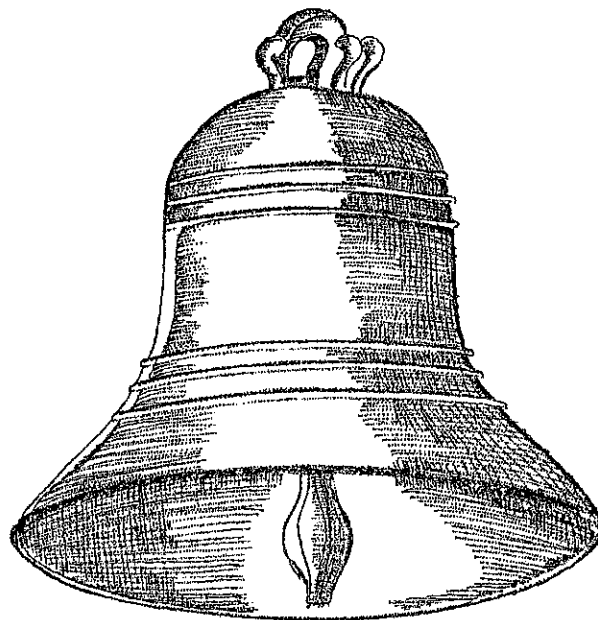


Melle CASTELLENGO

LES CLOCHES



MARS 1966 — n° 18



G A M

BULLETIN DU GROUPE D'ACOUSTIQUE MUSICALE  
FACULTÉ DES SCIENCES — 8 RUE CUVIER, PARIS 5<sup>e</sup>

G. A. M.  
(Groupe d'Acoustique Musicale)  
Laboratoire d'Acoustique  
Faculté des Sciences  
8 Rue Cuvier PARIS 5°

Paris, le 11 Avril 1966

BULLETIN N° 18

Adresse postale : 9 Quai St Bernard

1°) REUNION DU 25 MARS 1966

Etaient présents : M. le Professeur SIESTRUNCK, président  
M. LEIPP Secrétaire général; Melle CASTELLENGO Secrétaire.

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

Puis, par ordre d'arrivée :

M. CARCHEREUX (maître luthier); M. ABITEBOUL (Etudiant); Mme HELFFEN  
CNRS, (Musée Guimet); M. DUBUC (Musée des Arts et Traditions popula-  
ires); M. TOURTE (Professeur honoraire au Conservatoire de Paris);  
M. PERROT (Docteur ès lettres); M. SKOWRON (violiste); M. MOLES  
(Docteur ès Sciences, Docteur ès lettres); Dr. CLAVIE (Docteur en  
médecine); Mme Dr. KADRI (Docteur en médecine); Mme CHARNASSE (CNRS)  
Mme NYEKI (Phonotécaire); M. FAYEULLE (Chef de la fanfare de l'Opé-  
ra); Dr POUBLAN (Médecin biologiste); M. CONDAMINES (ORTF); M.  
MARCIE (Hôpital Ste Anne); M. le Comte de ROBIANO DE SAFFRAN (Facul-  
té des Sciences); M. MOUTET (OPERA); M. SAPALY (Labo. Méca. Physique  
Fac. Sciences); Mme et M. J.S. LIENARD (Ingénieur A. & M.); Mme  
FULIN (CNRS); M. AKIRA TAMBA (ORTF); M. DUPARCQ (Directeur REVUE  
MUSICALE). M. ROUGET et M. SCHWARTZ (Ethnomusicologie; Musée de  
l'Homme); M. GUEN (Amplis GAREN, représentant l'AFIMA); Melles  
Sylvie HUE et M.N. RENAUDIE (Conservatoire de Musique de Paris);  
Melle Cl. MARCEL DUBOIS (Directeur de Recherche CNRS); M. WALTHER  
(facteur d'orgues); M. CLIDI.

