI - II desiderio overo de' concerti di varii strumenti musicali, Ludovico ZACCONI - Prattica di musica - 1592. 1594.
 - Michael PRAETORIUS - Syntagma musicum - 1618.
 - Marin MERSENNE - Harmonie universelle - 1636.
- nous donnent la tessiture, cf figure 16, des tablatures de doigtés et des indications sur le jeu et l'emploi des instruments.



fig. 7 - XIV^e siècle - miniature 240
manuscrit JB2 des Cantigas. Escorial.

Der Instrument. Musica.

Vier Schweizer Pfeiffen.
Discantus.



Altus.

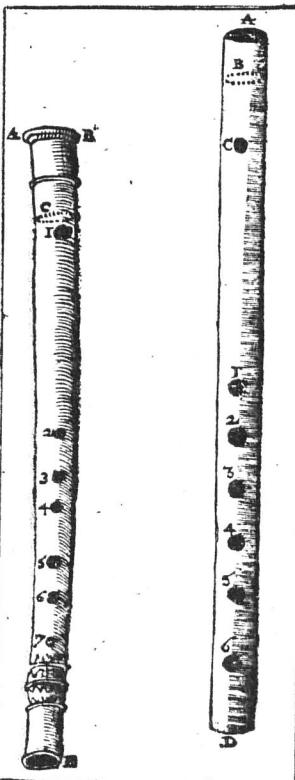


Tenor.



Bassus.

fig 8 - AGRICOLA 1545



- fig 11 -

MERSENNE 1636
Harmonie Universelle

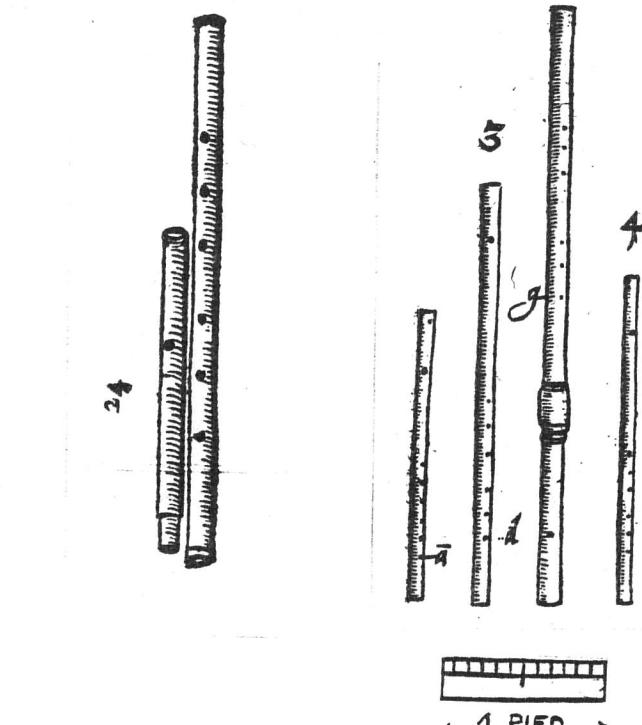


fig 10 - PRAETORIUS 1618

fig 9 - URS GRAF - 1485-1527
4 SOLDATS BÂLOIS



Von mancherley Pfeiffen.

AGRICOLA 1545

6	ooo	ooo	SOL
5	ooo	ooo	Mi ^b
4	ooo	ooo	Mib
3	ooo	ooo	Si ^b
2	ooo	ooo	Si ^b
1	ooo	ooo	RE
12	ooo	ooo	
11	ooo	ooo	DO
10	ooo	ooo	Si ^b
9	ooo	ooo	Si ^b
8	ooo	ooo	LA
3	ooo	ooo	LA
2	ooo	ooo	
1	ooo	ooo	SOL
12	ooo	ooo	
11	ooo	ooo	FA
10	ooo	ooo	Mi ^b
9	ooo	ooo	Mib
8	ooo	ooo	RE
3	ooo	ooo	RE
2	ooo	ooo	
1	ooo	ooo	DO
12	ooo	ooo	Si ^b
11	ooo	ooo	Si ^b
10	ooo	ooo	LA
9	ooo	ooo	
8	ooo	ooo	SOL
7	ooo	ooo	
6	ooo	ooo	FA
5	ooo	ooo	Mi ^b
4	ooo	ooo	Mib
3	ooo	ooo	RE
2	ooo	ooo	
1	ooo	ooo	DO

(2)

(1)

fig13

La tablature de MERSENNE qui laisserait supposer que la flûte n'est déjà plus strictement cylindrique

fig14

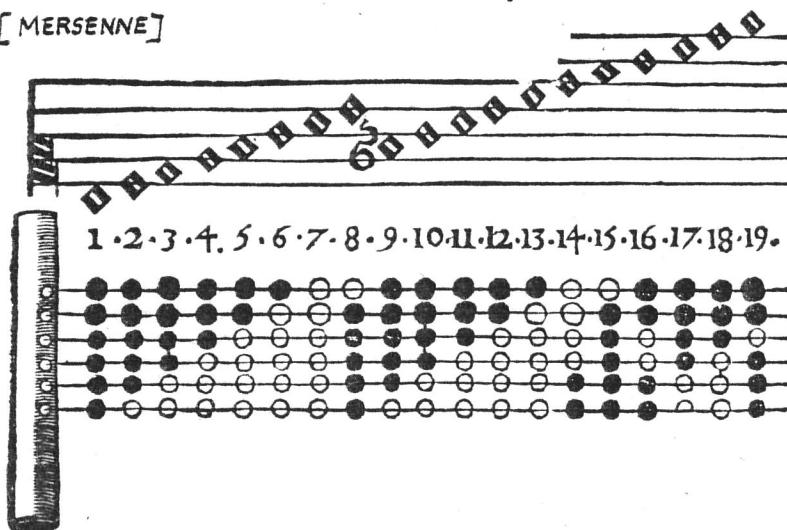
Das Erste gespielt

6	ooo	ooo	SOL	la	veloci-
5	ooo	ooo	Mi ^b	sol	filmo
4	ooo	ooo	Mib	fa	
3	ooo	ooo	Si ^b	mi	
2	ooo	ooo	Si ^b	re	
1	ooo	ooo	RE	5432	veloci-
12	ooo	ooo		12	ori
11	ooo	ooo	DO	ee	
10	ooo	ooo	Si ^b	6	
9	ooo	ooo	Si ^b	5	
8	ooo	ooo	LA	fa	
7	ooo	ooo		5	
6	ooo	ooo	SOL	re	
5	ooo	ooo	FA	32	
4	ooo	ooo	Mi ^b	z	
3	ooo	ooo	Mib	sol	
2	ooo	ooo	RE	1	
1	ooo	ooo		fa	

fig12 - AGRICOLA 1545

Tablature & Estendue de la Flûte d'Allemand.

[MERSENNE]



- Les textes musicaux pourraient être des sources sûres si l'instrumentation était précisée mais ce n'est pas le cas et seule la nature de la musique nous renseignera sur l'emploi des flûtes traversières, en ce qu'elle est plus ou moins propre aux possibilités théoriques des instruments.
- Les instruments enfin, devraient constituer le principal élément d'observation, mais leur nombre extrêmement limité, leur état après quatre siècles de survie, ne nous permettent pas de leur accorder une réelle valeur de témoins sur un autre plan qu'historique.

Les informations les plus intéressantes et exploitablest nous sont fournies par les tablatures d'Agricola, Jambe de fer et Mersenne. Les ouvrages de Zaconni et Praetorius donnent des tessitures, sans doigtés. Praetorius par contre donne des mesures assez précise dans son "Théâtre des instruments" puisque pour chaque planche il a soin de tracer une référence en pieds et pouces.

Voyons d'un peu plus près ce que nous apprennent ces tablatures.

b) Etude des tablatures :

AGRICOLA

En 1528 il donne les tablatures de 3 flûtes ayant chacune une étendue de 3 octaves; la Basse en RE, l'Alto en LA, le Dessus (Discantus) en MI.

En 1545 on trouve deux séries de tablatures; l'étendue est réduite à deux octaves plus une quinte :

- 1 - Basse en UT , Alto en SOL , Dessus en RE
- 2 - Basse en SOL , Alto en RE , Dessus en LA.

La figure 12 donne un exemple d'une de ces tablatures, peu aisée à lire pour nous. Examinons une tablature de 1545 transcrise d'une façon qui nous est plus familière (figure 13). On a placé les trois instruments côte à côte de sorte que les doigts donnant un son de même hauteur soient sur une même horizontale.

A gauche de chaque colonne les numéros indiquent les douze degrés de l'échelle chromatique. On remarque instantanément que l'échelle chromatique est incomplète : AGRICOLA ne donne que les sons de l'hexacorde par nature, par b mol ou par b carré. Est-ce à dire que la flûte ne peut pas produire les autres sons ? Non. Il n'est que de transposer les flûtes comme le conseille AGRICOLA.

JAMBÉ DE FER

La seule tablature qui nous soit parvenue est reproduite, fig.15. Nous ne l'étudierons pas en détail dans le cadre de ce travail. Les observations qui suivent concernent à la fois Agricola et Jambe de fer. Pour permettre une comparaison facile avec la flûte à une clé cylindro-conique, nous avons constitué une tablature type en empruntant les sons de l'échelle chromatique chez ces deux auteurs, et en plagiant les octaves vis à vis (figure 20a). Cette tablature porte le nom de "compromis cylindrique".

Si nous appelons RE le premier son (tous les trous bouchés) on voit que les quatre premiers sons de base, RE, MI, FA♯, SOL octavent sur le même doigté, c'est-à-dire utilisent le partiel 2. Mais dès le LA (4 trous ouverts) le partiel 2 est trop bas... A preuve, l'octave du SOL♯ se fait avec le partiel 2 du LA; de même, l'octave du DO (son 11) utilise le partiel 2 du DO♯ (son 12). Pourquoi l'octave du son 10 (SI) n'est elle pas utilisée ? Une explication possible est qu'il est sans doute plus simple de laisser en place les trois doigts de la main droite pour les sons 8 à 11. Aucune table ne donne l'octave du son 12 (DO♯).

Les différences de doigtés qui existent entre Agricola et Jambe de fer peuvent s'expliquer par des différences dans la taille, et le diamètre des trous.

MERSENNE

En 1636 Mersenne nous apporte de précieux renseignements :

- des dimensions (longueur de la flûte, place et diamètre des trous)
 - la première information connue sur la perce : cylindrique, diamètre de 18 mm.
 - " Elle est percée d'une égale grosseur tout au long, ce qui n'arrive pas à toutes sortes de Chalumeaux, comme je diray ailleurs, et cette grosseur est de huit lignes"
- Livre Cinquième des Instruments, P.241.

Pourtant on constate, à l'examen de la première tablature qu'il donne (fig.14), que tous les sons de la 2ème octave ont les mêmes doigtés que ceux de la première octave, ce qui semble en contradiction avec ce que nous savons de la flûte cylindrique. Peut-être est-on là en présence d'un premier essai de flûte conique ? La seconde tablature, par contre, semble se rapporter à l'instrument cylindrique (correction des octaves par recouvrements des trous de la main gauche), mais elle pose de sérieux problèmes de déchiffrage.

En conclusion : De l'étude des divers documents nous pouvons tirer les renseignements suivants :

- a - Les flûtes traversières existent en 3 grandeurs : Basse, Taille, Dessus.
- b - Elles sont percées de 6 trous.
- c - Elles sont propres au genre diatonique et à la musique modale.
- d - Leur ambitus est d'un peu plus de 2 octaves, mais dans la polyphonie leur tessiture est limitée à celle des voix.
- e - Elles sont employées en ensemble.
- f - Leur perce intérieure est, - au moins dans un premier temps - cylindrique.

Quelques rappels d'acoustique des tuyaux cylindriques vont nous permettre de comprendre les rapports entre la perce et certaines particularités des tablatures.

c' Données acoustiques :

Tel qu'il apparaît au vu des documents, l'instrument en usage au 16^e siècle et au début du 17^e siècle est une flûte à 6 trous que nous supposerons cylindrique. Voyons quels problèmes acoustiques il pose, et si nous pouvons expliquer certaines particularités des tablatures.

* Le problème de la taille

Il est relativement facile aujourd'hui de se construire une flûte cylindrique à 6 trous puisque l'on peut trouver des tuyaux manufacturés parfaitement calibrés. Pourtant, un problème se pose d'emblée : pour une longueur donnée, par exemple 60 cm, quel diamètre choisir ?

Considérons le rapport (L/D) de la longueur acoustique du tuyau (prise entre le milieu de l'embouchure et l'extrémité) à son diamètre intérieur. Le nombre caractéristique ainsi trouvé croît en raison inverse de l'aspect du tuyau : plus le tuyau est gros, plus L/D est faible.

Pour bien montrer les phénomènes prenons deux exemples extrêmes :

Premier tuyau	$D_1 = 14 \text{ mm}$	$L/D_1 = 600/14 = 42$ (taille fine)
Deuxième tuyau	$D_2 = 24 \text{ mm}$	$L/D_2 = 600/24 = 25$ (grosse taille)

Ayant percé une embouchure et placé un bouchon à la distance D du centre de l'embouchure, nous pouvons jouer la suite des partiels du tuyau. On constate alors que :

figure 15 — PHILIBERT JAMBE DE FER 1556

LE BAS DES FLEVTES D'ALLEMAN.

Clef

Parties

- Bas des flevtes.
- quarré.
- Différente
- Peine de b. venu bien doux.
- le hant.
- D. la folete.
- Peine de g.
- C. la foleve.
- Peine de g.
- Bas fave.
- Peine de g.
- Bas la mare.
- Peine de g.
- C. la foleve.
- Peine pour les deux chanteys.
- D. fave.
- Peine de b.
- le hant.
- D. la folete, dit D. fave.
- Peine de g.
- C. la folete, dit C. fave.
- Peine de g.
- Bas la mare.
- A. la mal re. dit A. re.
- G. mal re ve. dit G. ve.

Le plus bas son, venu bien doux. Toutes les peines finn cy dedes pour les deux chanteys,

venu bien doux, par le chante de banouz y pander en.

fig. 16

BASSE TENOR ALTO DISCANT BASSE TENOR ALTO DISCANT Bas des flutes d'Alleman Taille et haute contre Basse TENOR CANTUS Basse Tenor Alto CANTUS flutes des suisses

1ère sorte 2ème sorte

AGRICOLA 1528 JAMBE DE FER 1556 ZACONNI 1592 PRAETORIUS 1618 MERSENNE 1636

- le gros tuyau (L/D petit) produit facilement les modes 1,2,3 avec intensité, stabilité et un timbre riche, mais que les sons supérieurs sont difficiles à sortir et demandent beaucoup de souffle.
- le tuyau mince (L/D grand) demande beaucoup de précautions pour émettre le mode 1 par ailleurs instable et faible, et il octavie très facilement; par contre, les modes 3,4,5,6, voire au delà, sont faciles à produire.
- les partiels sont d'autant plus justes que le rapport L/D est plus grand.

Il faut donc décider de la taille en fonction des partiels que l'on choisit d'utiliser. Certaines flûtes comme le caval Turc, le ney Tunisien, utilisent de préférence les modes 2,3,4,5 et ont un système de trous adaptés (échelle par $1/2$ tons).

La flûte traversière occidentale est basée essentiellement (*) sur les modes 1 et 2. Nous retiendrons que plus la taille est grosse (L/D faible), plus le fondamental est stable, intense, au détriment des modes élevés.

* Les trous

Les partiels 1 et 2 sont à un intervalle d'octave. Les 6 trous vont nous permettre de produire les sons diatoniques intermédiaires qu'indiquent les tablatures. Il faut choisir convenablement leur place et leurs dimensions et le problème n'est pas simple.

Tout d'abord l'anatomie de la main humaine impose des limitations assez contraintes à l'écart entre deux trous voisins et au diamètre extérieur du trou qui ne doivent pas dépasser certaines valeurs absolues, sinon l'instrument est injouable. Or les grandeurs acoustiques qu'il faut prendre en compte sont relatives.

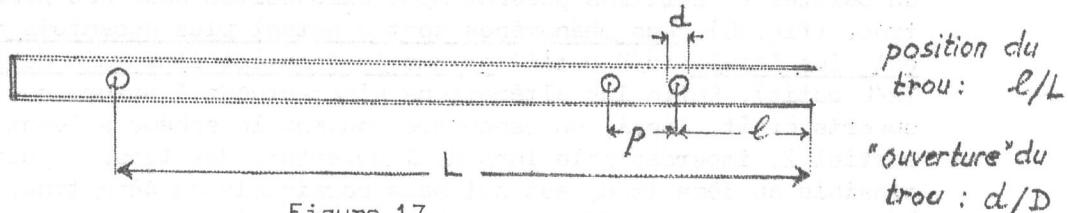


Figure 17

p dépend de L , de même d , car D varie avec L (taille L/D)

Les petites flûtes (fifre) ne posent pas de problèmes quant à l'écartement des trous. La longueur rencontrée couramment est 600 mm. Il existe bien sûr des flûtes plus grandes, mais dont l'étendue est plus réduite.

* Place, dimension des trous et justesse des partiels.

Pour expliquer clairement, nous devons schématiser.

Soit un tuyau de diamètre D , de longueur L dans lequel nous perceons un trou de diamètre d à la position Y/L .

On sait que la fréquence du partiel 1 du tuyau monte au fur et à mesure que d croît. Elle monte d'abord rapidement, puis plus faiblement et finalement se stabilise quand d est voisin de D . La limite ainsi atteinte dépend essentiellement de la place du trou. Pour obtenir un intervalle donné il faudra donc choisir convenablement Y/L (ou x/L).

.....

(*) Il n'est pas impossible que certaines flûtes du 16ème siècle aient été construites pour fonctionner en régime 2,3,4,5 ; ce qui expliquerait l'étendue exceptionnelle de certaines tablatures, et serait confirmé par l'iconographie qui montre souvent des instruments très fins.

Lorsque le trou est très grand, la portion de tube y, au delà du trou, appelée "bout-mort" est pratiquement découpée et la vibration ne s'y propage pas. On peut alors considérer que le tuyau s'arrête au niveau de ce très grand trou. (Ce qui est pratiquement le cas dans la flûte moderne système Boehm.)

Les problèmes commencent dès que nous décidons d'utiliser des trous de petit diamètre afin de les boucher commodément avec les doigts. En effet, on ne peut plus considérer que le tuyau s'arrête au trou. La vibration qui existe dans la portion (y) peut, selon la fréquence, réagir plus ou moins fortement sur la vibration principale (x). La conséquence la plus importante en ce

qui nous concerne est que les partiels produits lorsque le trou est ouvert n'ont plus entre eux les mêmes intervalles que ceux que l'on obtenait avec le tuyau sans trou. Nous avons fait une expérience systématique qui consiste à déplacer un trou de diamètre constant le long d'un tuyau cylindrique afin d'étudier les rapports de fréquence des partiels selon la place du trou (cf M. CASTELLENGO, thèse § 3.15). On retiendra en pratique que les partiels sont toujours plus bas que les harmoniques du partiel 1. Certains peuvent même disparaître pour des positions particulières du trou, (fig.30). Les phénomènes sont d'autant plus accentués que l'ouverture du trou est plus faible (d/D petit) et que le trou est plus loin de l'extrémité du tuyau (x/L petit). Enfin les altérations s'accentuent à mesure que le nombre de trous ouverts croît. Ainsi, on rencontre souvent le schéma suivant : l'abaissement du partiel 2, imperceptible lors de l'ouverture des trous 1 puis 2, commence à être sensible au 3ème trou, est net mais corrigible au 4ème trou, et peut atteindre le 1/3 de ton puis le 1/2 ton aux 5ème et 6ème trous.

Reportons nous maintenant à la tablature "compromis cylindrique" de la figure 20a. On voit que les sons 1,3,5,6 octavent sur le même doigté. Mais le son 0 a pour octave un LA qui est le partiel 3 du Ré grave (le trou 4 ouvert, fait office de trou de quintolement). Le véritable partiel 2 du LA serait trop bas comme octave, il sera de sol \sharp . De même, le partiel 2 du DO \sharp (son 12) sera d'octave au DO. Il est probable que sur de tels instruments, il fallait corriger fortement l'octave du son 6 en découvrant l'embouchure.

Pour conserver aux partiels une justesse acceptable tout en respectant les contraintes anatomiques, diverses solutions sont possibles :

- Agrandir les trous intérieurement, ce qui a pour effet d'en augmenter l'ouverture acoustique tout en conservant au contact du doigt un diamètre convenable.
- Percer les trous en biais, ou les agrandir asymétriquement, ce qui a pour effet de déplacer leur position acoustique en gardant un écartement agréable. Le trou 4 est souvent agrandi intérieurement vers l'extrémité, et le trou 6 vers l'embouchure.

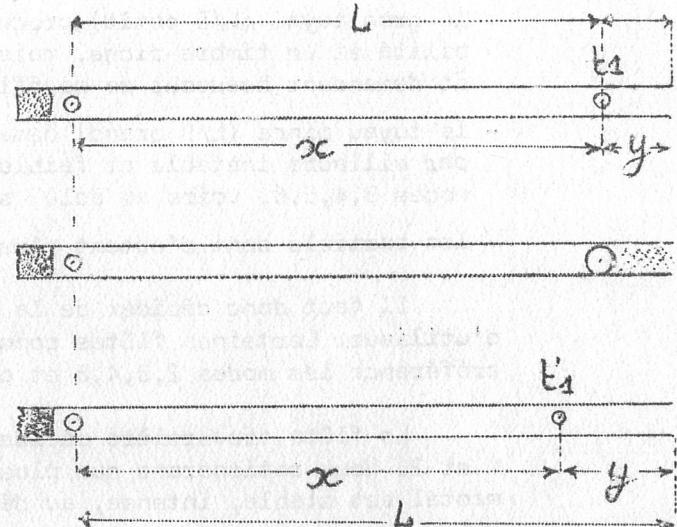


Figure 18

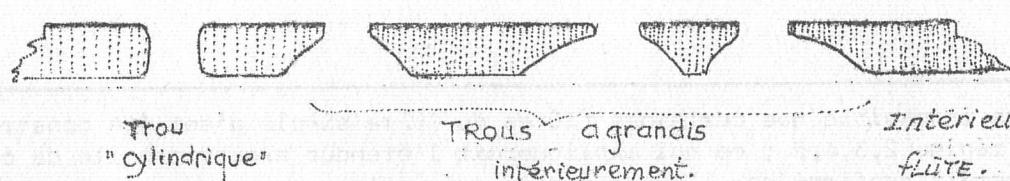


Figure 21

c) Modifier la perce en utilisant la conicité, ce qui permet simultanément d'augmenter d/D (par diminution de D), de réduire l'écartement et de corriger l'abaissement des partiels (cf. Ch. VI a)). Mais cette transformation de la perce bouleverse complètement l'instrument. N'oublions pas que tout ce qui modifie la justesse des partiels modifie également le timbre (contenu spectral et attaque). Lorsque nous ouvrons le traité d'Hotteterre, nous avons affaire à un nouvel instrument.

* Sons de base - Sons de fourche - Trous de registre.

Nous appelons "sons de base", ceux que l'on obtient en débouchant tous les trous pris dans l'ordre, exemple :

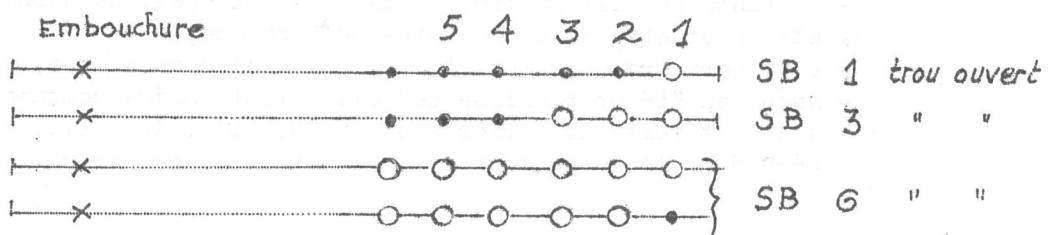


Figure 22

Une exception peut se rencontrer dans la pratique : il est courant que pour certaines notes le trou 1 reste bouché. Lorsqu'il s'agit d'un son de la 1ère octave et qu'au moins 3 trous consécutifs intermédiaires sont ouverts, son incidence acoustique est très faible et nous pouvons la négliger.