Excusés : M. ACOULON (Dir. Ets THIBOUVILLE LAMY); M. FORET (compo-  
siteur); M. AGOSTINI (Dir. Technique de l'Opéra de Paris); M. LE  
ROY (Professeur au Conservatoire de Paris); M. R.G. BUSNEL (Dir. La-  
bo acoustique animale INRA); Mme GRIMAUD (CNRS); M. PUJOLLE (Dir.  
Labo Acoustique ORTF); Mme de CHAMBURE (Conservatrice Musée instru-  
mental du Conservatoire); Mme BOREL MAISONNY (orthophoniste); M.  
REBEL (GRM; ORTF); Mme STRAUS (Prof. Lycée La Fontaine); M. GÉOR-  
GEAIS (Prof. Lycée La Fontaine); Melle E. WEBER (Institut. Musicolo-  
gie); M. CASTET (guitariste); Dr HUET; M. PETIT-COLAS (luthier);  
Mme METTAS (phonétique); M. Alain MEYER (licencié Physique) M.  
BUGARD (ORTF); M. BEAUGNIER (saxophones); M. SAINT GUIRONS (IBM);  
Melle SCHERCHEN; M. GILOTEAUX (PATHO MARCONI); M. FRANCOIS (labo  
Acoust. EDF); M. CANAC (Dir. honoraire CRP Marseille); M. J. CHAIL-  
LEY (Dir. Institut Musicologie); M. R. LYON (Courrier Musical de  
France); M. BERNARD (Maître de conférence Fac. Sciences Caen).

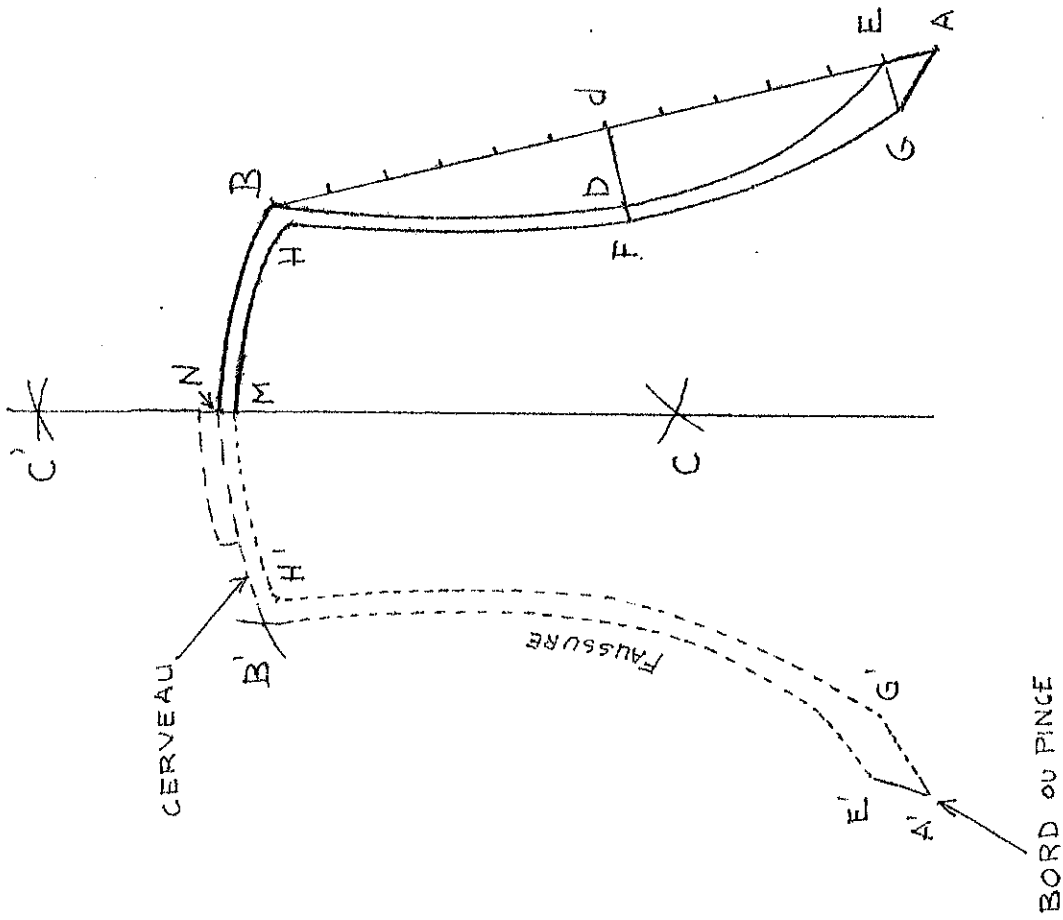
...../

2°) FOIRE DE FRANCFORT.

Tous les ans a lieu à FRANCFORT une grande foire qui a pour particularité de présenter une section d'instruments de musique. Les facteurs d'instruments et les marchands du monde entier s'y retrouvent. Désireux de rester informé en ce domaine, nous y sommes allés, comme chaque année et nous avons eu le plaisir de visiter les stands de l'AFIMA (Association Française des Fabricants d'Instruments de musique et d'accessoires : MM. BEAUGNIER, CAPELLE, CHARPEINE, GUEN, JUNCK, KLEIN, MAILLOT, MALERNE), des Ets BUFFET CRAMPON (M. BLONDELET) des Ets SELMER qui font partie du GAM. Un tour d'horizon rapide nous a permis de constater que parmi les instruments traditionnels, le piano reste très demandé, ainsi que les vents; les instruments électroniques conservent une place importante (orgues, accordéon, etc...) et quelques instruments anciens connaissent un renouveau d'intérêt (clavecin, épinette, violons, cromorné etc...). Quelques facteurs se sont spécialisés dans la facture d'instruments pour enfants, qui ne sont pas des jouets mais permettent avec des moyens très simples de faire de la musique et d'intéresser les jeunes enfants. L'activité de cette foire qui groupe plus de 200 exposants témoigne de l'importance croissante dans la société moderne.

- 3°) Grâce à Mme FULIN nous avons eu le plaisir de recevoir au laboratoire M. Heinz SPICKER professeur de viole de gambe à Cologne et Düsseldorf qui a accepté de nous laisser enregistrer quelques extraits d'oeuvres. Nous espérons grâce à sa collaboration pouvoir faire une étude acoustique de la viole et une réunion du GAM est prévue sur ce sujet pour la rentrée.
- 4°) Nous avons également eu la visite de M. René BENEDETTI, Professeur de violon au Conservatoire qui a bien voulu s'intéresser à l'étude que nous avons amorcée, depuis quelques temps, sur le style des violonistes. Il nous a laissé l'enregistrement intégral des 24 caprices de Paganini qu'il est le seul à avoir réalisé en France et que nous espérons voir un jour sortir sur disques.
- 5°) M. WALTHER, facteur d'orgues à MITTELHAUSBERG prépare, pour M. PERROT les dessins d'un nouvel orgue hydraulique. Il s'intéresse beaucoup à nos travaux sur l'orgue et a proposé à Melle CASTELLENGO de faire un stage dans ses ateliers.
-

fig 1



$AB=12$     $GE=1$   
 $Ad=6$   
 $Fd=1,5$   
 $AC=BC=8$   
 $BB'=7,5$

$\times 0$

DE ( $r=7$ )

$\times P$

FG ( $r=12$ )

$\times Q$

DB ( $r=30$ )

CONSTRUCTION du GABARIT d'une CLOCHE

d'après MERSENNE

LES CLOCHES

Compte rendu de l'exposé du 25 Mars 1966 par Mlle CASTELLENGO

Les cloches remontent à la plus haute antiquité, mais on trouve peu de renseignements sur ces instruments dans les ouvrages spécialisés. Ce n'est qu'avec l'apparition des appareils électro-acoustique que leur étude s'est développée.

Après quelques notions sur l'histoire et la fabrication nous aborderons plus particulièrement les problèmes de perception musicale que posent les cloches.

I - HISTORIQUE

L'origine des cloches mériterait toute une étude que nous ne développerons pas ici. En occident, leur forme semble s'être fixée très rapidement. On trouve dans VIRDUNG (1511) bib.1, le dessin d'une cloche d'église, mais rien de plus; l'auteur précise que BOECE en a parlé, mais sans donner les proportions, car celles-ci restent confinées dans les ateliers de fonderie.

Il faut attendre MERSENNE (1636) bib.2, pour trouver une étude détaillée des cloches dans l'HARMONIE UNIVERSELLE. MERSENNE rapporte les propriétés miraculeuses que ses contemporains leur attribuent. Outre le pouvoir qu'elles ont de dissiper les orages, " on tient que leur son peut être si violent et si puissant qu'il fera pousser le vin dans les caves et qu'il fera périr les enfants dans le ventre de leur mère ". Il donne ensuite la terminologie de l'époque qui s'est conservée jusqu'aujourd'hui chez les fondeurs, (cf. figure 1 ci-contre) et explique les constructions géométriques qui mènent au tracé d'un gabarit de cloche. Voilà comment on procède :

- L'unité de base ou module est l'épaisseur du bord de la cloche au point de frappe G. L'ayant déterminé on a donc  $GE = 1$ .
- On trace le côté  $AB = 12$  unités, perpendiculaire à  $GE$  ( $AE = 1$ ).
- Au milieu de  $AB$  on porte une perpendiculaire  $Fd$  ( $= 1,5$ )
- On détermine le point  $P$  ( $PF = PG = 12$ ) qui permet de tracer l'arc de cercle  $FG$ .
- Le point  $D$  est à  $1/3$  de  $F$ .
- On détermine le point  $O$  ( $OE = OD = 7$ ) qui permet de tracer l'arc  $DE$ .
- Le point  $Q$  ( $QD = QB = 30$ ) permet de tracer les arcs  $DB$  et  $FH$ .