Avec 6 trous, les sons de base ne fournissent que 7 notes. Les musiciens ont depuis toujours cherché à exploiter toutes les combinaisons possibles de trous ouverts et fermés : ce sont les "sons de fourches", souvent fort difficile à démêler acoustiquement. Prenons un exemple simple

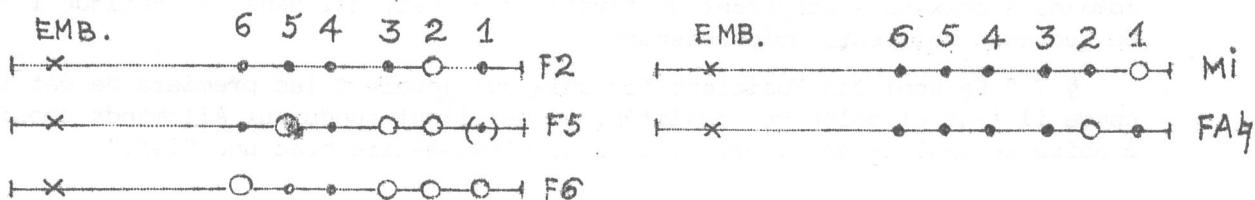


Figure 23

Comparons MI et FA \natural . Pour le musicien, passer du MI au FA \natural , c'est simultanément, lever un doigt et en abaisser un autre (ce qui produit une fourche des doigts, d'où le nom). Or d'après ce que nous savons, le trou ouvert pour le FA \natural placé plus haut (Y/L plus grand que pour MI) et d'un diamètre comparable à celui du MI, aura des partiels beaucoup plus faux d'où un timbre sourd et une intensité plus faible. Il en est souvent ainsi de la plupart des sons de fourches. Ces caractères sont particulièrement accusés lorsqu'un seul trou est ouvert.

Dans les octaves II et III où l'on emploie les partiels 2,3,4 de la flûte, certains trous ont fonction de "trous de registre". Leur ouverture facilite l'établissement du régime souhaité (où, ce qui revient au même, empêche la stabilisation d'autres régimes possibles que l'on veut éliminer). Ils sont reconnaissables au fait que leur rebouchage partiel ne change pratiquement pas la hauteur du son émis.

Il en est ainsi,

du trou 6 pour RE octave II



du trou 4 pour LA octave II



V - LA FLUTE TRAVERSIERE A UNE CLEF : DES HOTTETERRE A DEVIENNE

a) Définition

Pour ce nouvel instrument, bien circonscrit, tant musicalement qu'en facture, et qui reste stable pendant plus d'un siècle, nous disposons des sources habituelles d'information : iconographie, textes littéraires et musicaux, instruments à l'étude desquels apparaissent les plus évidentes caractéristiques :

- 6 trous et une clef couvrant un 7ème trou,
- perce cylindro-conique,
- octaviation des sons de base sans changement de doigté,
- l'instrument donne tous les sons de l'échelle chromatique sur 2 octaves plus une quinte,
- les tables donnent des doigtés de tremblements sur tous les degrés de l'échelle,
- la flûte se fait en trois puis en quatre parties assemblées,
- elle peut être dotée de corps de rechange,
- elle sert ordinairement à jouer la partie du dessus,
- issue du "ténor renaissance" elle existe moins couramment en d'autres dimensions.
- elle est faite de matières diverses, bois, ivoire... ornée de moulures tournées dans la masse ou faites de matériaux rapportés.

b) Origine

QUANTZ parle à plusieurs reprises des origines de la flûte à une clef : Chapi-
tre I § 4 " Les François sont les premiers qui ont rendu cet Instrument plus
parfait qu'il n'était en Allemagne, en y ajoutant une Clef. § 5 " Je ne saurois déci-
der, dans quel temps on y a fait cette amélioration, et qui en est l'auteur, quoique
je me sois donné toutes les peines possibles pour m'en instruire. Selon toute appa-
rence, il n'y a pas encore un siècle, qu'on a entrepris cette amélioration; et ç'aura
été sans doute en France au même tems, qu'on a changé le Chalemie en l'Hautbois, et
le Bombardo en le Basson".

§ 6 " Philibert,... fut en France le premier qui se distingua sur cet instrument
tellement amélioré, et qui fut applaudi. Après lui vinrent La Barre et Hotteterre le
Romain. A ceux-ci succédèrent Buffardin et Blavet, qui dans la Pratique l'emportèrent
de beaucoup sur leurs prédécesseurs.

§ 7 " Ce sont ces Musiciens françois qui jouoient les premiers de cet instrument
comme il faut et selon ses qualités, et qui l'ont rendu aux Allemands depuis cinquante
à soixante ans, en sa figure améliorée, c'est-à-dire avec une Clef."

QUANTZ écrit en 1752.

Bien qu'ayant conservé le nom de flûte allemande au 18ème siècle c'est donc bien
en France que les transformations sont intervenues dans la facture, et très probable-
ment dans la famille des Hotteterre originaires de la Couture-Boussey (en Normandie)
et établie à Paris.

L'éloge de BORJON (Traité de la Musette, 1672) est significatif à cet égard :

" Le père Hotteterre est un homme unique pour la construction de toutes sortes
d'instruments de bois, d'ivoire et d'ébène, comme sont les musettes, flûtes, flageo-
lets, haubois, cromornes; et même pour faire des accords parfaits de tous ces mêmes
instruments. Ses fils ne lui cèdent en rien pour la pratique de cet art, à laquelle
ils ont joint une entière connaissance et une exécution encore plus admirable du jeu
de la musette en particulier " in Constant PIERRE. P. 72

c) Les instruments, les facteurs

On possède de nombreux exemplaires d'instruments dans les musées, les collections
particulières et il en existe encore ça et là dans les familles. Ils sont toutefois de
valeur artistique et musicale inégale; il y a de bonnes et de mauvaises flûtes, mais
toutes ont valeur de témoignage. Il faut donc être très circonspect dans le choix des
instruments que l'on se propose d'étudier : Seul un musicien averti peut en décider.



fig 24 - HOTTE TERRE

**PRINCIPES
DE LA
FLUTE TRAVERSIERE,
OU FLUTE D'ALLEMAGNE.
DE LA FLUTE A BEC,
OU FLUTE DOUCE,
ET DU HAUT-BOIS,**

*Par le Sieur HOTTETERRE-le-Romain, ordinaire
de la Musique du Roy.*



A PARIS.

chez CHRISTOPHE BALLARD, seul Imprimeur
du Roy pour la Musique, rue S. Jean de Beaubois,
au Mont-Parnasse.

M. DCCVII.

Avec Privilège de Sa Majesté.

fig.
25

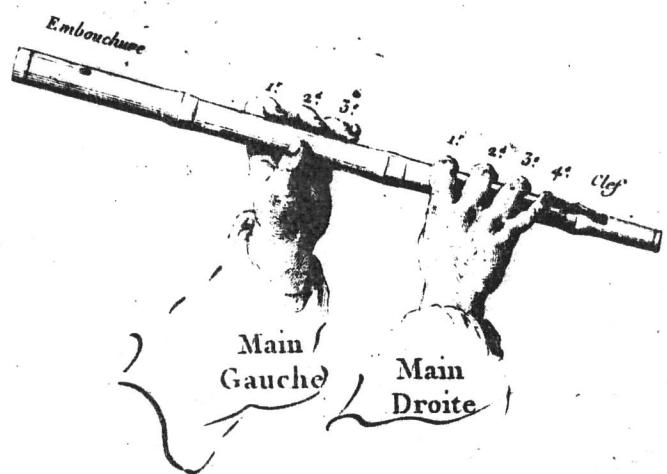


fig 26 - méthode de DELUSSE



fig. 27

Dessin de WATTEAU
Fitzwilliam Museum - Cambridge

LES GRANDS FACTEURS

de

FLUTE TRAVERSIERE A UNE CLEF

1ère PERIODE	(Jean IV	HOTTETERRE	1648 - 1732	PARIS
	) Nicolas II	HOTTETERRE (Colin)	... 1666, 1727(+)	PARIS
	)	NAUST	C. 1700	STRASBOURG, PARIS
	)	RIPPERT	C. 1701	PARIS
	(Jacob	DENNER	1735(+)	NUREMBERG
	) Pui	BRESSAN	C. 1720, 1724	LONDRES
	)	CHEVALIER	... 1680 ...	probablement FRANCE
	(
2ème PERIODE	(Thomas	LOT	... 1740, 1785)	
	) Denis	VINCENT	... 1752, 1769)	
	(Paul	VILLARS	... 1741, 1776 (	PARIS
	) Jacques	DELUSSE	... 1752 ... (
	(Charles	BIZEY	... 1716, 1752)	
)			
	(I.	SCHERER	... 1750 ...	PARIS ? une flûte pour Frédéric
	) Thomas	STANESBY Junior	1692-1754	LONDRES
3ème PERIODE	) Jean-Hyacinthe ROTTENBURGH		1672-1765	BRUXELLES
	(Carl August	GRENSER	1720-1807	DRESDE
	(Jeremias	SCHLEGEL	... 1780-1792	^ BALE
	(Christophe	DELUSSE	C. 1783	PARIS
	(Martin	LOT	C. 1775, 1783	PARIS
	(J. August	CRONE	C. 1727-1804	LEIPSIG
	(
	(Georges and John ASTOR & ASTOR Co... 1778... 1830		LONDRES, HEIDELBERG, NEW-YORK	
	(les 2 Thomas, William, Maurice CAHUSAC (1)			
	)	... 1755... 1816	LONDRES	
	(Valentin, Georges ... METZLER (2) .. 1790 - C. 1800		LONDRES, KARKRUHE	
	(William MILHOUSE et Héritiers .. 1763... 1836		LONDRES	

(1) Thomas l'Ancien, Thomas le jeune, William, Maurice et fils

(2) Valentin, Georges Thomas, Georges Richard, fils et petits-fils

Les bons instruments ont servi, ont été joués... il n'est donc pas surprenant qu'ils nous soient parvenus en si mauvais état : fentes, pourrissement, déformations. Ils sont souvent devenus inutilisables. On peut même penser que bon nombre d'entre eux ont disparu.

Cependant, pour déterminer par comparaison ce qui fait les qualités du bon et du mauvais instrument, tous sont intéressants.

On peut regrouper les facteurs en trois périodes. Les plus connus et ceux dont on possède encore des instruments sont mentionnés dans le tableau hors-texte non exhaustif.

-- Pendant la première période la flûte à une clef est caractérisée par un diapason bas (LA3 voisin de 390 ou 400 HZ) et une facture en 3 morceaux (tête, corps et pied) (cf. fig.24 et 27). Pendant cette période, l'instrument à la mode joue les airs en vogue : Brunettes, pièces en solo, duo, trio, ou accompagnées d'une basse réalisée par un théorbe et une basse d'archet; la flûte joue essentiellement les ritournelles des airs chantés.

Elle a aussi un rôle dans l'orchestre depuis son invention, comme on peut le déduire par la présence des Hotteterre, Philidor, Des Coteaux, de la Barre etc... mentionnés dans les Entrées des Ballets et opéra-ballets sous le règne de LULLY. On pourra consulter : *L'amour malade*, 1657 et *Alciane* 1658.

-- Pour la deuxième période nous ne citerons que les facteurs les plus fameux en leur temps ou ceux qui nous semblent les plus représentatifs de la maîtrise de leur Art.

C'est la grande époque de la flûte à travers toute l'Europe (Îles Britanniques comprises). Raymond MEYLAN estime à environ 600 le nombre de concertos de flûte qu'on a joué au XVIII^e siècle. Les suites et les sonates foisonnent.

L'instrument se fait maintenant en quatre parties (le corps central est divisé en deux) et son aspect extérieur (moulures, viroles) s'est modifié (cf. fig.26).

-- Au cours de la dernière période, les facteurs, très nombreux possèdent les clés des mystères; mais la musique, elle, a beaucoup évolué. Et la flûte qui avait été inventée en vue d'une musique bien définie, qui avait ensuite conditionné la musique qui lui était destinée, est alors en retard sur la musique nouvelle et doit se transformer ou disparaître. On ajoute à la flûte de nouvelles clefs pour éliminer les fourches, mais qui rendent la virtuosité plus difficile. Citons DEVIENNE:

"... Il ne s'ensuit cependant pas de là que je veuille blâmer les petites clefs que des recherches justes ont fait ajouter à la flûte ordinaire pour remédier aux sons bouchés qui se trouvent dans le bas, tels que le Sol dièse ou La bémol et le Sibémol ou la dièse, elles sont d'une grande nécessité dans les morceaux lents et surtout quand les notes ci-dessus désignées, sont soulevées, quoique je ne m'en serve point je les approuve, mais dans ces cas là seulement, car pour les traits elles deviennent inutiles et ne servent qu'à ajouter à la difficulté; la manière la plus simple étant suivant moi la meilleure je ne puis trop recommander aux écoliers de la mettre le plus qu'il le pourront en pratique." DEVIEILLE. Discours Préliminaire. Nouvelle méthode Théorique et Pratique pour la FLÛTE - 2^e édition. PARIS 1795.

L'agrandissement de l'embouchure qui favorisera un champ de liberté plus large, en puissance, en timbre et en hauteur; la perce de trous plus gros sont autant de signes d'une volonté d'adaptation de l'instrument à l'évolution du goût et des besoins musicaux. La seule issue possible était le changement radical de la conception de l'instrument : C'est Boehm entre autres qui le réalisera.

d) Perce longitudinale et latérale

Nous avons examiné une quarantaine de flûtes.

Voici les mesures de deux instruments du Musée du Conservatoire de Paris représentant la première et la deuxième période.

1) Flûte NAUST (fig.28)

Longueur totale prise entre le milieu de l'embouchure et l'extrémité : $L = 644$ mm.
Tête quasi-cylindrique, de diamètre intérieur $D = 19,8$ mm.

Corps d'une seule pièce, conique, dans lequel on peut distinguer deux parties :

- Entre le 6ème trou et le point x , $L = 207$ mm et D passe de 19 mm à 17,10 mm
le rapport $L/(D_2 - D_1)$ de la longueur à la diminution de diamètre donne la conicité; ici on a $207/(19 - 17,10) \approx 1\%$.
- Entre x et le raccord du pied la conicité s'accentue, $L = 65$
 $D_2 - D_1 = 17,10 - 15,8 = 1,3$ ce qui donne presque 2 %.

La partie comprise entre le 6ème trou et le raccord de tête présente une déformation importante, difficile à interpréter; la minceur du bois à cet endroit, l'accumulation d'eau peuvent être en cause.

L'écart entre les trous est, du 6ème trou à la clef (en mm) :

41,5 43 65,5 45,5 43 56,5.

Le rapport du diamètre du trou au diamètre intérieur du tube au même endroit donne l'ouverture du trou; on a, du 6ème au 1er trou :

$$\begin{array}{c|c|c|c|c|c|c} \frac{7,1}{19,1} = 0,37 & \frac{7,2}{18,6} = 0,38 & \frac{5,8}{18} = 0,32 & \frac{5,7}{17,65} = 0,32 & \frac{6,6}{17,25} = 0,38 & \frac{4,9}{16,3} = 0,30 \\ (6) & (5) & (4) & (3) & (2) & (1) \end{array}$$

2) Flûte Martin LOT (fig.29)

Longueur totale prise entre le milieu de l'embouchure et l'extrémité : $L = 557$ mm.

Tête quasi-cylindrique, de diamètre intérieur $D = 18,8$ mm.

On peut distinguer schématiquement 4 troncs de cône :

- Du raccord tête au 5ème trou :
 $L = 140$ et $D_2 - D_1 = 18,5 - 16,4 = 2,1$ conicité 1,5 %
- Du 5ème trou au raccord corps main droite :
 $L = 87$ et $D_2 - D_1 = 16,4 - 14,5 = 1,9$ conicité 2 %
- Du raccord des deux corps au pied :
 $L = 128$ et $D_2 - D_1 = 14,9 - 12,5 = 2,4$ conicité 1,8 %
- Dans le pied :
 $L = 128$ et $D_2 - D_1 = 14,8 - 12,5 = 2,3$ conicité 2,9 %
divergente

L'écart entre les trous est, du 6ème à la clef :

34,5 37,5 64 35 35 67

L'ouverture des trous est, du 6ème au 1er

$$\begin{array}{c|c|c|c|c|c|c} \frac{6,2}{17,1} = 0,36 & \frac{6,2}{16,4} = 0,37 & \frac{5,4}{15,7} = 0,34 & \frac{6,2}{14,75} = 0,42 & \frac{5,7}{13,2} = 0,43 & \frac{5,2}{13,5} = 0,38 \\ (6) & (5) & (4) & (3) & (2) & (1) \end{array}$$

Entre la NAUST et la LOT on note :

- une diminution de la longueur totale de l'instrument,
- une augmentation de la conicité,
- une plus grande ouverture des trous 1, 2 et 3,
- un changement de conicité dans la patte.

Enfin, l'allure de la perce longitudinale de la LOT frappe par sa régularité, signes d'une certaine systématisation de la facture, et de la maîtrise technique.

fig 28 • FLÛTE NAUST - CNSM, PARIS.

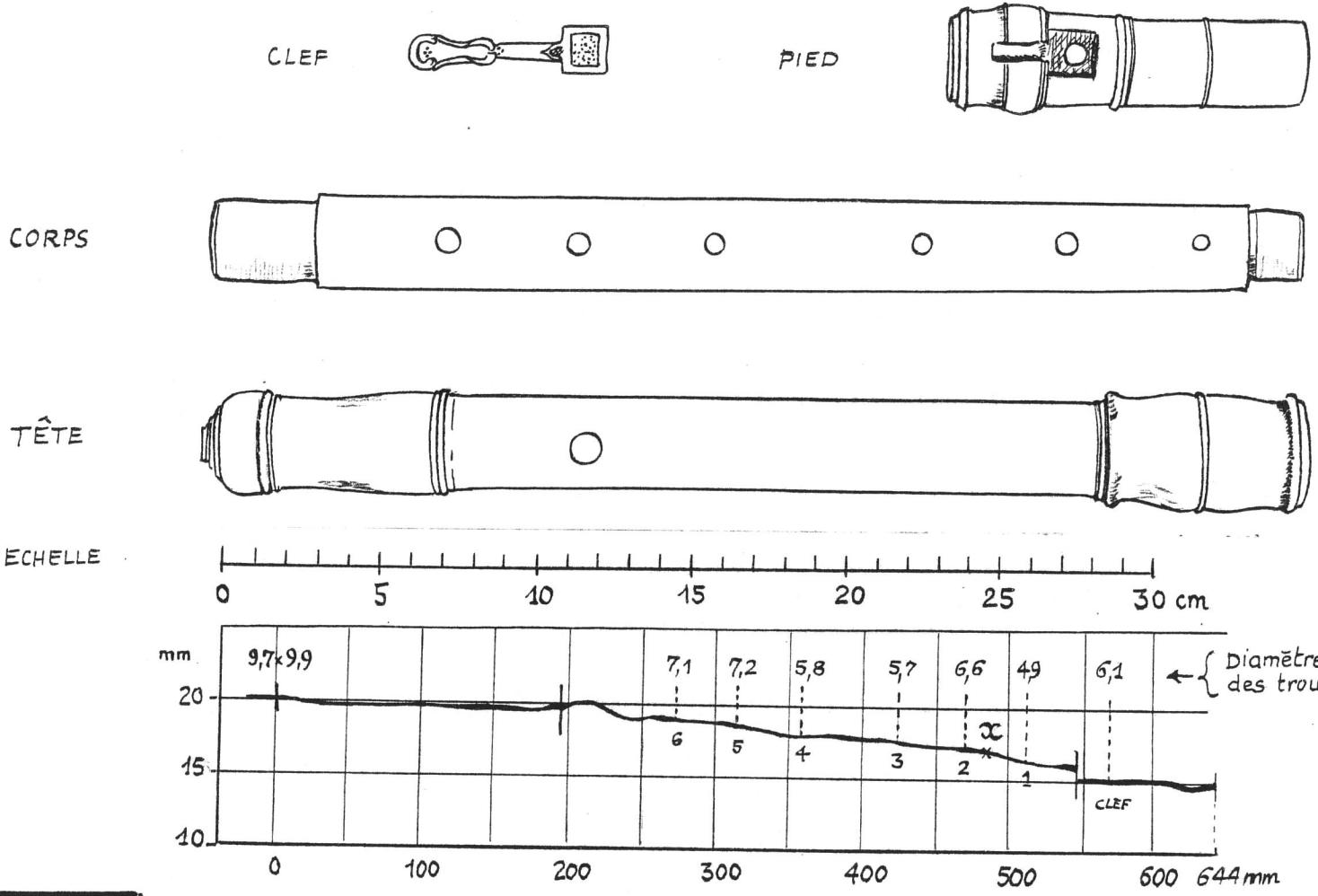
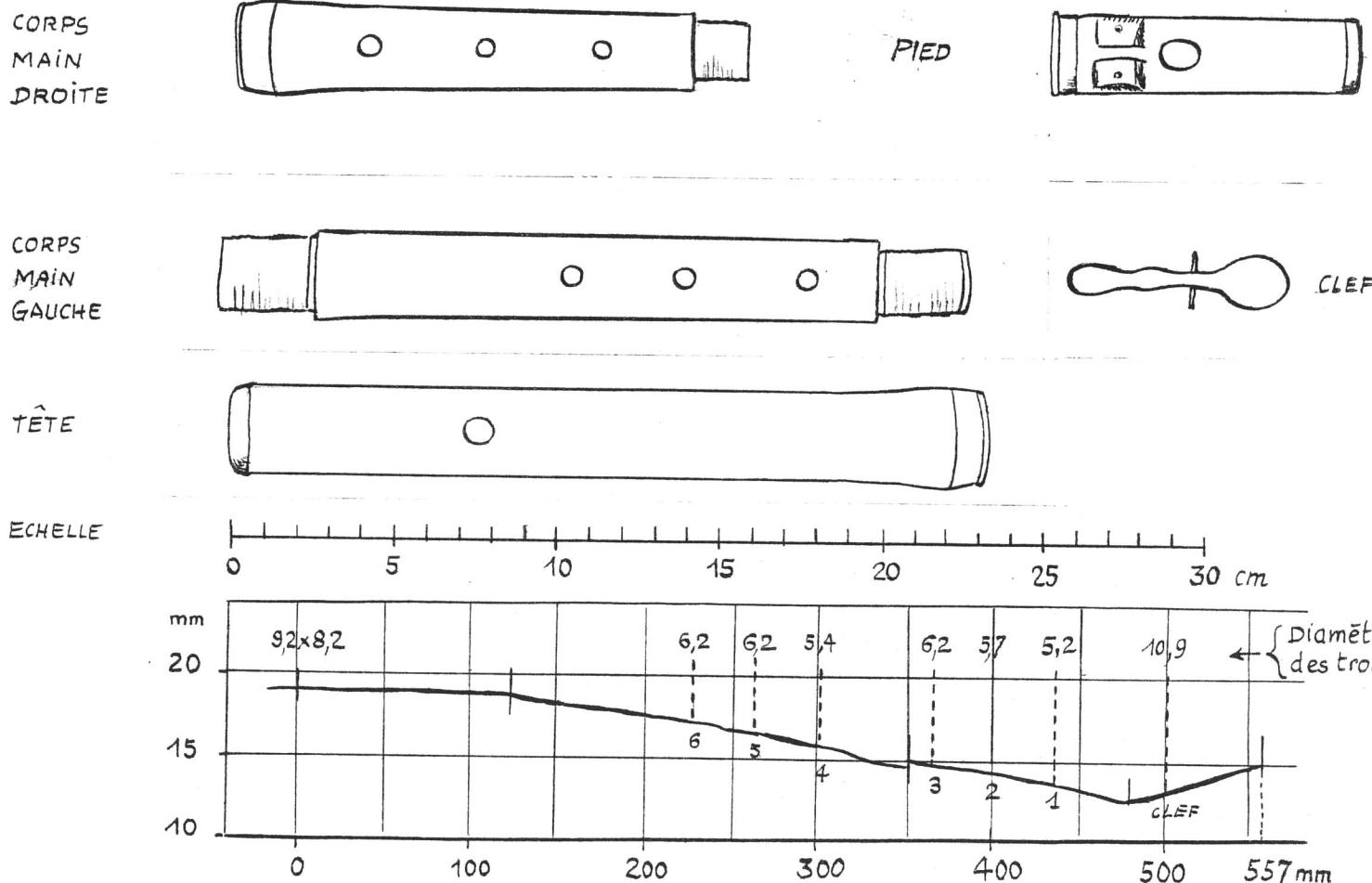
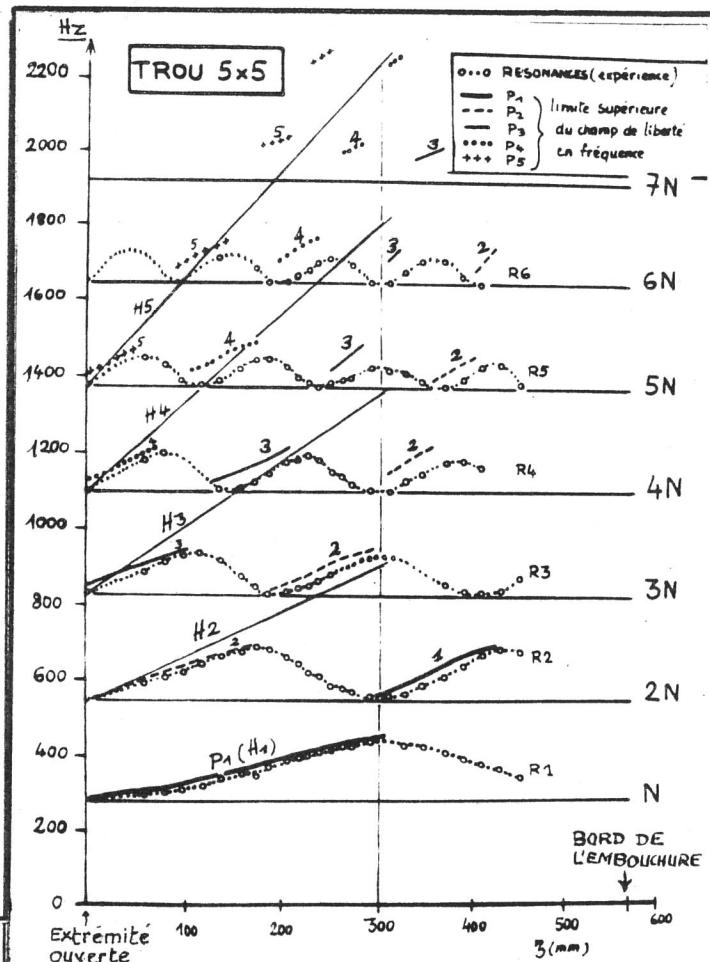
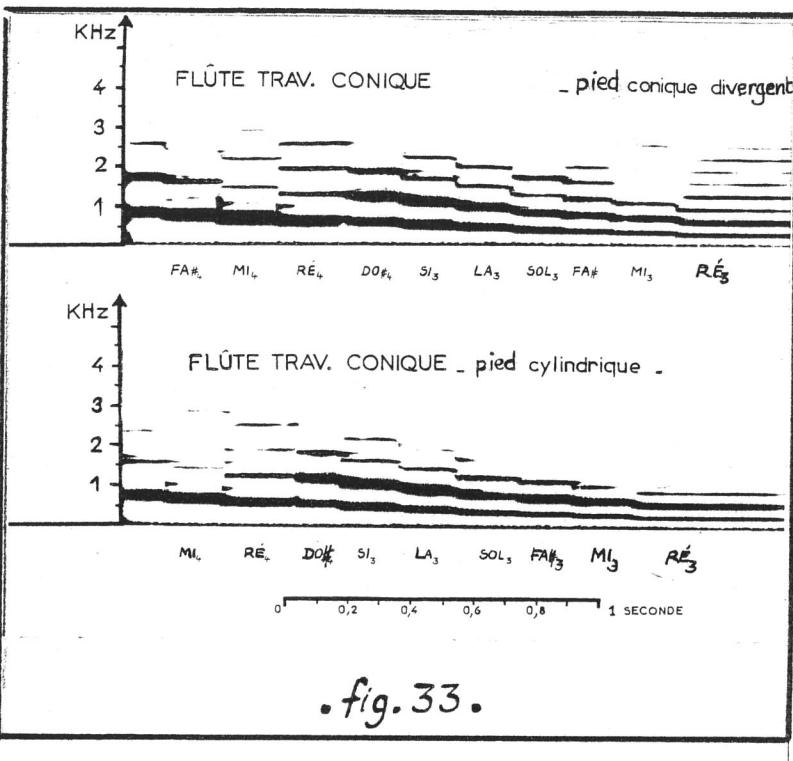


fig 29 . FLÛTE Martin LOT - CNSM, PARIS



GAM 97 - PLANCHE 7



JUSTESSE DES PARTIELS

FLÛTE: RIPPERT (c.D.)

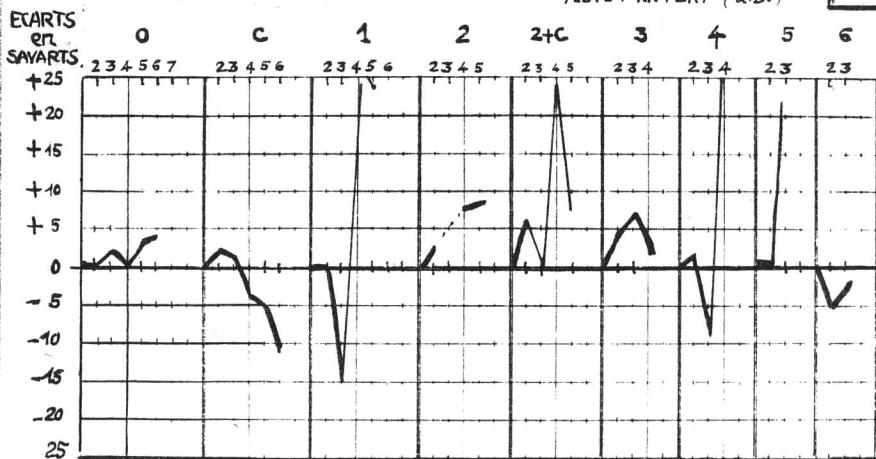
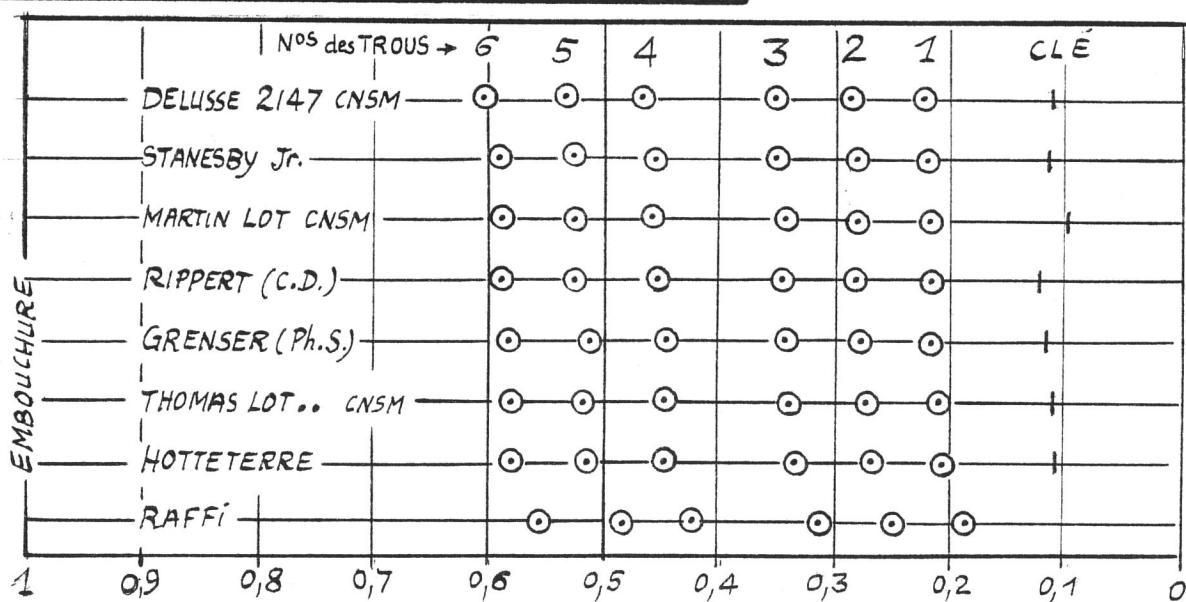


fig. 30



VI - DONNEES ACOUSTIQUES SUR LE TUYAUa) Le tuyau cylindro-conique : conséquences acoustiques et musicales.

Les flûtes à une clé que nous avons mesurées sont toutes différentes quand à la perce et à la position des trous. Pourtant on retrouve un schéma directeur commun : la tête est cylindrique ou quasi-cylindrique; la partie centrale (corps main gauche et main droite réunis) est faite du raccordement de troncs de cônes convergents dont la pente s'accentue depuis le raccord avec la tête jusqu'à l'entrée du pied où se trouve le plus petit diamètre. Le pied ou patte est cylindrique, conique, divergent ou autre. Laissons dans un premier temps la patte dont la perce n'affecte que la note la plus grave, son octave et certains sons de la troisième octave.

Comparé à un tuyau cylindrique de même longueur et de même diamètre dans la partie cylindrique, un tuyau cylindro-conique donne un son plus grave; ou si l'on préfère, de deux flûtes donnant la même note, la flûte cylindro-conique sera plus courte que la flûte cylindrique. La différence est d'autant plus accentuée que le cône est plus fermé. On peut déjà en tirer 2 conséquences.

- d'une part le tuyau étant plus court, l'écart entre les trous pourra être diminué, ce qui facilite le jeu;

- d'autre part, l'abaissement du au cône affecte plus le partielle 1 que le partielle 2, et plus le 2 que le 3, ce qui veut dire que les intervalles entre les partiels successifs sont agrandis : le rapport P_1/P_2 est plus grand que l'octave. Cet agrandissement vient heureusement compenser la fausseté due aux trous.

Mais le grand intérêt de la perce cylindro-conique concerne les trous. Le diamètre intérieur diminuant on pourra obtenir une bonne "ouverture" du trou, rapport s/S de la section du trou à la section du tuyau au même endroit, avec des trous de plus petit diamètre que sur une flûte cylindrique, donc plus aisés à boucher.

Comparons les 3 premiers trous d'une flûte cylindrique (RAFFI du musée de Bruxelles) et d'une flûte cylindro-conique (RIPPERT, coll. part.) :

	Trou 1	Trou 2	Trou 3	
RAFFI	$s/S = 0,37$	$d = 6,7$	$s/S = 0,40$	$d = 7,2$
RIPPERT	$s/S = 0,34$	$d = 5,9$	$s/S = 0,42$	$d = 5$

On constate également une translation des trous vers l'embouchure (fig.31). Tous ces effets cumulés permettent d'obtenir une flûte qui octavie dans le 2ème régime avec les mêmes doigtés que les sons fondamentaux (sauf pour les sons de fourche). Pourtant peu d'instruments donnent des résultats satisfaisants car tant de paramètres interviennent! Et il suffit d'une petite altération locale de la perce, agrandissement ou rétrécissement pour fausser l'équilibre et gâter la justesse.

On peut faire facilement l'expérience soi-même en introduisant un corps étranger dans la flûte (bille, petit crayon d'1 ou 2 cm de long) par exemple au raccord tête-corps main gauche, et en jouant une mélodie, ou mieux, les octaves. Des expériences systématiques montrent qu'un rétrécissement localisé de la perce abaisse les partiels qui ont un ventre de vitesse à proximité. Schématiquement si on produit un rétrécissement au milieu acoustique d'une flûte traversière et que l'on joue la suite des partiels du tuyau tous les trous bouchés, on aura, au lieu de la suite habituelle : Ré, Ré, La, Ré, Fa♯, LA quelque chose comme Ré, Do♯, La, Do♯, Fa♯, Sol♯... Les sons 1, 3, 5 qui ont un noeud de vitesse au milieu du tuyau ne sont pas modifiés. (cf. M. CATELLENGO, thèse - 3ème partie, chap. IV).

Il faut préciser ici qu'il n'existe pas une perce idéale, optimale puisqu'il s'agit de trouver un compromis entre le profil intérieur du tuyau, la place des trous et leur diamètre. Hotteterre, Staneshy, Delusse ont tour à tour trouvé, chacun

à leur manière, des solutions remarquables répondant à l'idéal de justesse et de sonorité du moment.

... Avec une perce aussi complexe que celle de la flûte à une clé et la combinaison des trous ouverts ou fermés, les phénomènes acoustiques sont d'une extrême complication : le calcul est d'un faible secours dans l'état actuel des connaissances, mais on peut s'aider de tests acoustiques pour contrôler la justesse de l'instrument.

b) Contrôle acoustique de la perce : le champ de liberté en hauteur des partiels

Pour établir le champ de liberté en hauteur des partiels le musicien doit au préalable jouer l'instrument de 5 à 10 minutes pour qu'il soit à bonne température, puis bouchant tous les trous il émet successivement tous les sons qui peuvent sortir, du plus grave au plus aigu, en donnant pour chacun d'eux la variation de fréquence possible due au souffle. Il faut une certaine habitude pour pratiquer ce test, car la manière de souffler est assez différente de celle que l'on pratique dans le jeu de la flûte. Toutefois, avec un peu d'entraînement le musicien peut même émettre les partiels directement sans qu'il soit nécessaire de faire un champ de liberté. Ouvrant le premier trou il émet à nouveau la suite des sons, puis 2 trous ouverts et ainsi de suite jusqu'à 6. Chaque partiel est mesuré à l'aide d'un accordeur électronique puis porté sur un graphique. Comme ce sont les intervalles musicaux entre partiels successifs qui nous intéressent on exprime pour chaque partiel l'écart en savarts qu'il fait avec les harmoniques du partiel I qui, pris comme référence est conventionnellement ramené à 0. Cf. fig. 32. Un tel graphique est caractéristique d'un instrument donné. En cours de fabrication il peut renseigner utilement sur la perce et permettre de déceler des défauts éventuels.

c) Modification de la perce du pied

Les premières flûtes à une clé que nous connaissons ont un pied quasi cylindrique. Quel changement apporte l'ouverture du pied que nous constatons dans les flûtes plus tardives ? Faisons l'expérience sur un instrument de remplacer le pied conique par un pied cylindrique dont la longueur est ajustée pour donner le même fondamental. Jouons une gamme diatonique en utilisant le pied cylindrique puis le pied conique. Le sonagramme confirme l'analyse à l'oreille (fig. 33) ; avec le pied conique les sons graves Ré, Fa #, Sol sont plus intenses et montrent plus d'harmoniques. L'effet est surtout sensible sur le Ré grave.

VII - CARACTERISTIQUES SONORES ET MUSICALES DE LA FLUTE A UNE CLEF

a) Les méthodes : Citons les principales :

- 1707 - Jacques HOTTERRE - " Principes de la flûte traversière..."
- 1735 (?) - Michel CORRETTE - " Méthode pour apprendre à jouer aisément de la flûte traversière ".
- 1752 - Johann Joachim QUANTZ - " Essai d'une méthode pour apprendre à jouer de la flûte traversière ".
- 1759 - Antoine MAHAUT - " Nouvelle Méthode pour apprendre en peu de temps à jouer de la flûte traversière ".
- 1761 (?) - Charles ou Christophe DELUSSE - " L'art de la flûte traversière ".
- 1795 - François DEVienne - " Nouvelle Méthode théorique pour la flûte ".

Ces ouvrages ne répondent pas aux critères de la pédagogie moderne en ce qu'ils n'offrent pas les séries d'exercices devenus traditionnels et conçus pour accéder progressivement à la maîtrise de la technique instrumentale.

Ils sont en quelque sorte des " guides pratiques ", des " modes d'emploi " détaillant avec précision d'une part, chaque événement du phénomène instrumental

...../

"COMPROMIS" CYLINDRIQUE

	6 5 4 3 2 1 0 0 0 0 0	6 5 4 3 2 1 0 0 0 0 0
DO# 12		
DO 11	○●● ○○○ ○●● ○○○	○○○ ●●●
SI 10	●○○ ○○○	●○○ ○○○
Sib 9	●○● ○○○	●○● ○○○
LA 8	●○○ ○○○	●○○ ○○○
SOL# 7	●○○ ○○○ JAMBÉ DE FER	●○○ ○○○
SOL 6	●○● ○○○	●○● ○○○
FA# 5	●○● ○○○	●○● ○○○
FA 4	●○● ○○○	●○● ○○○
MI 3	●○● ○○○	●○● ○○○
Mib 2	●○● ○○○	●○● ○○○
RÉ 1	●○● ○○○	●○● ○○○
OCTAVE I	OCTAVE II	OCTAVE III

20a

HOTTETERRE 1707

	6 5 4 3 2 1 C 0 0 0 0 0	6 5 4 3 2 1 C 0 0 0 0 0
DO# 12		
DO 11	○●● ○○○	○●● ○○○
SI 10	●○○ ○○○	●○○ ○○○
Sib 9	●○● ○○○	●○● ○○○
LA 8	●○● ○○○	●○● ○○○
SOL# 7	●○● ○○○	●○● ○○○
SOL 6	●○● ○○○	●○● ○○○
FA# 5	●○● ○○○	●○● ○○○
FA 4	●○● ○○○	●○● ○○○
MI 3	●○● ○○○	●○● ○○○
Mib 2	●○● ○○○	●○● ○○○
RÉ 1	●○● ○○○	●○● ○○○
OCTAVE I	OCTAVE II	OCTAVE III

20b

MAHAUT 1759

	6 5 4 3 2 1 C 0 0 0 0 0	6 5 4 3 2 1 C 0 0 0 0 0
DO# 12		
DO 11	○●● ○○○	Si# ○○○ ●●●
SI 10	●○○ ○○○	●○○ ○○○
Sib 9	●○● ○○○	La# ○○○ ●●●
LA 8	●○● ○○○	●○● ○○○
SOL# 7	●○● ○○○	●○● ○○○
SOL 6	●○● ○○○	●○● ○○○
FA# 5	●○● ○○○	●○● ○○○
FA 4	●○● ○○○	●○● ○○○
MI 3	●○● ○○○	●○● ○○○
Mib 2	●○● ○○○	●○● ○○○
RÉ 1	●○● ○○○	●○● ○○○
OCTAVE I	OCTAVE II	OCTAVE III

20c

DEVIENNE 1795

	6 5 4 3 2 1 C 0 0 0 0 0	6 5 4 3 2 1 C 0 0 0 0 0
DO# 12		
DO 11	○●● ○○○	Si# ○○○ ●●●
SI 10	●○○ ○○○	●○○ ○○○
Sib 9	●○● ○○○	La# ○○○ ●●●
LA 8	●○● ○○○	●○● ○○○
SOL# 7	●○● ○○○	●○● ○○○
SOL 6	●○● ○○○	●○● ○○○
FA# 5	●○● ○○○	●○● ○○○
FA 4	●○● ○○○	●○● ○○○
MI 3	●○● ○○○	●○● ○○○
Mib 2	●○● ○○○	●○● ○○○
RÉ 1	●○● ○○○	●○● ○○○
OCTAVE I	OCTAVE II	OCTAVE III

20d

et musical avec les conditions d'exécution, d'autre part chaque défaut reconnu de l'instrument et les moyens d'y remédier en particulier en ce qui concerne la justesse.

Les méthodes originales en langue anglaise ou allemande n'apportent pas d'informations capitales en contradiction avec les méthodes françaises que nous citons.

Voici le contenu du traité de Hotteterre - Fig. 25.

CH. I	- De la situation du corps, et de la position des mains.....	1 page
CH. II	- De l'embouchure.....	2 pages
CH. III	- Première explication de la première planche sur les tons naturels.....	5 pages
CH. IV	- Première explication de la deuxième planche sur les cadences naturelles.....	2 pages
CH. V	- Seconde explication de la première planche sur les Dièses et les Bémols.....	4 pages
CH. VI	- Seconde explication de la seconde planche sur les Cadences.....	3 pages
CH. VII	- Remarques sur quelques demi-tons et sur quelques Cadences.....	3 pages
CH. VIII	- Des coups de langue, Ports-de-Voix, Accents et doubles cadences sur la flûte traversière et autres instruments à vent.....	9 pages
CH. IX	- Des Flattements ou tremblements mineurs, et des Battements.....	4 pages

b) Les tablatures :

La tablature où sont consignés les doigtés propres à l'instrument est un document précieux puisque tout changement de la perce entraîne un changement de doigté; (surtout dans la troisième octave).

Nous allons comparer une flûte de type cylindrique et les flûtes de Hotteterre, Mahaut et Devienne (fig. 20 a,b,c,d).

1) Pour les sons de la première octave il n'y a aucune différence si ce n'est le choix de la clef ouverte ou fermée sur le Sol, La, Si, Ut, ce qui ne constitue qu'une différence de technique, et peut-être une très légère différence de facture concernant l'accord "fin" (perce des trous et peut-être perce longitudinale du pied). Par rapport à la flûte cylindrique sans clef il n'y a de différence que sur MIb - ré# et sur Fa#, l'ouverture du trou de la clef permettant de monter légèrement le fa# sans ouvrir trop le trou 2 qui monterait aussi le Fa.

Bien que la nouvelle flûte, conique à une clef, soit d'une conception entièrement nouvelle, il est bien naturel pour Hotteterre d'avoir gardé les doigtés de la flûte cylindrique, ne se servant de la clef que pour les particularités évidentes qu'elle permettait et qui d'ailleurs avaient motivé son invention. A preuve le doigté de Sol# 4 et son explication (cf. chap. VII, introduction).

2) Pour les sons de la deuxième octave on remarque la modification fondamentale : ils sont obtenus par octaviation des sons de base sans changement de doigté.

3) En ce qui concerne la clef :

- Elle doit rester fermée chez Hotteterre
- le choix en est libre pour Mahaut, (selon les commodités techniques)
- Devienne la demande ouverte dans toute la deuxième octave : c'est le début du systématisme dans l'apprentissage de la technique.

4) On note des différences dans l'origine de certains sons aigus :

Ut# 5 , chez Hotteterre, c'est un partielle 2 de DO# 4	6 5 4 3 2 1 CLEF
Réb 5 , " " " partielle 3 de FA# 3	○ ● ● ● ○ ● ○
Ut# 5 , chez Mahaut et Devienne, partielle 3 de FA# 3	○ ● ● ● ○ ○ ○

5) Le 2ème doigté de Ut5, Si \sharp en réalité ~~ooo~~ ~~ooo~~ préconisé par Mahaut et Devienne, est connu de Hotteterre, mais seulement comme doigté de tremblement avec Ré5. Son utilisation en doigté ordinaire implique une modification subtile de la perce.

6) Pour les sons de la Troisième octave nous constaterons que :

- l'origine des doigtés est beaucoup plus difficile à déterminer parce qu'ils sont des compromis résultant de sources multiples, mélanges de partiels 3 et 4.
- l'ouverture de la clef peut provoquer des changements de régime :

Ex : sur Ré ~~ooo~~ ~~ooo~~ l'ouverture de la clef baisse le son d'1/2 ton.
 sur Ré ~~ooo~~ ~~ooo~~ la fermeture de la clef hausse le son d'un petit demi-ton.
 sur Ré ~~ooo~~ ~~ooo~~ l'ouverture de la clef hausse le son d'1/2 ton.
 sur Fa \sharp ~~ooo~~ ~~ooo~~ l'ouverture de la clef baisse le son d'1/2 ton.

La clef joue là le rôle d'un trou de registre.

7) Les doigtés de Ut \sharp 5 et Ré5 changent avec Mahaut et Devienne : de partiel 2 ou 4 ils deviennent partiels 3. Ce changement est en rapport avec la modification de la perce de la patte et se justifie par l'évolution de la musique destinée à la flûte; on en trouve la première trace dans une tablature de 1725 attribuée à Rippert. Ces nouveaux doigtés facilitent les enchaînements des sons de la 3ème octave, peu utilisés précédemment : "les tons au dessus du Mi sont des tons forcés et ne peuvent entrer naturellement dans aucune pièce; cependant comme on ne laisse pas d'en glisser quelques uns dans les préludes, je mettrai ici ceux que j'ai pu découvrir. " Hotteterre, Ch.III".

c) Observations sur les sons à baisser ou à monter; accord des \sharp et des b.

Notre analyse se fonde sur le traité de Hotteterre dont nous citons de larges extraits, chapitres III et V :

FA "Ce ton veut être ajusté avec l'embouchure en tournant la flûte en dedans pour le baisser parce qu'il est naturellement un peu haut à cause que le \sharp se fait sur le même trou".

Même observation pour l'octave.

UT5 Suivant les flûtes et les doigtés il faut le baisser ou le monter.

Voyons maintenant les sons diésés et bémolisés.

FA \sharp "On doit tourner la flûte en dehors".

SOL \sharp "On tournera la flûte en dedans pour l'ajuster".

LA \sharp "On tournera la flûte en dedans".

SI \sharp "On se servira de l'ut naturel".

UT \sharp "On tournera la flûte en dehors le plus qu'on pourra". (note trop basse par construction)

FA, FA \sharp , SOL et SOL \sharp - comme l'octave d'en bas.

LA \sharp "on la tournera en dedans".

UT \sharp "On la tournera en dehors" (comme l'octave d'en bas et mêmes observations).

RE et RE \sharp "Ces tons hauts sont difficile à ajuster".

MI "tourner la flûte en dehors".

MIB "se rapporte au Ré \sharp ".

Réb. "Pourrait se faire comme Ut \sharp , mais sera meilleur avec le doigté de la table".
(il doit donc être plus haut que Ut \sharp)

Sib "Se fait comme La \sharp : Il faut tourner la flûte en dehors, ce qui fait la différence du Sib au La \sharp , et il faut à quelques flûtes déboucher le septième trou pour faciliter ce ton".

LAb. "Se forme comme le sol \sharp ".

SOLb "Pourrait aussi se faire comme le Fa \sharp mais il est plus parfait comme je le démontre dans la tablature".... (il est très haut).... "Pour l'ajuster il faut tourner la flûte beaucoup en dedans. Ce demi-ton est fort peu usité et ne se rencontre que dans des tons forts chromatiques sur lesquels on ne compose guère pour cet instrument."

Mib Il faut tourner la flûte en dehors.

"Lorsque je compare un Bémol avec un Diézis, on conçoit bien que c'est entre les deux notes qui sont à peu près au même degré. Par exemple je dis que le MI bémol (note pénultième) se fait comme Ré \sharp , j'entends le Ré \sharp (note deuxième) et ainsi des autres".

"On ne doit pas s'embarrasser de cette délicatesse dans les commencements.....

On se contentera donc alors d'acquérir la pratique de l'embouchure et des doigts : après quoi l'on pourra s'exercer sur ces raffinements qui sont essentiels pour la perfection et qu'on ne peut posséder qu'avec le temps".

En conclusion :

- Le trou 6 est percé et placé de telle sorte que l'UT \sharp est naturellement bas.
- Les notes bémolisées sont plus hautes que les notes diésées correspondantes. Sauf pour Réb₅, Solb₃ et Solb₄ qui ont un doigté particulier, Hotteterre préconise de réaliser la différence en ajustant les sons à l'embouchure.

De l'analyse des doigtés peut-on déduire que la flûte est accordée dans un tempérament déterminé issu du tempérament à "tons moyens" dans lequel les bémols sont plus hauts que les dièses?

Le problème de l'accordage des instruments à vent est par essence fondamentalement différent de celui des instruments à clavier ou à frettes. Rappelons tout d'abord qu'il s'agit d'instruments à sons variables. Ensuite on ne dispose que d'un tuyau percé de sept trous pour produire 30 sons différents : modifier la place ou le diamètre d'un trou pour corriger un son entraîne généralement le faussement de 3 ou 4 autres sons... Il en est de même lorsqu'on touche à la perce longitudinale. Tous les paramètres sont liés entre eux et la meilleure flûte est celle qui réalise le plus heureux compromis entre tous les défauts inévitables...

Van der HAGEN (1790) dit bien " Il n'est aucun instrument à vent qui soit juste dans toute son étendue n'y qui puisse l'être, et l'on ne joue juste qu'autant qu'on a de l'oreille et qu'on corrige les tons défectueux par le moyen de l'embouchure."

VIII - JUSTESSE DE LA FLUTE A UNE CLEF

a) De la justesse.

L'affirmation de Van der HAGEN reste vraie aujourd'hui et s'applique aussi aux instruments "perfectionnés" système Boehm. Mais avant d'entrer dans le sujet il nous faut définir le terme de "justesse".

"Juste", implique une norme à laquelle on se réfère implicitement. Or chacun sait que la justesse mélodique diffère de la justesse harmonique. Lorsqu'un instrument monodique à sons variables joue une mélodie, les intervalles entre les notes

varient selon le contexte (attraction, sens ascendant ou descendant de la mélodie etc....). Lors d'une étude sur le diapason nous avons mesuré les notes d'une mélodie jouée par le hautbois solo de l'Opéra (fig.34). En l'examinant on est frappé par le parallélisme entre le sens de la ligne mélodique et la modification des intervalles. Voir en particulier le DO#.

Si le même musicien joue cette mélodie accompagné par un instrument à sons fixes, piano, il est probable que les déviations seront moins importantes : il s'alignera sur l'instrument à clavier dont l'accord deviendra la nouvelle référence de justesse. A l'audition de deux sons simultanés l'oreille apprécie leur justesse avec une grande acuité grâce aux battements.

Deux instruments mélodiques jouant en duo ont en quelque sorte une justesse "élastique" selon que l'intérêt musical est mélodique ou harmonique, chaque musicien ajuste les sons en tenant compte tantôt de l'attraction, tantôt des coïncidences verticales : 5tes, 3ces, octaves. Il faut noter dans le cas des duos de flûte l'importance perceptive des sons différentiels qui jouent certainement un grand rôle dans l'appréciation de la justesse, étant le plus souvent un fondamental commun aux 2 sons primaires.

Enfin l'observation courante montre qu'un flûtiste a souvent du mal à s'accorder sur un instrument à clavier. Il ne faut pas accuser à priori cet instrumentiste de manquer d'oreille! Ceci est dû au timbre particulier de la flûte. La plus grande partie de l'énergie sonore étant concentrée dans le fondamental les harmoniques supérieurs sont très faibles et l'oreille ne dispose pas d'un nombre suffisant de comparantes pour apprécier finement les intervalles. De ce point de vue le hautbois est antagoniste, ce qui l'a fait choisir pour donner le LA à l'orchestre. On peut faire facilement l'expérience sur un instrument électronique en jouant une quinte désaccordée ayant par exemple 5 battements par secondes. Ceux-ci, nettement perçus avec un son très riche en harmoniques se laissent à peine remarquer avec un son sinusoïdal.

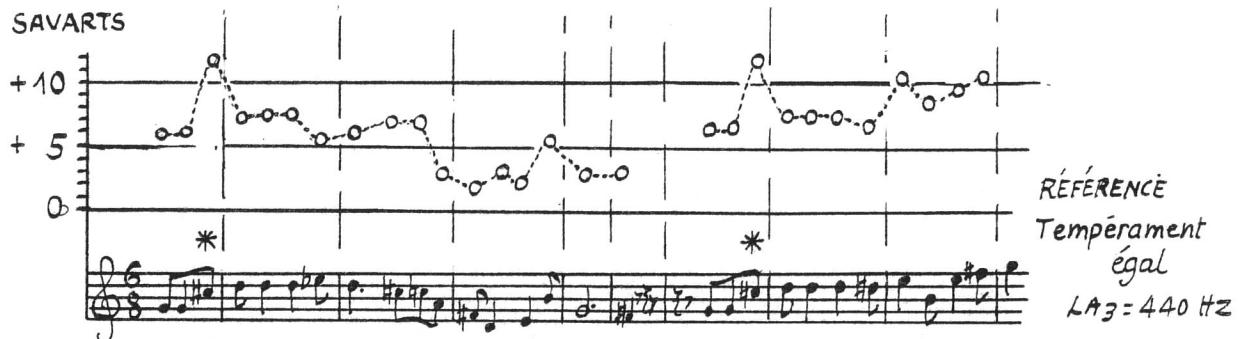
Si l'on considère que l'instrument à clavier, nécessairement à sons fixes devient en fait la référence de justesse de la flûte à une clef, nous devons connaître les manières d'accorder en usage à l'époque.

b) Justesse et tempérament

Il est courant d'entendre dire que "les pianistes jouent selon le tempérament égal, que les violonistes pratiquent la gamme de Pythagore et que les instruments à embouchure (cor, trompette...) utilisent les sons de la gamme naturelle". Ceux qui affirment de telles choses restent discrets sur les flûtes, clarinettes et hautbois, et ne peuvent nous expliquer comment tous ces musiciens peuvent jouer ensemble; enfin ils n'ont pas mesuré ce que jouent effectivement les instrumentistes. En effet, que le violoniste accorde son instrument par quintes pures ne nous renseigne pas sur la gamme qu'il joue puisqu'il peut varier la hauteur de façon continue. La référence de justesse est mentale et c'est à l'oreille, en tenant compte (ou non....) des autres musiciens avec lesquels il joue qu'il réglera ses intervalles.

Par contre le pianiste doit accepter la justesse de son accordeur habituel puisqu'il ne peut rien régler. D'ailleurs peu de pianistes sont sensibilisés aux problèmes de justesse. Si le tempérament égal (division de l'octave en douze 1/2 tons égaux) est l'idéal que prétendent réaliser les accordeurs c'est loin d'être toujours le cas et le plus souvent ils s'en écartent inconsciemment pour accorder "juste" à l'oreille. Divers facteurs entrent en ligne de compte : l'inharmonicité du son du piano, le timbre particulier des notes graves, les "aberrations" de notre perception des sons aigus. On pourra se reporter aux bulletins qui ont traité ces questions (Piano N° 30, accordage des instruments à clavier, N° 76).

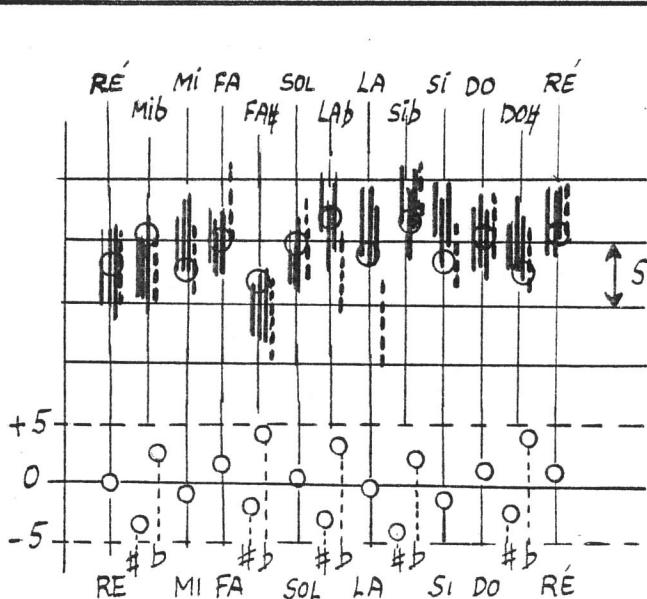
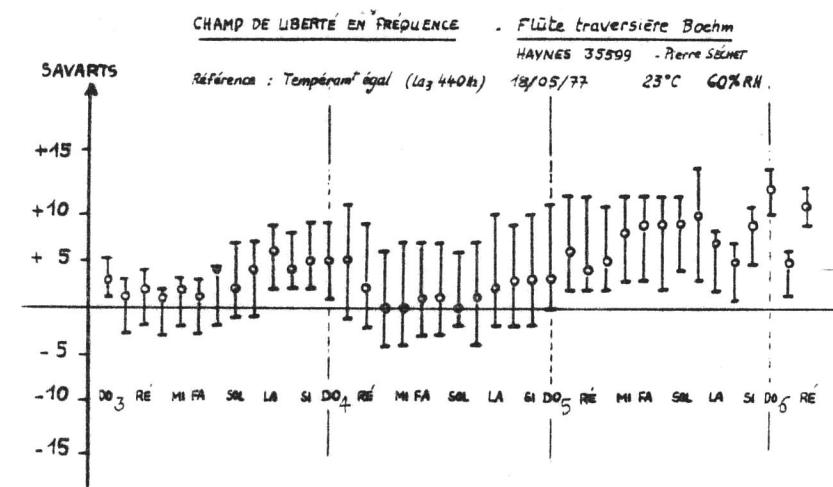
Seuls les orgues électroniques accordés à l'aide d'un compteur électronique, ou l'ordinateur, peuvent jouer une musique rigoureusement juste dans le tempérament égal! On vérifie que cette justesse n'est pas pour autant la plus agréable à l'oreille



- fig 34 -

- fig 35 -

champ de liberté en fréquence
d'une flûte moderne -

- fig 38 - CHAMP DE LIBERTÉ DES HAUTEURS
4 FLÛTES A UNE CLEF "JUSTES"

O Tempérament à tierces pures avec correction mélodique ascendante

Tempérament à 8 tierces pures
par rapport au tempérament égal -

Dans le cas d'un ensemble d'instruments (orchestre) il faut tenir compte du "flou" produit par plusieurs instruments jouant à l'unisson mais avec de légers écarts dus aux vibratos, différents selon les instruments, au timbre, (la hauteur perçue change avec la répartition spectrale et l'attaque) et il devient illusoire de parler d'une échelle rigoureuse.

Il n'en est pas de même pour une petite formation : 2 ou 3 instruments, surtout lorsqu'il y a un orgue ou un clavecin. En raison de leur timbre : sons tenus de l'orgue, grande richesse harmonique du clavecin et une seule corde par note, ces deux instruments permettent une perception très fine des battements.

Que l'on accorde certaines tierces majeures pures (sans battement) ou que l'on accorde plutôt un grand nombre de quintes pures produit une telle différence de sonorité du clavecin ou de l'orgue qu'il n'est pas étonnant que l'exposé des différents tempéraments prenne une telle place dans les traités anciens. Chaque type d'accord (cf. H. Legros - GAM N° 61) génère une gamme donnée avec des intervalles qui lui sont propres. Et si l'instrument à clavier est la seule référence objective de justesse nous devons partir des tempéraments pratiqués au 18^e siècle pour apprécier la justesse des flûtes. Le plus couramment décrit dans les traités est le tempérament à huit tierces pures (ou ton moyen, ou meantone) mais il y en avait bien d'autres et en pratique chaque claveciniste "aménage" l'accord en fonction de ce qu'il joue. Toutefois, un point commun aux tempéraments français du 18^e siècle est la recherche de tierces pures dans les bonnes tonalités.

Pour accorder avec un maximum de tierces pures il faut réduire assez considérablement les quintes; elles sont toutes plus petites que la quinte tempérée sauf une, la fausse quinte (en fait une sixte diminuée) qui boucle la série : beaucoup trop grande (outrée) elle est "loupée" d'où vraisemblablement son nom de quinte du loup. Il en résulte que les \sharp générés par de petites quintes sont plus bas que le \sharp b enharmonique du tempérament égal. Au contraire les b sont hauts. Il y a des tons majeurs et mineurs composés eux-mêmes de demi-tons majeurs et mineurs. Un tel accord donne une référence de justesse mélodique bien différentes de celle que nous recherchons aujourd'hui en solfège.

Par commodité et pour comparer des relevés de justesse d'instruments provenant d'époques différentes nous adopterons le tempérament égal comme référence de mesure, l'interprétation en est aisée.

c) Un test pratique de justesse : le champ de liberté des hauteurs .

Il est certain que le meilleur moyen d'apprecier la justesse d'une flûte est de la jouer. Au bout de quelques minutes un musicien professionnel se sera fait une idée de l'instrument : "irrecevable, convenable avec quelques défauts, parfait...". Il est plus difficile de caractériser sûrement les défauts. Le jugement du musicien est nécessairement affectif : le timbre, la facilité d'émission, voire l'aspect de l'instrument interviennent - quoiqu'il s'en défende - sur l'impression de justesse. Mais les points les plus difficiles à résoudre pour parvenir à un avis objectif sont :

1) les réflexes de correction contractés sur les instruments habituels qui ont eux aussi leurs "défauts", qu'il s'agisse de la flûte moderne ou de la flûte à une clef.

2) la nécessité de faire un grand nombre de recouplements pour confirmer les avis que l'on peut avoir : Ex. jouant FA-DO le Do semble trop bas car la quinte est petite mais n'est-ce pas le Fa qui est trop haut ? On passe alors à Sib-Fa ou à Do-Sol sans être certain que ces deux nouvelles notes (Sib et Sol) sont bonnes. Comme le flûtiste ne peut s'empêcher de jouer musicalement, d'ajuster plus ou moins consciemment (ou d'exagérer), pour peu que les défauts soient légers celà devient très vite un casse-tête.

Passons donc au champ de liberté des hauteurs. Ce test, pratiqué depuis longtemps dans notre laboratoire (cf. Bulletin GAM N° 10, E. LEJPP) demande quelques précautions d'emploi.

La flûte ayant été convenablement chauffée pendant au moins 10 minutes consécutives le musicien joue le premier Ré "normalement", c'est-à-dire mf, avec un timbre agréable mais sans vibrer; puis il modifie l'embouchure et le souffle pour monter le plus possible la fréquence de cette note jusqu'au point où le son n'est plus utilisable musicalement; il baisse ensuite la fréquence de cette même note pour trouver la limite inférieure (d'ailleurs plus difficile à apprécier). On passe ensuite à la note suivante et ainsi de suite sur toute l'étendue de l'instrument. Il est indifférent de commencer par l'aigu ou par le grave de l'instrument mais il faut surtout veiller à procéder toujours de la même manière et avec le même flûtiste. On conçoit que celui-ci doive être expérimenté et habile, assez passionné pour résister à la monotonie de l'expérience mais surtout fidèle à lui-même d'une fois sur l'autre sinon on risque d'étudier la justesse du flûtiste et non celle de la flûte! Il doit enfin pouvoir s'adapter à des instruments de facture différentes et, malgré les changements de timbre, apprécier les limites supérieure et inférieure de chaque note.

On dispose donc pour chaque son de 3 fréquences (moyenne, limite supérieure et limite inférieure) que l'on mesure à l'aide de l'accordeur électronique et que l'on porte sur un graphique. La ligne horizontale passant par 0 est la référence : tempérament égal au diapason choisi : LA3 = 440 Hz ou 415 ou 392. L'abscisse est graduée en savarts (un demi-ton tempéré = 25 savarts). Chaque note de l'instrument est donc représentée par un trait vertical dont la longueur montre les possibilités de variation en fréquence exprimées par rapport à la note correspondante du tempérament égal pris pour référence.

Par exemple, fig.35 on lit que le Do grave de la flûte Boehm examinée varie de 4 savarts (+1 à +5) le Do de la 2ème octave de 6 savarts (+1 à +7) le suivant de 9 savarts (0 à +10). Ces limites ne sont pas aussi tranchées dans le jeu normal mais il faut bien choisir des valeurs numériques pour tracer un graphique !

Du champ de liberté en hauteur d'un instrument nous pouvons tirer un grand nombre de renseignements :

- Stabilité : Le champ de liberté est plus ou moins étendu selon les notes : celles du médium sont généralement plus stables que celles du grave ou de l'aigu comme on peut le voir sur la figure. Il est certain que l'appréciation de la largeur du champ de liberté varie selon les musiciens mais les différences relatives entre les notes restent visibles.
- Diapason moyen : Traçons une ligne droite passant par le plus grand nombre de notes essentielles; une difficulté surgit : cette ligne n'est pas parallèle à l'axe de référence; c'est une oblique ascendante avec la fréquence. Ceci ne nous surprend pas car nous savons que pour paraître juste à l'oreille les intervalles doivent être agrandis dans l'aigu (cf. M. CASTELLENGO, thèse - § 4.27 et Bull. GAM N° 76). Le phénomène est d'autant plus accusé que la fréquence croît. Précisons bien ici que nous sommes dans le domaine mélodique et que ceci n'est plus vrai pour un instrument polyphonique à sons entretenus pour lequel l'appréciation de la justesse se fait à l'aide des battements.

Mais pour jouer avec un instrument polyphonique et accorder celui-ci avec la flûte il faut bien connaître le diapason moyen. Dans l'exemple de la fig.35 on peut proposer +4 savarts soit 444 Hz à 23°C. Le flûtiste devra monter un peu le grave et baisser l'aigu.

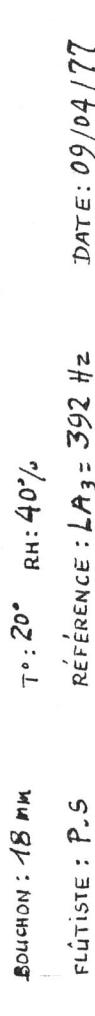
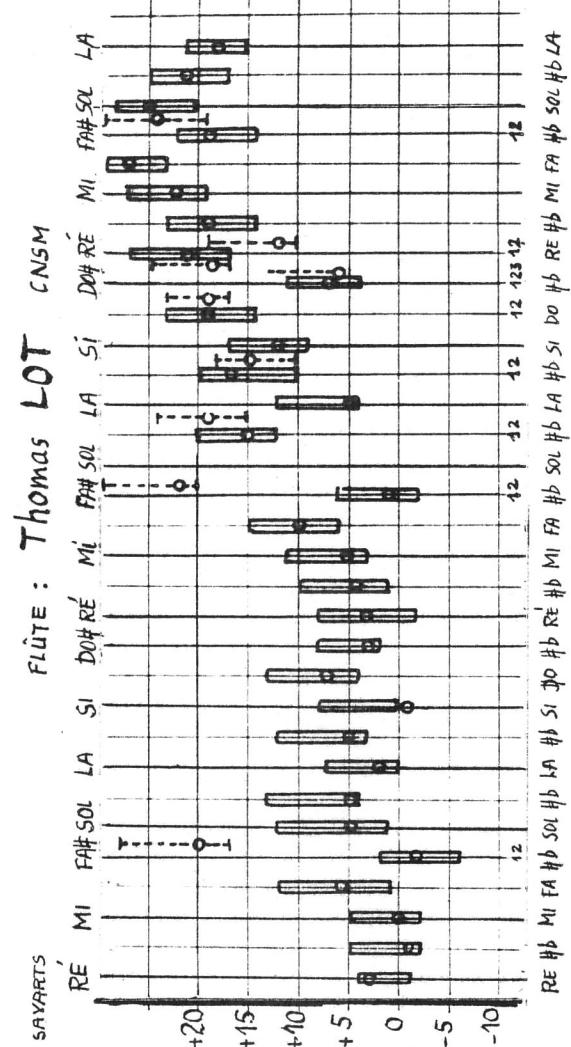
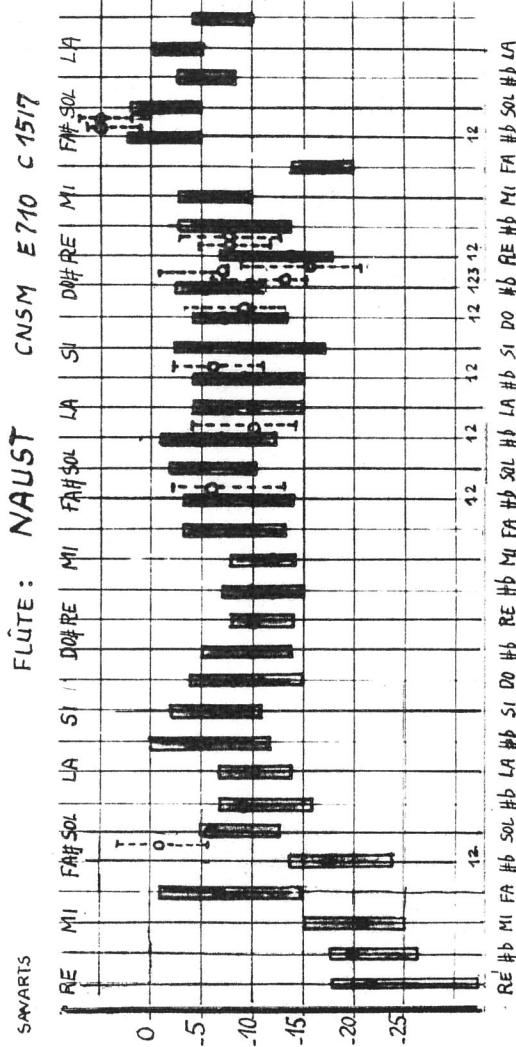
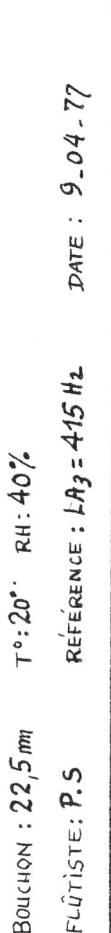
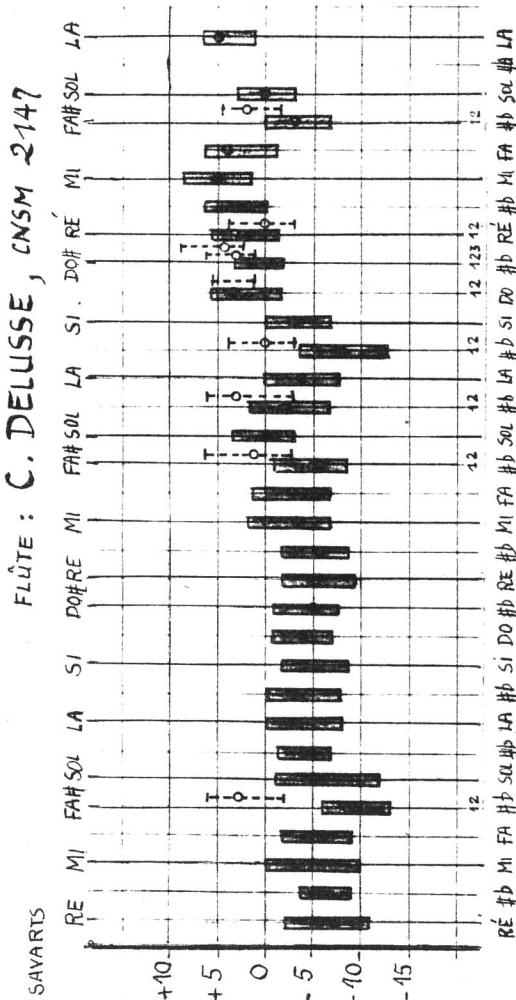
- Justesse : On considérera :

- * La pente moyenne du champ de liberté;
De nombreuses expériences nous ont appris que dans la tessiture allant du D03 au D05 la pente moyenne d'une flûte appréciée comme juste était d'environ +5 à +7 savarts.
- * Les accidents du champ de liberté;
La flûte Boehm est construite en principe pour jouer au tempérament égal; nous de-

fig 36 ~ CHAMP DE LIBERTÉ DES HAUTEURS

fig 37 ~ CHAMP DE LIBERTÉ DES HAUTEURS

GAM 97 - PLANCHE 10



vriions donc avoir une zone régulièrement ascendante avec la fréquence. C'est loin d'être le cas. Le champ de liberté monte assez fortement de DO3 à DO \sharp 4, redescend brusquement au Ré4 et monte à nouveau.

Le décrochement entre DO \sharp 4 et Ré4 correspondant au changement de régime (partiel 1, partiel 2) est bien connu des flûtistes qui apprennent très tôt à faire les corrections nécessaires.

Examinons maintenant quelques champs de liberté de flûtes à une clé.

d) Examen du champ de liberté de quelques flûtes à une clé

Nous avons placé l'une au dessous de l'autre respectivement 2 flûtes jugées bonnes : DELUSSE N° 2147 et Martin LOT N° E 1371 (fig.36) et deux fausses : Thomas LOT N° E 1517 et NAUST N° E 710 (fig.37). Toutes proviennent du musée du Conservatoire de Paris.

Examinons d'abord les fausses.

La flûte Thomas LOT montre une première octave assez homogène. Par contre dès le Sol de la 2ème octave on note une montée rapide du champ de liberté au point que certaines notes de l'aigu (MI, sol) sont 25 sav. plus haut que le grave. Le bouchon placé à 18 mm est certainement trop près de l'embouchure. Il contribue à accentuer le défaut mais ce n'est sans doute pas la seule raison; peut-être le corps mains gauche n'est-il pas adapté à l'instrument ? [cf paragraphe h) du même chapitre].

La flûte NAUST présente des défauts plus graves : les sons de la 1ère octave forment une échelle étirée sur 15 savarts; alors que le reste de l'instrument peut être acceptable. L'échelle de base est fausse de même que les octaves : la perce de cet instrument (par ailleurs au si beau timbre) est en cause : trous et perce longitudinale.

Les flûtes estimées bonnes montrent l'allure ascendante (pente de 5 à 7 savarts) d'un champ de liberté assez homogène avec quelques accidents qui sont :

- le FA \sharp bas commun aux deux instruments,
- le siB et le SI de la 2ème octave bas sur la Delusse.
- le DO \sharp de la 2ème octave, (1er doigté) bas sur la Martin LOT.

e) Référence au tempérament à tierces pures

Parmi toutes les flûtes que nous avons examinées nous en avons choisi quatre reconnues comme justes et nous avons superposé les champs de liberté en fréquence des notes de la première octave (fig.38). Nous avons calculé l'écart en savarts des notes d'un tempérament à tierces pures par rapport au tempérament égal en choisissant comme notes altérées : MiB, Fa \sharp , Lab, Sib, Do \sharp . Ces écarts sont reportés moyennant une légère correction ascendante sur les champs de liberté; on constate une excellente corrélation dans les déviations : l'allure accidentée du champ de liberté en hauteur référé au tempérament égal prend un sens dans ce tempérament.

On ne peut pas en conclure hâtivement que la flûte traversière à une clé est accordée au tempérament à tierces pures! N'oublions pas que c'est un instrument à sons variables et que son accord est un compromis difficile entre bien des exigences : la petite tierce Ré-Fa \sharp est nécessaire si on veut que le FA naturel ne soit pas trop haut. De même pour le Do \sharp .

On peut dire toutefois que le flûtiste sera plus à l'aise pour jouer avec un clavecin accordé de telle sorte qu'il y ait au moins 3 ou 4 petites tierces bien placées, à savoir : ré-fa \sharp , sol-si, fa-la, la-do \sharp , plutôt qu'avec un instrument accordé au tempérament égal.

f) La justesse mélodique en cours de jeu

Le champ de liberté en fréquence rend compte de tous les sons utilisables d'un instrument. Comment le musicien fait-il son choix lorsqu'il joue réellement de la musique ? Nous avons déjà vu (fig.34) le rôle des déviations expressives : notes attractives, sens de la mélodie. Si l'instrument a des défauts, le flûtiste pourra prendre le temps de les corriger sur les notes longues mais ces défauts réapparaîtront dans les mouvements rapides.

L'expérience consiste à enregistrer un fragment de musique et à mesurer toutes les notes. On porte ensuite sur un graphique, vis à vis des notes de la musique, les déviations en savarts par rapport au tempérament égal, référence La3 = 440 Hz.

Fig.39 - On voit le relevé d'une mélodie jouée sur une flûte Boehm dont on a fait au préalable le champ de liberté. Sur celui-ci, comme pour la flûte de la fig.35 le DO# 4 est haut par rapport au Ré et au Mi. Le musicien le corrige aisément (a), d) et e). En b) et en a) le mouvement mélodique donne lieu à une attraction ascendante de la note centrale d'où la déviation de cette note. On voit par ailleurs très clairement les fluctuations parallèles aux mouvements mélodiques.

Fig.40 - La même mélodie est jouée par 2 musiciens différents sur le même instrument : flûte à une clé Delusse. Il faut noter que les deux musiciens connaissent mal cet instrument qu'ils n'ont pu jouer que quelques minutes avant de faire l'expérience : on constate d'emblée que la courbe est beaucoup plus accidentée. On peut faire plusieurs remarques :

- les pointes vers le bas sont toutes dues au Fa# 4 et au si4 très bas par rapport au tempérament égal.

- l'allure des courbes des 2 musiciens est très semblable : les particularités de l'instrument prédominent mais également des déviations expressives (voir fin de la 1ère ligne).

On conçoit aisément qu'il soit difficile à l'oreille d'estimer la justesse d'une flûte en jouant de la musique, si on n'a pas une grande expérience. En reportant les mesures faites en cours de jeu dans les champs de liberté on peut en circonscrire la zone la plus significative.

g) Place du bouchon et son rôle sur la justesse et la sonorité de la flûte

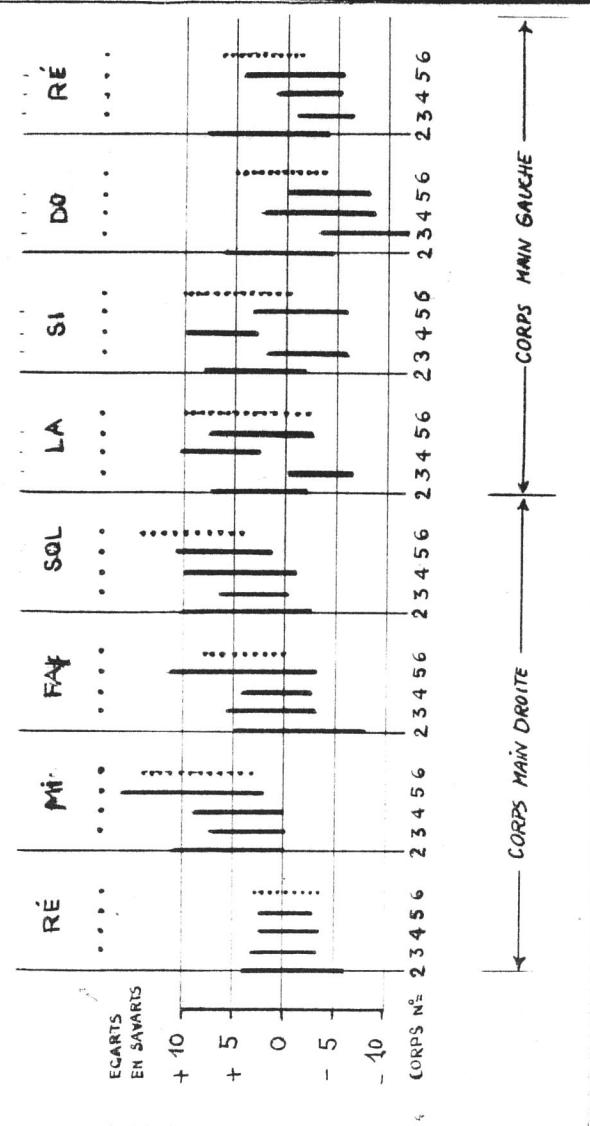
Une des particularités propre à la flûte traversière est que le tuyau ne s'arrête pas au niveau de l'embouchure mais continue au delà. La portion du tube laissée entre le bouchon et le milieu de l'embouchure, dont la longueur est de l'ordre du diamètre du tuyau à cet endroit, joue un rôle non négligeable sur la justesse et sur le timbre.

Le bouchon, nous dit QUANTZ, est "l'âme" de la flûte.
" ... Cette âme rend le son bon ou mauvais, selon qu'elle est mise bien ou mal, et le bouchon étant trop enfoncé ou trop retiré, empêche non seulement la bonté du son, mais aussi la bonne intonation". Ch. I § 10.

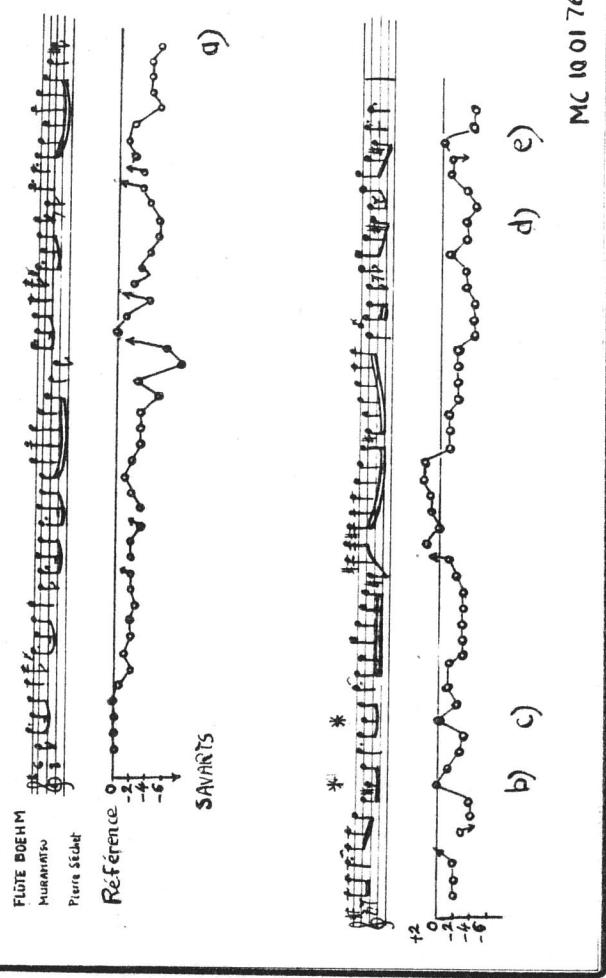
1) Rôle du bouchon sur la justesse.

Une expérience systématique va nous permettre de comprendre ce rôle. Avec une flûte à une clef (Grenser) demandons au musicien de relever le champ de liberté en fréquence, le bouchon étant à sa place habituelle : 19 mm. Ensuite nous faisons la même opération avec le bouchon à 14 mm du centre de l'embouchure, puis à 9 mm. Ayant reculé le bouchon nous recommençons pour 24 mm et enfin 29 mm. Sur la figure 41 les 5 champs de libertés sont représentés côté à côté. Pour en alléger la lecture nous n'avons conservé que les notes diatoniques des 2 premières octaves de la gamme de Ré majeur (il n'y a pas de différence significative pour les doigtés de fourche).

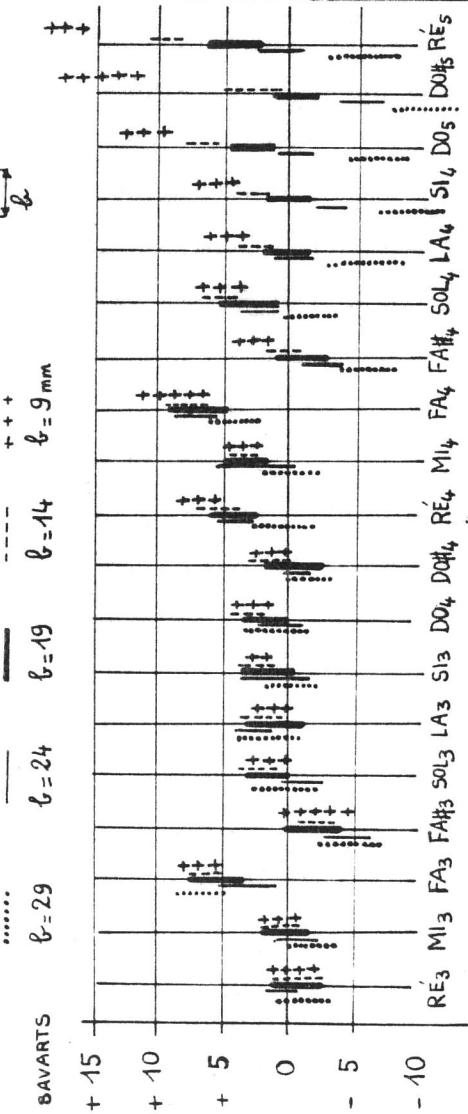
- fig 42 - FLÛTE SCHLEGEL A 7 CORPS [C.N.S.M] MC 160578



- fig 39 - FLÛTE BOEHM. Justesse mélodique

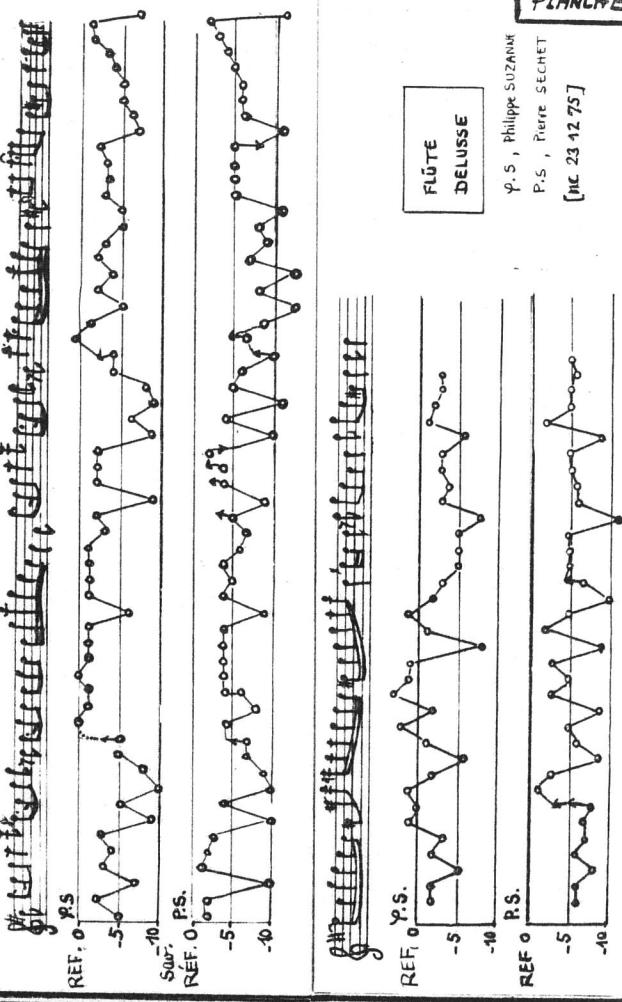


- fig 41 - PLACE DU BOUCHON



Référence gamme tempérée $\Delta A_3 = 418 \text{ Hz}$
flûte à une clé GRENSER (ph. S)

- fig 40 - FLÛTE A UNE CLÉ. Justesse mélodique



Il apparaît d'emblée que la place du bouchon affecte principalement le médium et l'aigu de la flûte. Les sons de la 1ère octave, de Ré3 à Do# 4 (partiel 1) ne bougent pas alors que le bouchon passe de 9 à 29 mm ! Les variations que l'on observe sont à imputer aux fluctuations inévitables du joueur.

Dès Ré4 on note une nette variation de la fréquence avec la place du bouchon : plus le bouchon s'approche de l'embouchure plus la fréquence monte. Entre les 2 positions extrêmes la variation est d'environ 7 savarts. Elle passe à 10 savarts pour le LA4 et atteint 25 savarts (un 1/2 de ton tempéré) sur le Do# 5 .

Une expérience antérieure (cf. M. CASTELLENGO - Bulletin GAM N° 35) nous a permis de montrer qu'une modification de la place du bouchon change d'autant plus la fréquence que les sons considérés sont produits par des partiels plus élevés.

Il s'ensuit que le bouchon affecte essentiellement les rapports entre les sons produits par des partiels différents, en pratique surtout les octaves. On comprend dès lors le bien-fondé du conseil de Quantz ; "Pour savoir si le bouchon est à la place qu'il faut; il n'y a qu'à essayer le D(ré) premier, contre les D(Ré) second et troisième.. Si ces deux octaves sont nettes, l'une contre l'autre, le bouchon est juste; mais si le D(ré) troisième est trop haut, et par conséquent le premier trop bas, octaves Ré3-Ré4 et Ré4-Ré5 trop grandes il faut retirer le bouchon l'éloigner de l'embouchure jusqu'à ce qu'ils deviennent nets". Quantz Ch. I § 12.

L'essai n'est pas si aisément à faire :

- il est souvent difficile d'apprécier la justesse des octaves mélodiques surtout dans l'aigu.
- en jouant, le musicien est inconsciemment porté à corriger.
- si la flûte a des défauts de justesse comme la Naust, trouver la bonne place du bouchon est quasiment impossible.

On vérifie que pour les flûtes à une clef, la position optimum varie dans une assez grande mesure : elle se situe entre 18 et 26 mm pour les instruments que nous avons examinés.

2) Rôle du bouchon sur la sonorité.

Ce point est beaucoup plus délicat. Nous savons que le musicien a une part prépondérante dans la sonorité de la flûte et nous n'avons pas encore mis au point le "champ de liberté de timbre". Mais nous savons par ailleurs (voir plus haut II a)) que plus les partiels sont justes, plus le son est riche en harmoniques. La bonne place du bouchon est donc celle qui donne des octaves justes et une bonne sonorité.

Au cours d'une expérience où nous avons comparé des analyses de son en jeu lié et en jeu détaché en plaçant successivement le bouchon à 5, à 20 et à 35 mm nous avons pu constater des différences dans la deuxième octave surtout à l'attaque : celle-ci est plus franche quand le bouchon est très près de l'embouchure, en revanche, il y a plus de bruit.

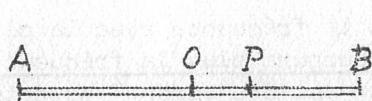
h) Mise au diapason, le tirage de la tête. Les corps de recharge.

Une flûte est construite pour un diapason donné. La taille, le profil intérieur de la perce longitudinale, la position des trous et leurs dimensions, la place du bouchon concourent chacun pour leur part à assurer un équilibre harmonieux entre la justesse, la sonorité et la facilité de jeu. Modifier une de ces données c'est à coup sûr détruire cet équilibre délicat.

Il en est ainsi lorsqu'on tire la tête pour s'accorder sur un instrument trop bas. Il est clair que le fait de tirer la tête allonge le tuyau donc baisse

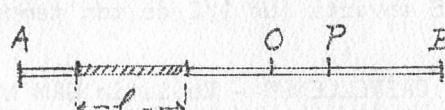
la fréquence fondamentale. Mais cette action a d'autres conséquences.

En augmentant la distance entre l'embouchure et le 1er trou on provoque une translation des trous ce qui modifie leur position relative dans l'échelle de l'instrument.



$$\text{ex : } O \text{ est au milieu de } AB \quad OB = \frac{AB}{2} \quad PB = \frac{AB}{3}$$

P est au $\frac{1}{3}$ de AB



Intercalons la longueur " " entre A et O

$$OB < \frac{A'B}{2} \quad OP < \frac{A'B}{3} \quad \text{et} \quad \frac{OP}{A'B} < \frac{OP}{AB}$$

De plus, l'espace laissé entre la tête tirée et le corps main gauche provoque un agrandissement local de la perce à l'endroit du raccord. Les deux perturbations vont dans le même sens et l'on constate que les sons provenant des trous les plus proches de l'embouchure sont les plus abaissés (cf. Thèse M.CASTELLENGO § 3.52). Un joueur habile s'en tirera en corrigeant à l'embouchure mais au détriment de la sonorité. Ce ne peut être qu'un remède de fortune.

Le problème du diapason se posait de façon encore plus aiguë à l'époque de QUANTZ. (cf. E. LEIPP et M. CASTELLENGO - Bull. GAM N° 36) ce qui a donné l'idée de construire des corps de rechange. Voici le texte de Quantz qui date de 1752 : " Comme on a introduit presque dans chaque Province ou Ville un ton différent de celui dont on se sert dans une autre Province ou Ville pour accorder les instruments, lequel ton est quasi le ton régnant; et qu'outre celà le Clavecin, quoiqu'il reste au même endroit, s'accorde tantôt plus haut, tantôt plus bas, par la négligence de ceux qui doivent l'accorder : c'est pourquoi on a donné, il y a environ trente ans, donc vers 1720 plus de corps à la Flûte, c'est-à-dire, on l'a pourvue de corps de rechange". Ch. I § 9.

Quantz ajoute que les premiers corps de rechange différaient entre eux d'un demi-ton. Puis on a réduit cette différence à un comma ($1/9$ de ton) en portant le nombre des corps à 6. Il explique en outre que le changement des corps implique un changement de la place du bouchon (Ch. I § II).

La flûte SCHLEGEL en ivoire du Musée du Conservatoire possède 6 corps de rechange et un 7ème qui, associé à un autre corps main droite plus long transforme la flûte en " flûte d'amour " (une tierce mineure plus basse). Le pied est muni d'une coulisse avec 7 traits repères. Nous avons joué cette flûte et relevé les champs de liberté en fréquence pour chaque corps. Du corps N° 2 (76 cm) au corps N° 7 (71 cm) la fréquence moyenne du Ré3 passe de 272 Hz (D0#₃-8) à 290 Hz (Ré3-6). Avec le 1er corps elle descend à 236 Hz (Sib₂+5 savarts). Le facteur n'a pas réajusté la position des trous pour chaque corps. Fig. 42, on voit les résultats de l'expérience pour les notes diatoniques de la 1ère octave. Pour comparer plus facilement la justesse des intervalles musicaux nous avons aligné les fondamentaux sur la même fréquence. Les plus mauvais résultats sont visibles sur le la, le si et le do# avec les corps 3 et 5 : ils ont le même écart entre les trous que les corps 2 et 4 respectivement.

On voit aussi que les sons qui correspondent aux trous du corps main droite sont également affectés par le changement de corps main gauche. Finalement le résultat est assez décevant : aucune combinaison ne donne vraiment satisfaction. Cette belle flûte d'ivoire de facture soignée n'est sans doute pas une réussite; d'ailleurs le parfait état de conservation dans lequel elle se trouve semble indiquer qu'elle n'a pas été beaucoup jouée.

IX - ETUDE DU TIMBRE

a) Définition

La définition classique du timbre : qualité qui permet de distinguer deux sons ayant même hauteur et même intensité est trompeuse par la simplicité de son énoncé.

Actuellement le timbre est la partie la plus mal connue de l'étude des instruments de musique, car d'une part de nombreux facteurs interviennent et d'autre part on ne peut pas la réduire à l'énoncé de quelques paramètres physiques.

Diverses expériences sur le son ont montré que le timbre ne se limite pas au contenu spectral des sons mais qu'il faut faire intervenir l'évolution temporelle de la fréquence et de l'intensité et particulièrement au début : transitoire d'attaque, et à la fin du son : transitoire d'extinction.

Définir le timbre d'un son c'est proprement décrire la "forme évolutive temporelle du son". Dans la plupart des cas, l'outil le mieux adapté pour fournir l'image de cette forme est le sonographe.

Etudier la perception du timbre, c'est tenir compte des propriétés du système auditif et du contenu des mémoires (à partir desquels nous pourrons émettre un jugement de qualité) nécessairement différent selon les individus et les époques. On pourra se reporter à ce que nous avons déjà énoncé au chapitre III.

Les éléments en présence dans l'élaboration et la perception du timbre sont :

- 1) Le musicien avec ses particularités auditives, et l'idée qu'il se fait du timbre idéal. Son rôle est d'autant plus important qu'il a une action prépondérante au niveau des paramètres de l'embauchure.
- 2) La technique de jeu de l'instrument : types d'articulations, ornements propres à la flûte à une clé, lesquels participent à la sororité.
- 3) La construction acoustique de l'instrument.
- 4) La salle d'écoute dont les qualités acoustiques servent ou desservent l'instrument.
- 5) L'auditeur qui, de même que le musicien, a ses particularités auditives et certaines références en mémoire, à partir desquelles il portera un jugement.

b) Analyse acoustique du timbre de la flûte à une clé

Les critères que nous retiendrons pour décrire et interpréter les analyses pourrons changer selon le niveau auquel nous nous plaçons : comparaison de la flûte aux autres instruments à vent, de la flûte à une clé à la flûte Boehm, de deux flûtes à clef.... etc.

Caractères généraux du "timbre flûte" : (cf. M. CASTELLENGO, thèse § 4.30) :

- L'énergie est concentrée en grande partie (80 à 90 %) dans le fondamental. Ceci est bien visible sur tous les sonogrammes de flûte : le trait le plus noir et le plus gros est le premier.

- Le temps d'établissement du son (transitoire d'attaque) pendant lequel apparaissent les différents harmoniques est relativement long : de 30 à 40 millisecondes, contre 5 à 10 ms pour le hautbois par exemple (cf. fig.41).
- Des bruits caractéristiques se produisent à l'attaque : chuintement, sifflements, accrochage de partiels étrangers au son harmonique qui s'établit. Ils sont extrêmement variables selon les instruments et selon les musiciens.
- Le transitoire d'extinction, comme pour tous les instruments à vent est quasi inexistant. Le son s'arrête dès que l'excitation a cessé : d'où le rôle important de la salle d'écoute. Les instruments à vent "aiment" les locaux sonores dans lesquels le son se prolonge pendant une à deux secondes après l'arrêt de l'instrument.

1) Comparaison de la flûte traversière à une clef et de la flûte Boehm.

Laissons de côté les particularités musicales et comparons l'analyse de deux gammes chromatiques jouées en legato par le même musicien, dans le même local.

Ce qui frappe d'emblée est l'homogénéité des sons de la flûte Boehm : toutes les notes se ressemblent; jusqu'au Fa \sharp 4, les quatre premiers harmoniques sont toujours présents. A la flûte à une clef, les sons de fourche tranchent nettement sur les sons de base ex : Mi, FA; Sol \sharp , Si \flat . L'absence d'harmonique 2 est nettement perceptible. Enfin dans l'ensemble, l'instrument a moins d'harmoniques, au profit du fondamental plus intense.

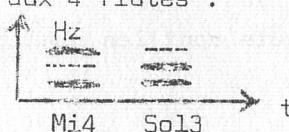
Il faut noter que l'idée d'homogénéité du timbre comme qualité positive est assez récente. Rappelons le dépit de Boehm lors de la présentation de sa nouvelle flûte : "... La puissance et l'égalité de son furent précisément les défauts qu'on lui reprochait." L'inhomogénéité contribue à donner une couleur propre à chaque tonalité et la diversité d'intensité et de sonorité peut être très expressive.

2) Comparaison de quatre flûtes traversières à une clef, jouées par le même flûtiste.

On a regroupé fig.43 les sonagrammes de 4 flûtes : deux de la première période, NAUST et C.F., et deux de la seconde période : M. LOT et C. DELUSSE.

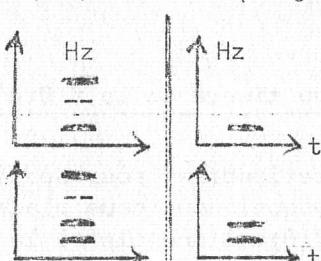
- Particularités de spectre communes aux 4 flûtes :

MI 4 et Ré 5 sans harmonique 2
Sol 3 sans harmonique 3



- Particularités de spectre propres à chaque groupe :

AUST et C.F.
Si4 avec harmonique 2
Sol3 avec harmonique 4



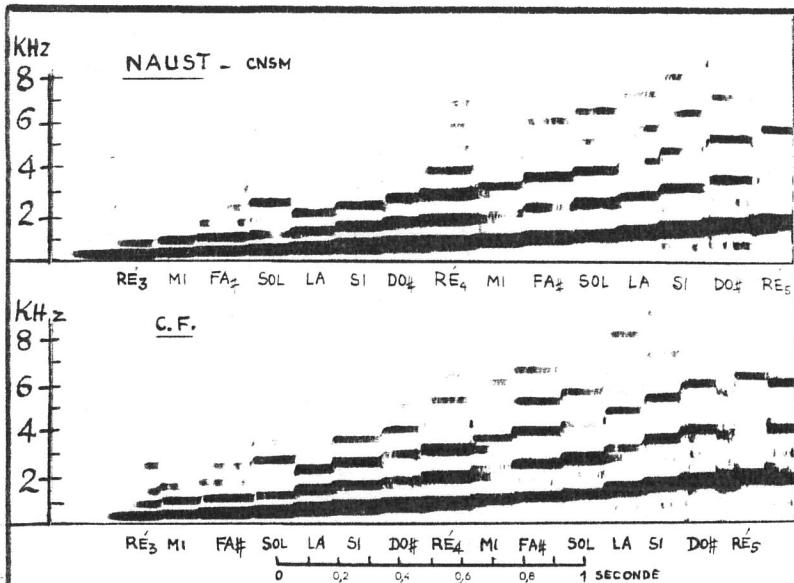
Notes graves faibles

Martin LOT et C. DELUSSE

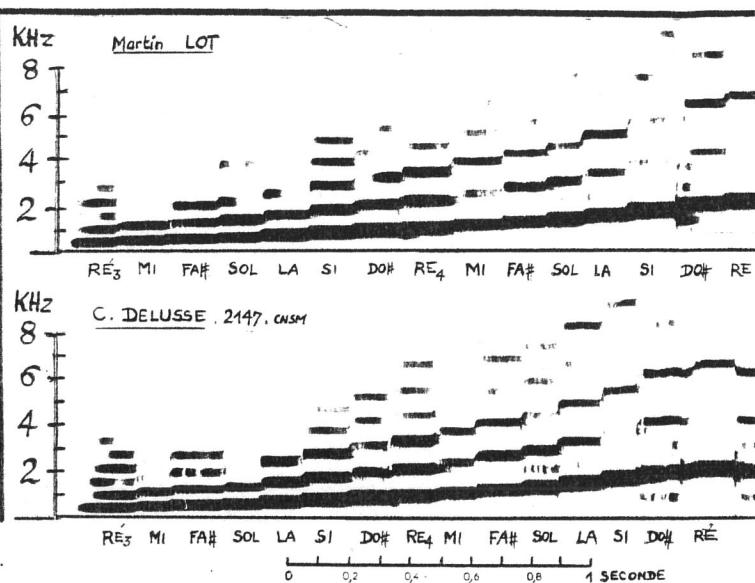
Si4 sans harmonique 2
Sol4 sans harmonique 4

Ré3 riche en harmoniques (perce de la patte)
Fa \sharp 3 riche en harmoniques (trou de la clef)
Si3 riche en harmoniques (?)

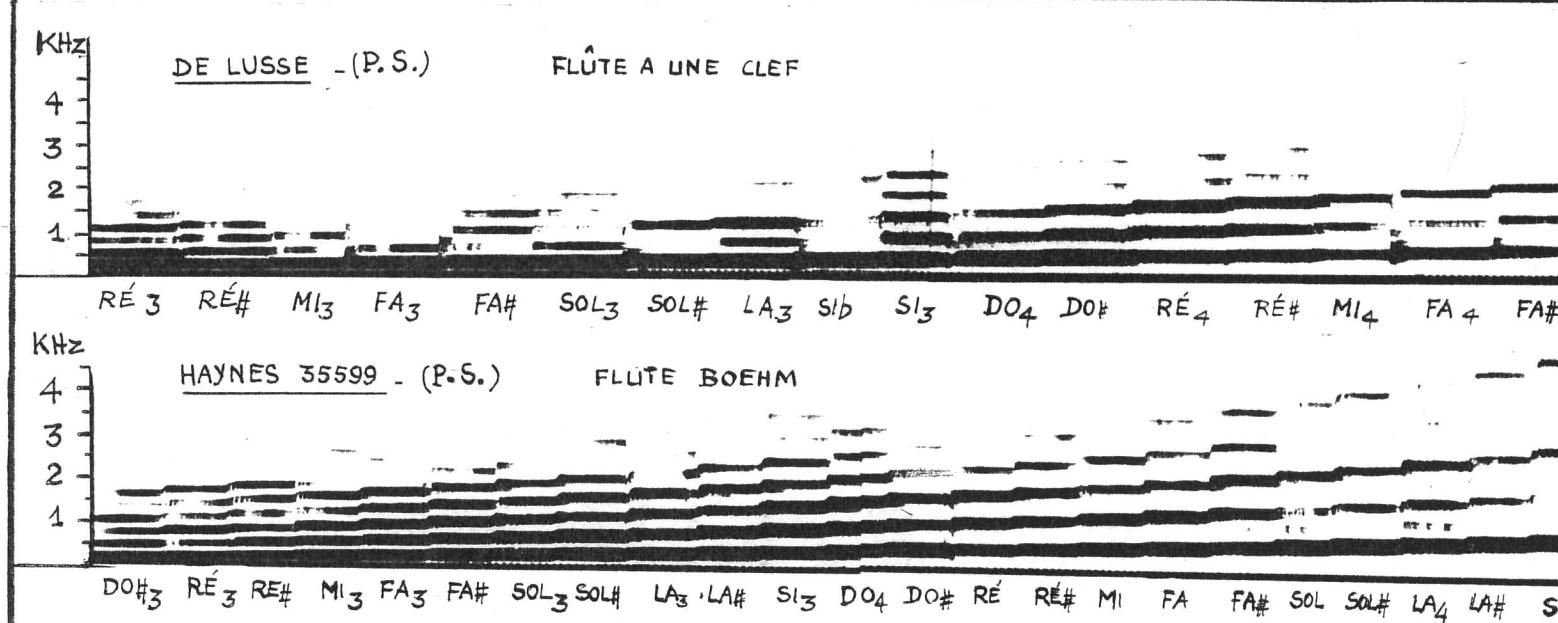
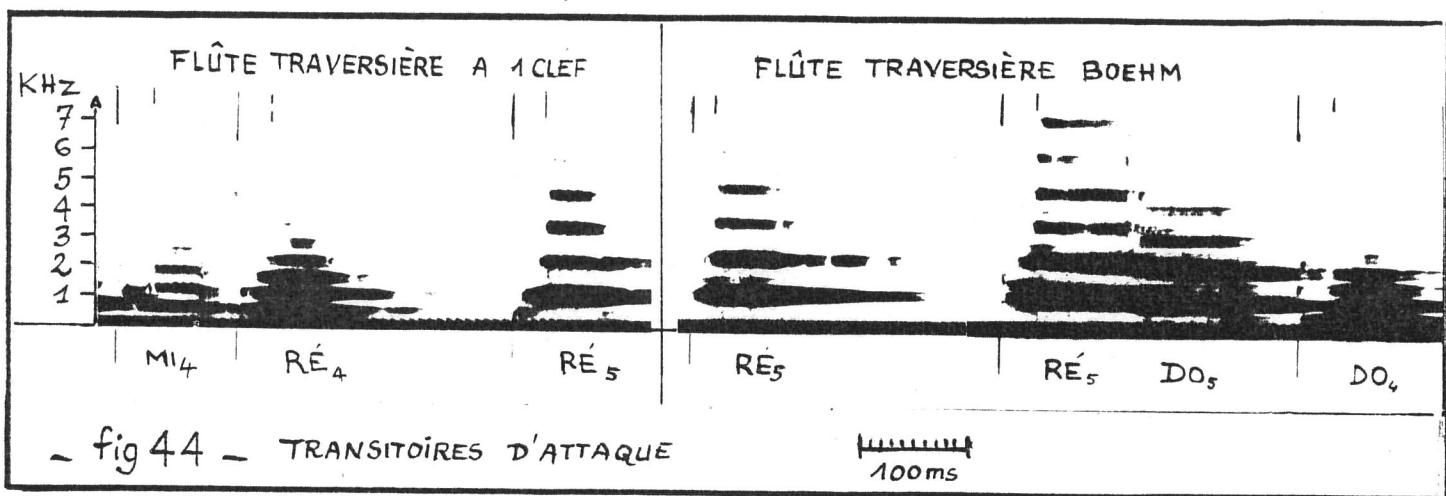
Malgré les variations inévitables de sonorité produites par le musicien en cours de jeu, certaines caractéristiques semblent donc bien apparaître, qui sont communes aux flûtes d'un même groupe et qu'on doit pouvoir relier aux particularités de la perce.



PREMIÈRE PÉRIODE

~fig.43 ~

DEUXIÈME PÉRIODE

*~fig 42 ~*

c) Les facteurs qui conditionnent le timbre de la flûte à une clef

1 - Rôle du musicien

Nous ne saurions trop insister sur la part importante qu'a le musicien dans la sonorité, principalement en réglant la direction du jet et la forme de la lumière cf fig.6.

En comparant 2 flûtes jouées par des musiciens différents on risque fort d'étudier plus les flûtistes que les instruments.

Toutefois un flûtiste expérimenté et habile saura faire sonner au mieux chaque flûte plutôt que de la forcer à produire un timbre donné.

2 - Timbre et justesse des partiels;

Nous avons vu chapitre IV-c que ces deux qualités sont étroitement liées dans un instrument à vent et en rendent la facture fort complexe, car toute modification de la justesse entraîne ipso facto des changements de timbre.

On se rappelle que les rapports de fréquence entre les partiels conditionnent le timbre : spectre et transitoires. Lorsque la flûte fonctionne selon un mode donné, par exemple le mode 2 (octave) les autres modes vibratoires (1,3,4,5...) coexistent et participent à l'élaboration du son. Plus leurs rapports de fréquence sont proches de la série harmonique plus le régime vibratoire émis est intense et riche en harmoniques de tous rangs. Au contraire, lorsque les modes vibratoires ne sont pas en relation harmonique: cas des petits trous, des sons de fourche, le son produit est plus faible et l'énergie tend à se concentrer presque exclusivement dans le fondamental.

Toute action qui modifie les rapports de fréquence des partiels a donc des répercussions sur la composition spectrale.

- Ce sont : - la perce longitudinale;
 - la position et les dimensions des trous latéraux;
 - la place du bouchon;

3 - Forme du trou d'embouchure ;

Ce point est fort délicat à étudier, or il a une importance certaine comme le montre la pratique. La pente des bords du trou, l'importance de l'évasement interne au raccord avec le tuyau, semblent intervenir dans la facilité d'émission des sons graves.

L'arête du bord du trou semble plutôt jouer un rôle dans l'attaque des sons. Très vive, le registre aigu est facilité, mais avec du bruit; émoussée, l'attaque est aisée mais perd en précision.

4 - Le matériau

Cette question fait l'objet de discussions passionnées mais souvent peu étayées de preuves véritables. Nous l'avons examinée en détail dans un travail précédent ; (M. CASTELLENGO, thèse; 3ème partie Ch. VI).

Schématiquement le matériau joue un rôle dans la sonorité par ses qualités physiques : dureté, finesse du grain. Celles-ci interviennent principalement :
 - au niveau du trou d'embouchure (tranchant, finesse des arêtes)
 - dans la possibilité de polissage intérieur du tube : des parois lisses et non poreuses permettant aux vibrations aériennes de s'établir plus aisément et avec un meilleur rendement (moins de pertes par frottement).

5 - Le diapason

Pour avoir souvent entendu les musiciens parler d'un beau timbre "chaud" et "grave" de la flûte à un diapason bas nous avons fait l'expérience suivante :

Une même phrase musicale jouée sur différentes flûtes de diapasons différents est ramenée, par transpositions au magnétophone, à une hauteur unique. Inversement, une phrase musicale jouée sur une flûte est recopiée plusieurs fois avec des vitesses, donc des diapasons légèrement différents. Malgré les légers écarts de tempo dus au transcription l'expérience fut concluante : vers l'aigu l'instrument semblait plus "clair" et vers le grave plus "chaud". Le même enregistrement pouvait changer de qualificatif selon qu'il était comparé à un précédent plus aigu ou plus grave. L'écart des diapasons ne dépassait pas 2/3 de ton en tout.

Il est quasi impossible de s'abstraire de ce phénomène lorsqu'on compare 2 flûtes à des diapasons différents, ce qui est presque toujours le cas pour les instruments historiques!....

X - LE JEU DE LA FLUTE TRAVERSIERE A UNE CLEF

Trois fonctions réunies participent au jeu instrumental :

- a) La production du son,
- b) La modification ou le choix des hauteurs,
- c) L'articulation du son,

dont les agents principaux sont à la flûte, respectivement, le souffle, les doigts, les coups de langue.

Bien que chacun des trois éléments puisse à l'analyse théorique être étudié séparément, nous savons qu'en pratique il est lié aux deux autres. Le pourcentage ou partage des trois éléments réunis fait la personnalité du jeu et celle du joueur, l'acte instrumental comme l'acte musical étant un art de synthèse. Ceci est vrai globalement pour tous les instruments. Mais à chaque type d'instrument correspond une technique de jeu qui nécessite un partage différent. Nous analyserons donc les particularités du jeu de la flûte à une clef dans les trois fonctions énoncées ci-dessus.

a) La production du son

L'embouchure ne diffère pas fondamentalement de celle de la flûte "boehm". Toutefois l'étroitesse du trou nécessite une dépense d'énergie moins importante. La grandeur du trou d'embouchure conditionne les rapports entre l'instrument et l'instrumentiste. Plus l'embouchure est étroite, plus les possibilités du joueur sont limitées au caractère de flûte; plus elle est large et plus l'influence de l'instrumentiste grandit en ce qui concerne l'ampleur du son et les changements de timbre.

1°) Une différence essentielle avec la technique d'aujourd'hui est l'utilisation musicale du vibrato. Bien que le phénomène, sinon le terme, soit connu depuis toujours (cf. M. AGRICOLA, ed. 1545, comparaison avec les violes polonaises sans frettes, inf. R. MEYLAND p.52) sa fonction est tout à fait autre. Au XVIII^e siècle le vibrato fait partie des artifices de l'ornementation. Il n'est jamais réparti uniformément sur un groupe de notes ou sur la totalité d'une phrase musicale.

2°) Une autre différence non moins essentielle est l'utilisation d'une technique de souffle héritée des méthodes de chart françaises des XVII^e et XVIII^e siècles.

fig 44

ECHELLE de tous les tons et Semitons de la Flûte TRAVERSIERE par musique et par tablature.

Planchette 1^{ère}

Notes de musique.

The musical notation shows a staff with notes corresponding to the flute's holes. Above the staff, the notes are labeled: mi fa sol la ré ut ré mi fa sol la ré ut ré mi fa sol. Below the staff, the holes are numbered 1 through 7. Fingerings are indicated by small numbers above or below the notes, such as 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11, 12, 17, 18, 19, 23, 25, and 35. The staff ends with a repeat sign and continues with a second section of notes: mi ré ut si la sol fa mi ré ut si la sol fa mi ré.

Tablature

A tablature staff with seven horizontal lines, each representing a hole in the flute. Fingerings are shown as small circles or dots on specific lines, corresponding to the musical notation above.

Suite

Another tablature staff showing the continuation of the scale, starting from the first note of the previous section.

HOTTETERRE ~

Planchette 2^{ème}

ECHELLE de toutes les Cadences ou tremblemens de la Flûte TRAVERSIERE

The musical notation shows a staff with notes and fingerings for different cadences and tremblings. The fingerings are labeled: Cadences sur le ré, sur le mi, sur le fa, sur le sol, sur le la, sur le si, sur l'ut, and sur le ré. The staff consists of a series of eighth and sixteenth notes with corresponding fingerings above them.

Planchette 2^{ème}

A tablature staff with seven horizontal lines, showing fingerings for various cadences and tremblings. The fingerings correspond to the labels in the musical notation above: sur le ré, sur le mi, sur le fa, sur le sol, sur le la, sur le si, sur l'ut, and sur le ré. The staff shows a sequence of fingerings across the seven holes of the flute.

Une note longue est rarement uniforme mais "enflée" ou "gonflée" on dirait même "poussée" si ce terme n'avait pas pris un sens péjoratif dans le langage des instrumentistes aujourd'hui. Le souffle devra donc modifier l'intensité du son et parfois sa hauteur, en donnant l'impression d'un mouvement réel de l'intérieur vers l'extérieur.

Citons J.J. QUANTZ, ch. XIV, § 11 "... Cependant chaque note, qu'elle soit une noire, une croche ou une double croche, doit avoir son Piano et son Forte, suivant que le temps le permet."

MONTECLAIR, Principes de Musique - Paris 1736, p. 89

b) Le choix ou modification des hauteurs

Il s'agit d'une part du choix d'un doigté déterminant la longueur acoustique du tuyau, et d'autre part, c'est encore plus caractéristique, des doigtés particuliers à certains ornements qui ont pour but de leur donner leur véritable expression.

1°) Doigtés propres aux bémols et aux dièses

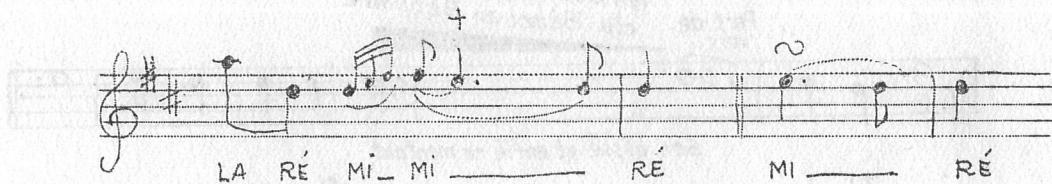
La flûte "Allemande" est devenue française au XVIII^e siècle. En sa conception, elle a subi une forte influence du "goût" français. Ainsi en est-il des doigtés propres aux notes bémolisées, qui donneront un son plus haut que ceux propres aux notes dièses. Cela pour être en accord avec les tempéraments dérivés du tempérament à "tons moyens", et que par là, la justesse mélodique de la flûte se conforme à la justesse harmonique des instruments à clavier. C'est ainsi que l'utilisation des doigtés corrects, par le mélange des sons de base et des sons de fourche (intensités, timbres, hauteurs différents) donnera au chromatisme une saveur particulière à laquelle les instruments d'aujourd'hui sont par nature inaptes.

2°) Le tremblement ou cadence : "... une agitation de deux sons éloignés d'un ton ou d'un demi ton l'un de l'autre et battus plusieurs fois de suite. On le commence par le son supérieur et on le finit par l'inférieur..." (HOTTETERRE). Voilà qui situe le caractère du tremblement qui doit être "effet" ou "perlé" suivant HOTTETERRE ou MAHAUT. D'après les tables originales, chaque fois que cela est possible, le tremblement du ton ou du demi ton est battu sur un trou qui, ouvert, ne donne pas le juste intervalle mais un intervalle plus grand. On constate également que le plus souvent pour le tremblement de ton c'est un doigté de fourche qui provoquera l'"effet" que l'on peut voir sur les sonagrammes (fig.45). Il faudra cependant respecter la justesse du ton ou du demi ton et pour cela "... ménager l'haleine... ne pas lever les doigts fort haut... et frapper fort vite" (QUANTZ, Essai, Ch. IX, § 9).

3°) Le battement : "... se fait frappant une ou deux fois de suite et le plus vite qu'on peut sur le trou toujours plein ou tout bouché, et le plus proche du ton où on veut le faire... Il participe d'un ton inférieur" (HOTTETERRE). L'intervalle entre les deux sons qui, si l'on exécutait ce doigté lentement, varierait selon les cas de la 2de mineure à la 4te augmentée, ne devra pas être entendu comme tel mais perçu comme un "effet". Les moyens employés s'attachent au caractère de l'ornement (sonagrammes fig. 47).

4°) Le flattement : " ou tremblement mineur se fait presque comme le tremblement ordinaire; il y a cette différence que l'on relève toujours le doigt en le finissant.... de plus on le fait sur des trous plus éloignés et quelques uns sur le bord ou l'extrémité des trous; il participe d'un son inférieur ce qui est le contraire du tremblement.... (HOTTETERRE). Fondamentalement différent du vibrato qui oscille autour du son principal, le flattement qui participe exclusivement du son inférieur lui est cependant assimilable, en ce qu'ils ont la même fonction expressive. fig. 48

Notons encore une particularité propre au solfège du XVIII^e siècle qui est la prédominance donnée à la réalité expressive d'un groupe de notes sur la juste intonation de chacune des notes de l'agrément ou sur la rigueur du rythme écrit.



Qu'on ne voit pas dans ces commentaires une défense et illustration de la "fausseté" des instruments anciens et de la flûte traversière en particulier, mais seulement une orientation vers des fonctions et des buts très différents de ceux d'aujourd'hui. Il est maintenant démontré (fig. 35 à 37) que les champs de libertés des hauteurs comparés des flûtes DELUSSE, M. LOT, HAYNES) que les instruments du XVIII^e siècle, en considérant leurs objectifs, ne sont ni plus ni moins faux que nos instruments modernes. C'est par un travail attentif et assidu que le flûtiste d'aujourd'hui domine jusqu'à les éliminer dans son jeu les défauts inhérents à l'instrument. Il en était de même chez les bons instrumentistes du passé auxquels QUANTZ recommande quatre heures de travail journalier pendant le temps de leur apprentissage (Essai, Ch. X, § 23).

c) L'articulation :

Il est difficile de faire point par point une analyse comparée des différents coups de langue, tant les moyens mis en œuvre sont, d'apparence, identiques à toutes les époques. La pratique fera probablement découvrir les ressources et les limites de chaque instrument et "sentir" ce que la flûte attend du flûtiste en la matière. En revanche on comprend le sens esthétique de l'articulation au XVIII^e siècle à la lecture des textes originaux qui traitent du sujet. En voici deux exemples :

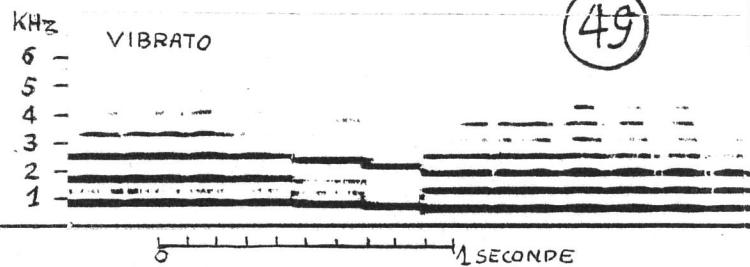
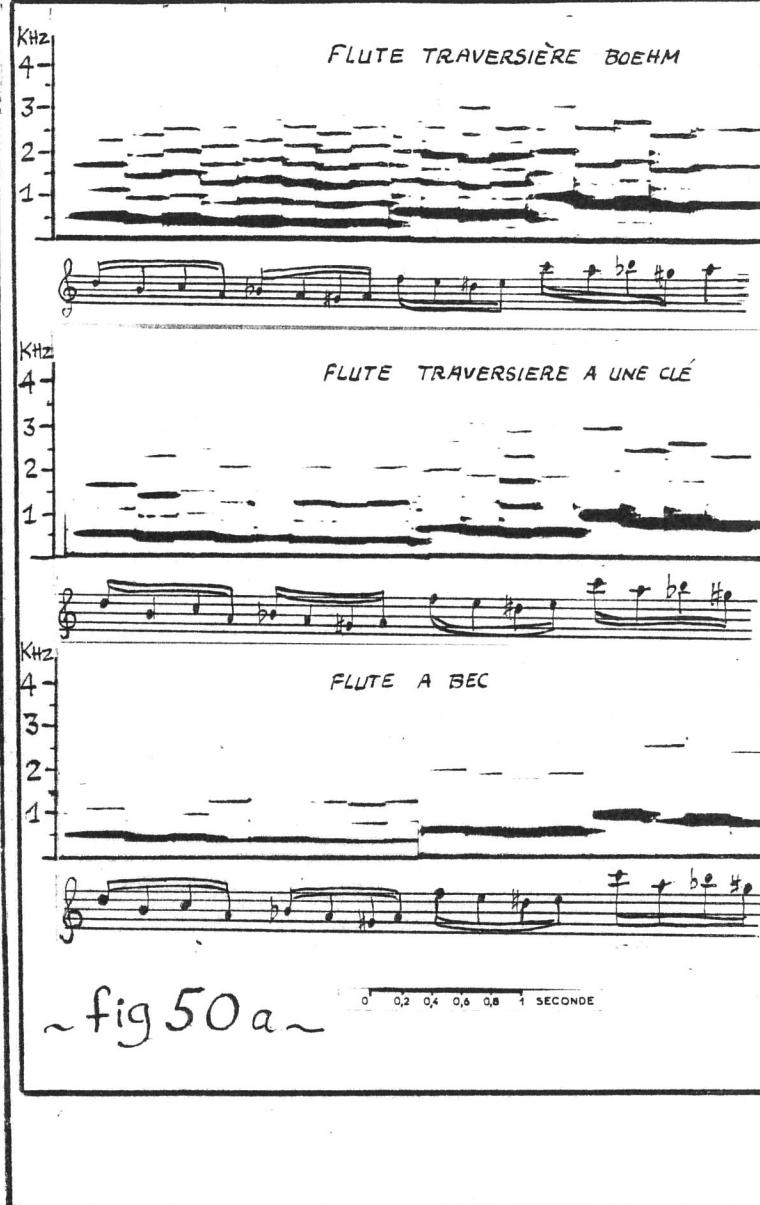
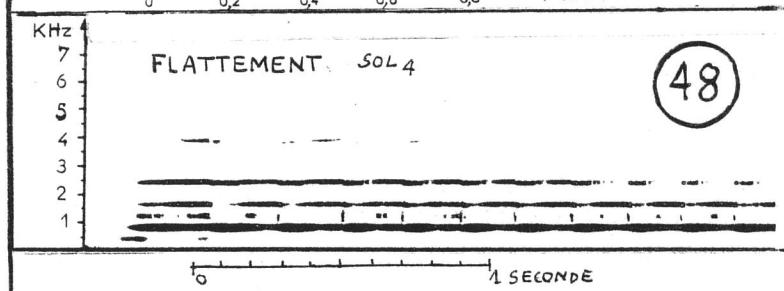
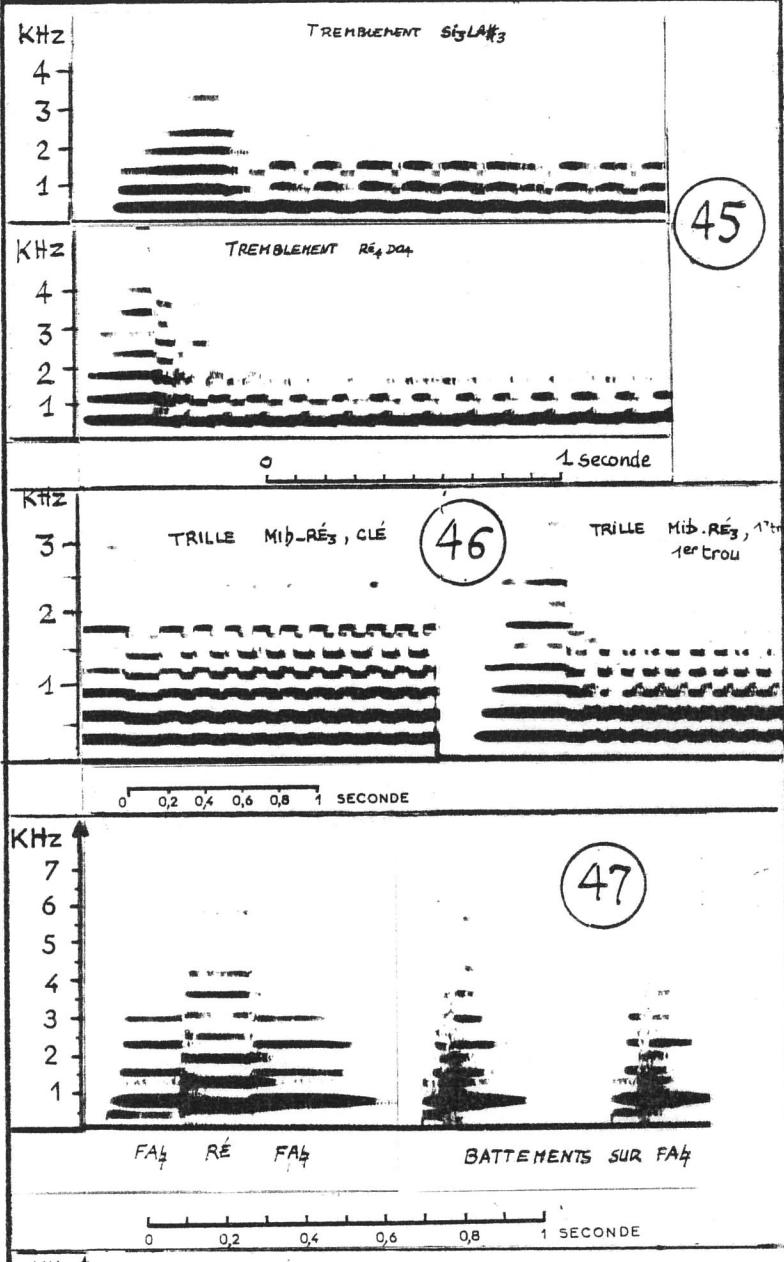
- J. ENGRAMELLE, "La tonotechnie ou l'art de noter les cylindres" Ch. II : "des observations à faire sur la musique", 1775 -. (Les mots soulignés sont en italique dans l'original).

".... Toutes les notes dans l'exécution, qu'elles soient cadencées, martelées ou non, sont partie en tenue et partie en silence; c'est-à-dire qu'elles ont toutes une étendue déterminée de son, et une étendue déterminée de silence, lesquels réunis font la valeur entière de la note....

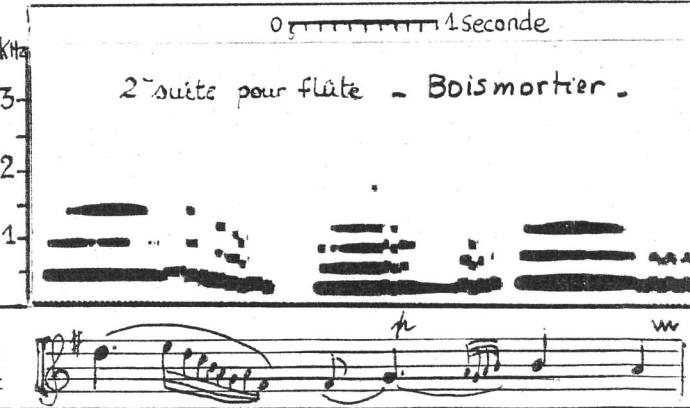
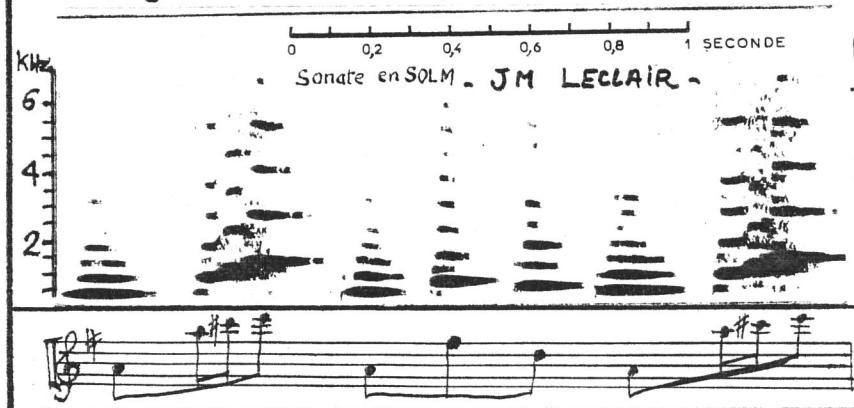
... Ces silences à la fin de chaque note sont aussi nécessaires que les tenues mêmes....

... Un coup de langue, un détaché, une reprise d'haleine, etc... ne peuvent s'exprimer sur aucune note, qu'autant qu'ils sont précédés par des silences....

... Si par exemple il se rencontraient deux noires de suite, dont la seconde dût être frappée d'un coup de langue... plus on augmenterait le silence de la première plus



~fig 50b~ Sonagrammes de jeu de Flûte traversière à une clé ~



le coup de langue de la deuxième serait ressenti et détaché...

... Pour se convaincre de la nécessité de ces silences, qu'on exécute sur un orgue, clavessin, épinette ou tout autre instrument à clavier que ce soit tel air qu'on voudra, et qu'en l'exécutant on fasse plutôt attention à l'exécution qu'à la manière dont on le note sur le papier, on s'apercevra qu'un doigt qui vient de finir une note, est souvent levé longtemps auparavant que de poser le doigt pour la note suivante, et cet intervalle est nécessairement un silence, et si l'on y prend bien garde, il se trouvera entre toutes les notes de ces intervalles plus ou moins longs, sauf lesquels l'exécution serait mauvaise.... Ce sont tous ces intervalles plus ou moins longs que j'appelle silences d'articulation dans la Musique, dont aucune note n'est exempte, pas plus que la prononciation articulée des consonnes dans la parole, sans lesquelles toutes syllabes n'auraient d'autre distinction que le son inarticulé des voyelles....

... L'articulation de la Musique... Il faut que les silences d'articulation soient plus variés que dans la parole, si l'on veut qu'elle produise une espèce d'articulation intelligible et intéressante..."

- J. QUANTZ, Essai, Ch. VI § 1,5,6,9 et 12

... C'est la langue qui fait que sur la flûte les tons peuvent être vivement exprimés. Elle est indispensable pour l'expression musicale; et fait ce que les coups d'archet font sur un violon....

... Pour rendre les notes d'une manière bien brièvement il faut se servir du ti; où la langue se retirant vivement contre le palais peut étendre de nouveau le vent...

... Pour les notes lentes et nourrissantes le coup de langue ne doit pas être rude, et il faut alors employer le di au lieu du ti. Il faut remarquer que comme pour le ti la pointe de la langue se retire d'abord contre le palais; il faut au contraire que pour le di elle reste libre au milieu de la bouche pour ne pas empêcher le vent de nourrir le ton...

... Dans les passages vites la simple langue n'est pas d'un bon effet, parce que les notes deviennent toutes égales, lesquelles doivent pourtant selon le bon goût être un peu inégales. On peut se servir de deux autres sortes de langue, savoir tiri pour les notes pointées, et pour les passages d'une médiocre vitesse; et du did'll pour les passages fort vites....

... Il n'est pas bien possible par le simple discours, et sans l'usage et la pratique de faire sentir avec précision la différence qu'il y a entre les syllabes ti et di, quoi que l'expression des passions en dépende en grande partie, ni de faire connaître toutes les sortes de coups de langue. Néanmoins chacun, en réfléchissant, pourra se convaincre que de même qu'il y a plusieurs diverses couleurs qui tiennent le milieu entre le noir et le blanc, de même aussi on doit trouver entre les coups de langue rudes et mous, plusieurs coups modérés, et que par conséquent on peut exprimer le ti et le di de plus d'une manière. Le tout dépend d'une grande application à rendre la langue assez souple pour entonner toutes les notes, tantôt plus fortement, tantôt plus mollement, selon que leur nature le demande, ce qui se peut effectuer par la facilité à retirer la langue du palais, avec plus ou moins de vitesse, et à pousser le vent avec plus ou moins de force...".

Les coups de langue, comme les doigtés aux claviers ou les coups d'archet, ont pour objectif essentiel de provoquer les silences d'articulation, qui sont au jeu instrumental ce qu'est la prononciation des consonnes au langage parlé. La diversité conseillée par les auteurs dans l'articulation incite l'instrumentiste à varier son jeu de toutes les façons qui rendront leur juste résonance aux divers éléments musicaux. Prenons le simple exemple suivant : le tiré et le poussé de l'archet sont par nature fort différents; les coups de langue ti et ri en sont les équivalences dans une succession de mouvements

conjoints. Ils donnent aux notes écrites égales leur inégalité naturelle et renforcent l'inégalité de celles qui sont écrites inégales.

A défaut d'analyse ponctuelle et précise, nous aurons donc défini les buts de l'articulation dans le jeu de la flûte traversière à une clef que sont le caractère et l'intelligibilité, secours indispensables de l'expression orale ou sonore de la pensée.

Est-il besoin d'ajouter que nous sommes formellement en contradiction avec M. T.E. WARNER (cité ci-dessous) à cause des caractéristiques fondamentales de la facture qui conditionnent le jeu en général, le style, le phrasé, la respiration, etc... et dont la connaissance nécessite une pratique assidue.

" The best approach concentrates on recreating such essential aspects as tempo, realisation or addition of ornaments, and articulation. It is usually neither practical nor wise to insist on minor details. For example, it serves no purpose to demand that wind players perform on original or reconstructed 18th-century instruments. Knowledge of their capabilities and tone qualities greatly assist in balancing modern orchestral forces, but requiring their actual use is pure pedantry. Yet accepting conditions of modern performance need not imply adopting its conventions."

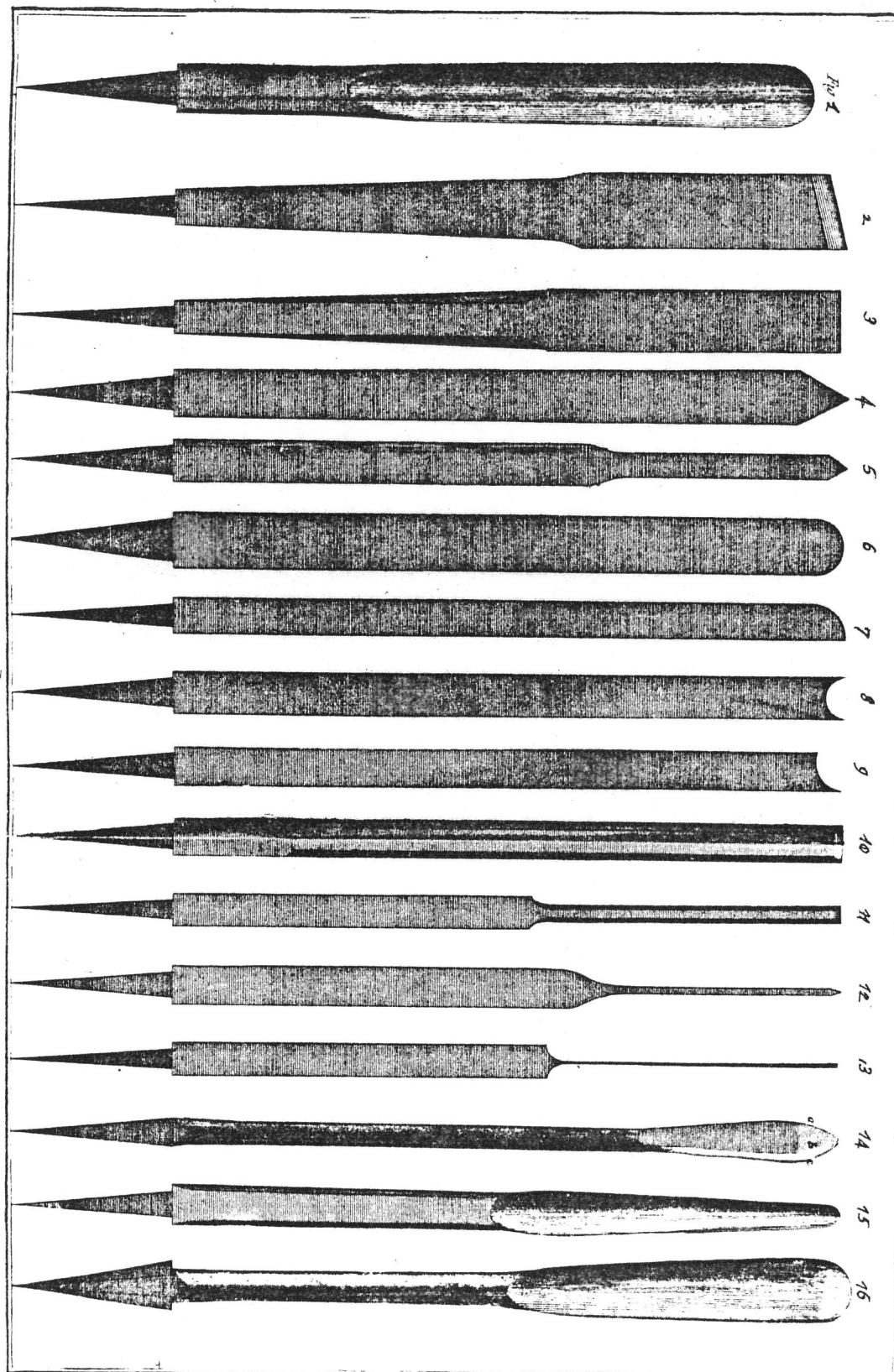
XI - FACTURE DE LA FLUTE A UNE CLEF

a) L'OUTILLAGE D'EXTERIEUR : (Voir figure 51)

L'outillage de base de la fabrication d'une flûte traversière à une clef est celui du tourneur sur bois : un tour à bois et une petite partie des outils à main du tourneur. On en trouve la description dans les manuels spécialisés : PLUMIER, ROUBO, HULOT, BERGERON, etc... Les plus employés, pour les surfaces externes sont dans l'ordre et en fréquence d'utilisation :

- Les gouges à dégrossir affutées "très-camuses"
(1)
Le biseau fait portion d'un très grand cercle et est affuté de très court.
- Les planes ou fermoirs (ou plaines ou formoirs) (2)
sorte de ciseau affuté à deux biseaux plus ou moins égaux. L'arête tranchante rencontre perpendiculairement ou obliquement les champs de l'outil; elles sont destinées à planir l'ouvrage, à effacer les sillons, à ôter les côtes laissées par la gouge.
- Les bédanes (ou bê-d'ânes ou becdanes ou bec-d'ânes) (3,13)
Ciseaux plus épais que les planes et à un seul biseau.
Ils taillent les plates bandes (plats), les astragales, les boudins ou baguettes et les tores (ronds pleins, formes convexes), les tranchées et les coupes en bout (faces des extrémités); ou en trouve de très étroits pour tronçonner saigner ou ou rainurer (13)
- Les grains-d'orge (4,5,12)
Ciseaux carré mé-plat à deux biseaux qui se rencontrent à son sommet en formant un angle plus ou moins aigu selon la forme désirée; ces deux biseaux font avec le dessus de l'outil un angle plus ou moins aigu selon les matières auxquelles il est destiné. Même utilisation que les bédanes et permet en outre de finir les angles rentrants (en creux) mais est plus difficile à affûter.

- figure 51 - BERGERON - « manuel du tourneur , PL XIX



- Les gouges à finir
au biseau plus rond et affûtées de plus long que les gouges à dégrossir. Elles servent à creuser les gorges, congés, doucines.
- Les bédanes ou ciseaux ronds et demi-ronds (6,7)
De différentes largeurs et courbures, pour finir la taille des formes concaves : creux ronds (scoties, nacelles, trochiles) et demi-ronds (doucines, congés)
- Les mouchettes (8,9)
Sorte de ciseaux; font d'un seul coup les tores, boudins, baguettes (ronds pleins) et talons.

Enfin, divers ciseaux dont la réalisation incombera le plus souvent au facteur lui même.

Tous ces outils doivent être de dimensions assorties, affutés différemment (angles de coupe et de dépouille) selon la qualité des matériaux travaillés (densité, homogénéité, abrasivité, etc...) et doivent être forgés d'un acier convenable, trempé comme il faut pour diminuer la fréquence de réaffutage qui représente inévitablement, à la meule et aux diverses pierres à l'huile, une part importante du temps de tournage.

POLISSAGE

La Peüle des montagnes remplace avantageusement la peau de chien (de mer) pour donner aux bois durs comme le buis, le gaïac et l'ébène la "dernière politesse et union" puis, on les frotte avec un peu de copeaux minces du même bois faits au ciseau ou avec une pièce de chamois et un peu d'huile ("d'olive").

Dès 1792, BERGERON signale un papier abrasif : "on tire d'Angleterre un papier enduit d'une composition qui réussit parfaitement en vend à Paris depuis le plus rude jusqu'au plus fin".

Il faut signaler que l'Angleterre eut sur la France des corporations, tout au long du XVIII^e Siècle une grande avance technologique (Maurice DAUMAS in P.U.F. Les instruments scientifiques aux XVII^e et XVIII^e Siècles).

b) LA PERCE :

" Nous appelons le fifre une petite flutte traverse à six trouz, de laquelle usent les Allemands et Suisses, et d'autant qu'elle est percée bien estroictement de la grosseur d'un boulet de pistolet, elle rend un son aigu...."

Thoineau ARBEAU, Orchésographie, Langres 1596.

Les outils utilisés pour l'intérieur de l'instrument sont également ceux du tourneur.. mais la précision de leurs profils et la manière dont on les utilise ont une plus grande importance :

- QUANTZ. 1752. p.42 § 4 1 12

" La netteté des Octaves ne vient que de la fstructure interieure de la Flûte, laquelle pourtant contribue aussi beaucoup à la beauté & à l'agrément du son. Si la largeur du dedans de la Flûte est trop diminuée, les tons hauts sont trop hauts à proportion des tons bas. Et si cette largeur n'est pas assez diminuée, les tons sont trop bas en regard aux tons bas. Le trou de l'embouchure doit aussi être bien taillé. Pour entonner chaque ton net, en passant de l'un à l'autre, il faut avoir l'embouchure ferme & sûre, l'oreille faite à la Musique, & une connoissance des proportions que les tons ont entre eux. Celui qui joint à ces qualités celle de bien jouer de la Flûte, est en état de rendre une Flûte bonne & bien accordée. Mais comme cela manque à la plupart des faiseurs de Flûte; on a non seulement de la peine à

en trouver de bonnes; mais aussi à acquérir en jouant une bonne oreille. C'est un grand avantage à un joueur de Flûte, quand il fait en faire lui-même, ou qu'il peut au moins les accorder. Une flûte neuve retrécit, lorsqu'on en joue souvent, & cela change la pluspart du tems la structure intérieure. Il faut donc qu'elle soit retouchée par les mêmes perces, pour conserver la netteté des Octaves."

- JAUBERT. 1763. p. 182 § 4

" Un habile artiste doit préter toute son attention à donner le juste diamètre intérieur à la partie supérieure où est placée l'embouchure de la flûte; ce diamètre doit insensiblement diminuer le long de l'instrument jusqu'au trou de la clef; après quoi il se rélargit jusqu'à l'extrémité du corps de la flûte. Il faut des soins particuliers pour savoir employer les perces ou plus grandes ou plus petites dans les endroits différents de la flûte, et c'est d'où dépend la bonté et la justesse de l'instrument.

Les six trous qu'on ouvre et ferme avec les doigts, ainsi que la clef de ré dièse, doivent être partagés et percés non seulement selon les principes de l'art, mais encore selon la justesse de l'oreille, pour que chaque ton, dans le bas ainsi que dans le haut, se trouve dans son vrai point. Mais cela est d'une si grande difficulté, que les plus célèbres joueurs de flûte avouent qu'ils n'ont jamais trouvé un de ces instruments parfaitement juste dans tous les tons : ils sont obligés d'y suppléer par le plus ou moins de vent."

- BERGERON. 1792 - 1796 è 1816

" Ces outils nommés perces par les luthiers, ne sont autre chose que des espèces de louches...."

... Mèches de tourneur à la forme d'une cuiller et au bout circulaire....

... Succession d'outils coniques ou Bondonnières, pour croître un trou...."

... Ces outils coupés longitudinalement sont évidés par une portion de cercle non concentrique (15,16).

Mais bien avant ces opérations finales, le morceau de bois brut ébauché extérieurement aura été percé avec une mèche ou tarière d'un trou provisoirement trop étroit...

"... Il faut se procurer 8 à 10 douzaines de mandrins (& certainement ce n'est pas trop); leur préparer un trou pour la vis qu'on fera dans un autre tems; mais le faire plus petit qu'il ne faut; percer le mandrin dans sa longueur avec une mèche de deux lignes feullement, afin que le bois en fêchant ait la possibilité de rentrer sur lui-même, & ne fende pas à la circonférence, comme cela arrive presque toujours. On les tiendra pendant très-long-tems dans un endroit où le soleil ne frappe pas, qui ne fait ni sec ni humide : petit à petit on ouvrira les croifées par un tems moyennement sec: enfin on les amènera à fêcher doucement, & les fibres du bois se rapprocheront lentement sans se défendre. Il en faut dire autant de tous les bois qu'on conservera pour les employer. Les Ouvriers ont tous des méthodes dans lesquelles ils ont grande confiance, & que l'expérience dément tous les jours. Les uns graiffent le bout des morceaux, d'autres collent, avec de la colle-forte, une feuille de papier sur chacun des bouts. Pour peu qu'on réfléchisse à la composition physique des bois & à leur texture, on verra que ces procédés ne peuvent être qu'insuffisants. Les bois contiennent d'abord l'eau de végétation, & ensuite celle de décomposition. C'est à l'évaporation fubite ou lente de la première, qu'il faut attribuer leur fente ou leur conservation. Si donc on opère cette évaporation assez lentement pour que les fibres aient le tems de se rapprocher, il n'y aura pas de gercures & le contraire arrivera si le défectionnement est subit & prompt.

Il faut encore distinguer, à cet égard, la forme du bois à fêcher. Les rondins sont infiniment plus fuyants à se fendre, que les morceaux déjà fendus en deux sur leur longueur, & la raison en est simple. Un rondin est, comme nous l'avons dit ailleurs, un assemblage de couches annuelles & circulaires. Celles de la circonférence, ont plus de chemin à faire pour que le cercle qu'elles décrivent se retrécisse, que celles

du centre; & d'ailleurs, exposées au contact immédiat de l'air, elles séchent plus vite que celles du centre; & comme celles-ci ne rentrent pas, autant & aussi vite que les autres l'exigeraient, il est de toute nécessité qu'elles se fendent; & cette fente est d'autant plus grande, qu'elle est plus éloignée du centre. Si donc on a l'attention de tenir le bois d'abord dans un endroit un peu frais, l'évaporation sera infinie, chaque cercle se retrécira infiniment, & il n'y aura pas de fente.

Quant aux morceaux fendus en deux; à moins qu'on ne les expose à un hâle un peu grand, il est rare qu'ils se fendent, puisque les deux bouts des demi-cercles, qui forment chaque couche annuelle, ont la faculté de se rapprocher, & se rapprochent en effet. Il est très-aisé de se convaincre de ce que nous disons ici, si l'on remarque une bûche, par exemple, fendue en deux, dont le milieu présente d'abord une surface un peu plane & droite. Au bout de quelques jours, si elle ne s'est pas fendue, cette surface est bombée sur sa largeur, ce qui prouve que les demi-cercles se sont raccourcis.

Nous n'avons encore parlé que de l'eau de végétation. Celle que les Chymistes nomment Eau de composition, & que dans l'analyse des bois on distingue aisément de la première, ne quitte jamais entièrement le bois; mais son évaporation ne produit pas des effets aussi sensibles. Cependant, quelque fois qu'on suppose une pièce de bois, elle conserve toujours une très-grande partie de son eau de végétation. On a fait refendre en long des poutres venant des démolitions d'un vieux bâtiment: & au bout de quelques jours on a vu la surface mise à l'air se voiler, ou comme disent les Ouvriers, se coiffer: c'est que l'eau de composition s'évapore encore.

On nous a assuré qu'un moyen sûr d'empêcher des bois coupés, dans leur pleine sève, de se fendre, est de les jeter dans un bâton, une rivière ou un étang. Ils ne perdent alors que la plus grande partie de leur eau de végétation, & si pendant l'hiver on les retire de l'eau, comme le hâle n'est presque rien, on prétend qu'il n'y a pas à craindre qu'ils se fendent. Ces notions qui paraissent peut-être minutieuses, ont cependant leur degré d'importance pour les personnes qui aiment à réfléchir sur la nature des choses, & à scruter les causes de tous les effets qui frappent leurs yeux..."

BERGERON T1 p.209 à 211.

"... Un Amateur n'est pas ordinairement pourvu de tous les moyens que la nécessité indique à ceux qui en font leur état, pour conserver & ménager les bois: aussi voit-on souvent, chez les personnes qui s'amusent de l'exercice des arts, une infinité de bois précieux fendus, & hors d'état de servir. Cette partie, infiniment coûteuse, lorsqu'on est parfaitement approvisionné, mérite cependant qu'on y apporte quelque attention.

Il faut éviter l'un & l'autre excès, de tenir ces bois dans des lieux trop frais, & même humides, comme font quelques Marchands, qui, par ce moyen, vendent des bois même déjà fendus, mais dont l'humidité, dont ils font pénétrés, ne permet pas qu'on s'aperçoive, & la négligence de beaucoup d'Amateurs qui les abandonnent dans un coin du laboratoire, au hâle & à la chaleur. Il suffit d'un lieu frais, mais aéré, & où le soleil ne donne pas. En effet, les bois, soit d'Europe, soit des îles, font plus ou moins compacts: leur désséchement n'est autre chose que l'évaporation, plus ou moins rapide de l'eau de végétation. Si donc cette évaporation se fait trop rapidement; c'est toujours à la circonference; & le vide que laisse entre les fibres l'absence de cette eau, les réduit à un moindre volume. Il est donc naturel qu'ils tendent à se rapprocher: mais si le cœur du bois n'a pas eu le temps de perdre cette eau, il est clair que les efforts de la circonference feront inutiles, & dès lors, la solution de continuité des parties, & la fente. Il fera bon, si l'on achète des bois dans l'hiver, de les tenir dans un endroit qui ne soit qu'à l'abri du soleil, & médiocrement exposé à l'air. L'hiver suffira pour opérer un désséchement convenable, & au printemps, il pourra endurer l'air libre. Si, au contraire, on les achète l'été, il fera bon de les mettre, non pas à la cave, ce qui, en aucun cas, en doit être admis, mais sur les marches de la cave, & le plus près de la porte d'entrée. De cette manière, en les y tenant jusqu'à l'automne, on évitera, & l'humidité, & le trop grand hâle. Mais dans tous les cas, il feroit beaucoup mieux d'avoir un cellier ou chambre bâtie, abritée de tous les rayons du soleil....

BERGERON. T.1 p. 377 et 378.

" Les Naturaliftes diftinguent dans les végétaux, & fur-tout dans les arbres, l'eau de végétation & l'eau de compofition. Lorfqu'on coupe un arbre en pleine végétation, la féve eft dans fon cours; & fi, par une coupe hors de faifon, on interrompt le cours de cette féve, elle ferment dans les fibres, & produit, en peu de temps, ces taches blanches, qui attendriffent le bois, comme s'il étoit tout aubier; & c'eft ce qu'on appelle du Bois échauffé, qui n'eft plus bon à rien. Lorfqu'au contraire le bois eft coupé dans la faifon où la féve n'eft plus en mouvement, & où, faute d'être appellée vers le fommet de l'arbre, la végétation eft interrompue, il ne contient plus que l'eau de végétation & celle de compofition. On nomme Eau de végétation, la partie de la féve qui n'eft pas suffisante à la végétation, & cependant eft néceffaire pour entretenir la vie dans le végétal. C'eft cette eau qu'on voit, fur-tout dans le bois neuf, s'échapper par les bâts d'une bûche fur les chenets, parce qu'échauffée par le milieu de la bûche, elle entre en expansion: & cet effet eft d'autant plus sensible, que le bois eft plus anciennement ou plus récemment coupé. C'eft l'évaporation trop fubite de cette eau, qui ne donnant pas le temps aux fibres de se rapprocher, fait fendre les bois, comme on le voit souvent dans les ateliers. Le meilleur moyen feroit d'empiler ces bois, & de laisser circuler autour peu d'air, fur-tout dans l'été, & de le tenir à couvert dans la forêt même: dans les pays où le commerce du bois eft cultivé avec foin, comme en Hollande, on jette dans des marais tous les bois fraîchement abattus: là ils perdent leur eau de végétation, & ne s'imbibent que peu de l'eau naturelle; & quand on veut les débiter, ils fêchent en peu de temps sans se fendre.

Outre l'eau de végétation, les bois contiennent encore un autre fluide, qu'on nomme Eau de compofition. Cette eau existe dans le bois le plus sec, puifqu'elle fert à la compofition, & ne s'évapore qu'au bout d'un temps très-confidérable; & c'eft alors que les vers le rongent, & qu'il tombe en pouffière, comme on le voit dans les poutres provenant de démolitions.

Outre les deux fluides, dont nous venons de parler, le bois contient encore une certaine quantité d'huile. Pour peu qu'on foit exercé dans la Chymie, on peut se convaincre de l'existene de ces trois fluides dans le bois. On distillera une certaine quantité de bois: on en verra sortir de l'air, dans une quantité excédente, le volume du bois de plus de deux cent fois; puis l'eau de végétation: ensuite l'huile, & enfin l'eau de compofition. Cette eau de végétation abonde, plus ou moins dans le bois; & c'eft pour qu'elle puiffe s'évaporer & sortir, que nous avons recommandé de deferrer tant soit peu la vis.

BERGERON - T.2 - p.262 et 263

La perce définitive ainsi que la finition extérieure ne seront réalisées qu'après un très long temps de séchage variable selon l'essence.

Le bois vert lorsqu'il est sur pied ou venant d'être abattu peut contenir de 60 à 120 % d'eau. Vers 30 %, on atteint le point de saturation de la fibre: les cellules ne contiennent plus d'eau libre mais les parois des éléments du bois n'ont pas encore perdu l'eau dont elles sont saturées; puis commencent les variations volumétriques jusqu'à l'état dit " sec à l'air " entre 10 et 12 % d'eau,

Note : le pourcentage d'humidité est donné par la formule

$$\frac{M_H - M_A}{M_A} \times 100 \quad \text{où } M_H \text{ est la masse d'une éprouvette humide}$$

et M_A sa masse anhydre

où le futur instrument devenu stable, le resterait s'il n'était soumis aux variations atmosphériques et aux brusques et incontrôlables attaques d'un ventilateur saturé d'humidité : le flûtiste.

Dans la limite des effets de ces impondérables, le dernier outil passé dans la perce détermine définitivement son profil. Chaque facteur fait le sien et le retouche au fur et à mesure des besoins (usure de l'outil, modification de l'intonation, etc....)

Les trous latéraux et l'embouchure sont ensuite pointés, puis percés avec des mèches calibrées et enfin evasés intérieurement par une fraise conique ou par un autre outil à main (canif, etc...)

c) LES BOIS :

Au XVIII^e Siècle le Buis est plus commun qu'aujourd'hui mais reste cher : il se vend déjà à la livre. Celui des Pyrénées est plus gros, a moins de noeud, est plus homogène, plus droit de fil que celui du Jura et comme c'est le meilleur des bois pour le tour, on l'utilise abondamment.

Il ne se coupe d'une manière optimale qu'un seul jour par an (les bonnes années!), à la bonne saison, lorsqu'il est "mort", peu avant la toute première montée de sève. Les initiés connaissent l'importance de la lune en cette matière.... Puis, on le laisse entier dans le champ jusqu'à la fin du printemps ce qui permet au bois de se vider au maximum de sève et d'eau par le feuillage. Après le préperçage, on l'immerge pendant 24 H dans une solution saturée de sel ou d'urée (PLUMIER recommande de le faire bouillir 1 h. dans une lessive légère de cendres de bois neuf). Après ce traitement, il est placé dans un local obscur, type cave, sans circulation d'air et peut être de plus enfoui dans du sable ou du son. 5 ans après, il pourrait être utilisé.

Les "bois des îles" sont plus longs à stabiliser mais, une fois secs, reprennent l'eau avec plus de difficultés.

Citons :

- le bois violet ou bois de violette ou bois royal
- le gaiac ou lignum vitae ou lignum sanctum ou Pockholz (Gaiacum sanctum et G. officinale)
- le bois rose ou bois de rose
- le palissandre ou bois de Ste Lucie

Cependant, peu d'instruments de ces essences, parfois citées par les auteurs sont parvenus jusqu'à nos jours.

Les plus courants sont, avec le buis, les bois "noirs" souvent ornés d'ivoire, de cuivre, d'argent et même d'or.

" La grenadille est un excellent bois pour le tour... et comme il est très dur, les faiseurs d'instruments de Musique en font d'excellentes flûtes, ainsi que d'ébène : mais il paroît, qu'en cela, on consulte plutôt le luxe que la plus grande perfection".

BERGERON

Arrêtons nous un peu sur les bois "noirs" dont les multiples terminologies profanes et savantes sont source d'incertitude.

Famille des Ebénacées (400 à 500 espèces, une dizaine ont un cœur noir assez développé pour donner de "l'ébène").

genre :

NOIR)	(- Diospyros crassiflora	[densité d = 1,00]
UNI)	Côte occidentale d'Afrique (Nigéria du Sud, Cameroun, République Centrafricaine, Congo et Gabon).	

.....

(- *Diospyros perrieri*, *D. toxicaria*, *D. caucorea*, *D. hazomainty* [densité d = 1,15]
) Madagascar (rare à présent mais exporté depuis 1616) "ébène Maurice" du
 (plaqueminier.
)
 NOIR (- *Diospyros ebenum*, [d = 1,17]
 UNI ("ébène Ceylan" et Inde.
)
 (- *Diospyros vera* ()
) Vietnam (rare
) - *Diospyros mollis* ()
 Thaïlande ()

(- *Diospyros rumphii* et *D. celebica* [d < 1,00]
) sud-ouest des Célèbes
 ()
 VEINES (- *Diospyros discolor*
 type ("camagon" des Philippines
 MACASSAR (- *Diospyros quaesita*
 ---) "bois de Calamander ou Coromandel" de Ceylan (rare)
 peu ()
 employés (- *Diospyros melanoxylon* et *D. tomentosa*
 (Inde
)
 (- *Diospyros marmorata*
) Côte birmane - îles Andaman

Famille des Légumineuses Papilionacées

genre : (Seul le *D. melanoxylon* produit un bois noir (avec une nuance pourpre), les autres seront cités pour mémoire)

- *Dalbergia melanoxylon* [d = 1,22]
 "grenadille", "ébène Mozambique", "ébène rouge".

est une espèce panafricaine de la flore soudanaise. Il existe au Sénégal, en Erythrée; se trouve vers l'Est en direction du Sud depuis le Kenya et l'Ouganda jusqu'au Nord du Transvaal et l'Angola.

Exporté depuis longtemps par les ports de Beira et Mozambique (Mozambique), Tanga (Tanzanie) et Mombasa (Kenya).

(Par ailleurs, le Cocus : *Brya ebenus*, *B. buxifolia* est un bois que l'on trouve à Cuba et dans les Antilles et qui est aussi appelé "granadillo" ou ébène d'Amérique).

- *Dalbergia Sp. Pl* [d = 0,85 à 1]
 Palissandres : Madagascar, Indochine ("Camlaï", "Trac"), Amérique latine ("cocobolo-granadillo").
- *Dalbergia latifolia* [d = 0,85]
 Palissandre de l'Inde et Java
- *Dalbergia Nigra* [d = 0,86]
 Palissandre de Rio, Bahia et sud-est Brésil ("Jacaranda")

...../

- *Dalbergia Cearensis* $d = 1,1$
 "bois de violette", "Kingwood",
 Brésil

- *Dalbergia Frutescens* $d = 0,9 \text{ à } 1,1$
 "bois de rose"
 Brésil

- *D. decipularis* "Tulip wood" "Pao Rosa"
 "Tulip wood" "Pao Rosa"

d) FAIRE UNE FLUTE AUJOURD'HUI

Au XVIII^e siècle l'apprentissage durait 6 à 10 ans jusqu'au chef d'œuvre. Un maître ne pouvait avoir plus d'un apprenti à la fois, on tolérait qu'il en "commence" un second, les 4 premières années du premier étant finies! Le temps de travail dépassait rarement 85 heures par semaine!

Les maîtres étaient des maîtres.

Aujourd'hui, le seul apprentissage spécifique à cette facture est la copie. Mais que copier ? L'ovalisation de la perce due à deux siècles d'intempéries diverses ou à 20 ans d'usure "d'époque"? Le superbe instrument "d'époque" qui n'a pas été joué parce qu'il était mauvais ou les multiples fentes, gerçures, étranglements de l'instrument qui malgré tout nous satisfait encore aujourd'hui ?

Le problème n'est pas simple, il cesse même de se poser lorsque l'on va loin dans la copie de "haute précision" : on s'aperçoit alors de ses limites.

A quoi sert-il de mesurer les trous des doigts, leurs positions, la géométrie de la perce au 1/100 de mm alors que la forme de l'évasement intérieur des trous, la forme et l'aspect de surface de l'embouchure (son biseau, ses parois) ne parleront qu'à l'oreille, ou bien à l'œil du facteur sous formes de moulages difficilement rationalisables.

Il faut aujourd'hui bien plus encore qu'en 1752 avoir l'embouchure ferme et sûre, l'oreille faite à la Musique et une connaissance des proportions que les tons ont entre eux, puis joindre à ces qualités celle de bien jouer de la Flûte pour espérer devenir en état de rendre une Flûte bonne et bien accordée car nos maîtres ne nous ont laissé pour tout héritage dans les musées et collections que quelques modèles dont ils ne seraient peut-être pas très fiers ?

○ ○

DOCUMENTATION

" L'art de tourner en perfection " par le Père Charles PLUMIER, minime.
 à Paris, 1701 et 1749

" L'art du menuisier, par Jacques-André ROUBO, compagnon menuisier.
 à Paris, 1769 et 1775

" L'art du tourneur mécanicien " par M. HULOT père, Maître tourneur mécanicien breveté du Roi. à Paris, chez Mr ROUBO, 1775.

" Manuel du tourneur "
 à Paris chez Mr BERGERON, marchand, à la flotte d'Angleterre, 1792 et 1796.

BIBLIOGRAPHIE

BORJON - " Traité de la musette " - Lyon, 1672.

BOWERS J. - " New Light on the Development of the transverse flute between about 1650 and about 1770." *Journal of the American musical instrument Society*. Vol. III. 1977 p.5 à 56

CASTELLENGO M. - " La flûte traversière " - *Bulletin du GAM* n° 35, Paris 1968.

- " La flûte à bec " - *Bulletin du GAM* n° 90, à paraître

- " Contribution expérimentale à l'étude des tuyaux à bouche " *Thèse de l'Université PARIS VI - Paris, 1976.*

- " Un problème de perception de la hauteur dans l'aigu et le suraigu. " in *GAM* n° 76, Paris 1974.

- et E. LEIPP, " Le diapason " *Bulletin du GAM* n° 36, Paris 1968.

CORRETTE M. - " Méthode pour apprendre aisément à jouer de la flûte traversière, " Paris, ca. 1735.

DAUMAS M. - " Les instruments scientifiques aux XVII^e et XVIII^e siècles. P.U.F., Paris 1953.

DELUSSE C. - " L'art de la flûte traversière ". Paris, chez l'auteur, ca. 1761.

DEVIENNE F. - " Nouvelle méthode théorique et pratique pour la Flûte." 2ème éd. Paris 1795.

ENGRAMELLE Père - " La tonotechnie, ou l'art de noter les cylindres " Paris, 1775.

HOTTETERRE - " Principes de la flûte traversière ou Flûte d'Allemagne..." Paris 1707.

JAUBERT Abbé - " Dictionnaire raisonné universel des Arts et Métiers ". Paris 1773 - Vol. 2 - article : Faiseur d'instrument à vent.

KARP C. - " Woodwind Instrument Bore Measurement " in *Galpin Society Journal*, Mai 1978.

KRICKEBERG D. - " Studien zu stimmung und Klang der Querflöte ZWISCHEN 1500 und 1850. in *Jahrbuch des Staatlichen Instituts für Musikforschung*" PREUSSICHER KULTURBESITZ 1968, Berlin.

LANGWILL L.G. - " An index of musical wind-instrument makers" chez l'Auteur, 7 Dick Place, Edinburgh, EH9 2JS, SCOTLAND.

LEGROS H. - " Le problème du tempérament " *Bulletin du GAM* n° 61, Paris 1972

LEIPP E. - " Les champs de liberté des instruments de musique " *Bulletin du GAM* n° 10 - Paris 1965.

MAHAUT A. - " Nouvelle méthode pour apprendre en peu de temps à jouer de la Flûte Traversière ". à Paris, ca 1759

MERSENNE Père - " Harmonie universelle " Livre cinquième, Traité des Instruments à vent.
Paris 1636.

MEYLAN R. - " La flûte "
Ed. Payot. Lausanne, 1974.

MONTECLAIR M. - " Principes de musique, divisés en quatre parties "
Paris, 1736.

PIERRE C. - " Les facteurs d'instruments de musique " précis historique.
Paris, 1893.

PRAETORIUS M. - " Syntagma musicum "
Wolfenbüttel, 1618. T. II, de Organographia.

QUANTZ J.J. - " Essai d'une méthode pour apprendre à jouer de la Flûte Traversière ".
Paris, 1752.

SAUVEUR J. - " Principes d'acoustique et de musique ."
Paris 1701

SECHET P. - " Réflexions sur " l'essai " de J.J. QUANTZ
in " Essai d'une méthode " de QUANTZ. Ed. Zurfluh, Paris 1975.

THOINAN E. - " Les Hotteterre et les Chédeville, célèbres joueurs et facteurs."
Paris, 1894.

VAN DER HAGEN, A. - " Méthode nouvelle et raisonnée pour la Flûte ".
Paris, ca 1790.

WARNER T. - " Indications in performances practice in woodwind instruction books of the
17^e and 18^e centuries.
N.Y. University Ph. D. 1964.

Collectif - " Le piano ", Bulletin du GAM n° 30.
Paris, 1967

o
o * u