...../

- Il reste à tracer l'axe de symétrie de la cloche  $CC'$ . On détermine le point C équidistant de A et de B ( $AC = BC = 8$ ).

- On trace l'arc de cercle de centre C passant par B puis un autre de centre B et de rayon 7,5. L'intersection est le point  $B'$ .

- la perpendiculaire au milieu de  $BB'$  est l'axe de symétrie  $CC'$ .

-  $HH'$  tracé également à partir de C est distant de  $1/3$  de  $BB'$ .

Ainsi on a le gabarit extérieur de la cloche ( $NBDEA$ ) et le gabarit intérieur ( $MHFGA$ ).

Le gabarit de MERSENNE correspond à un type de cloche particulier; il en existe de nombreux autres, et pratiquement chaque fondeur trace le sien.

MERSENNE énonce aussi la " loi de similitude " selon laquelle il faut, pour obtenir des cloches à des intervalles musicaux donnés, multiplier le module par les rapports numériques correspondants. Soit une cloche en do de module 1; pour avoir une cloche à la quinte supérieure (en sol) on trace un gabarit de module  $2/3$ . Cette loi n'est vraie que dans certaines limites et si l'on suppose des cloches de gabarits homothétiques, d'épaisseurs régulières et de matériau parfaitement homogène. Or ces deux dernières conditions posent dans la pratique des problèmes difficiles comme nous allons le voir.

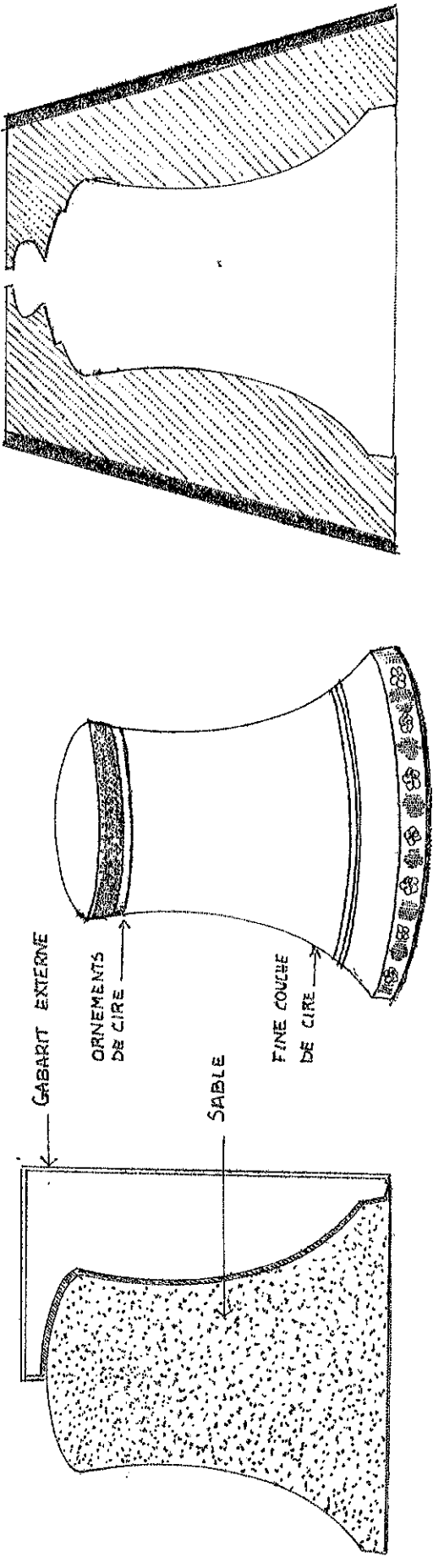
## II - LA FONTE DES CLOCHES

Depuis toujours le fondeur de cloches se présente dans la tradition comme un magicien que l'on vénère et que l'on craint. Il manie le feu et du métal inerte tire un objet musical " vivant ". Cette admiration est justifiée car l'art du fondeur est difficile et dangereux. Si l'on en croit BIRINGUCCIO (16° siècle) : " il maintient l'esprit du fondeur dans un état continuel d'inquiétude au sujet des fêlures éventuelles et le rend constamment triste et confus. Pour ces raisons les fondeurs sont considérés comme excentriques et on se moque d'eux comme de fous ".

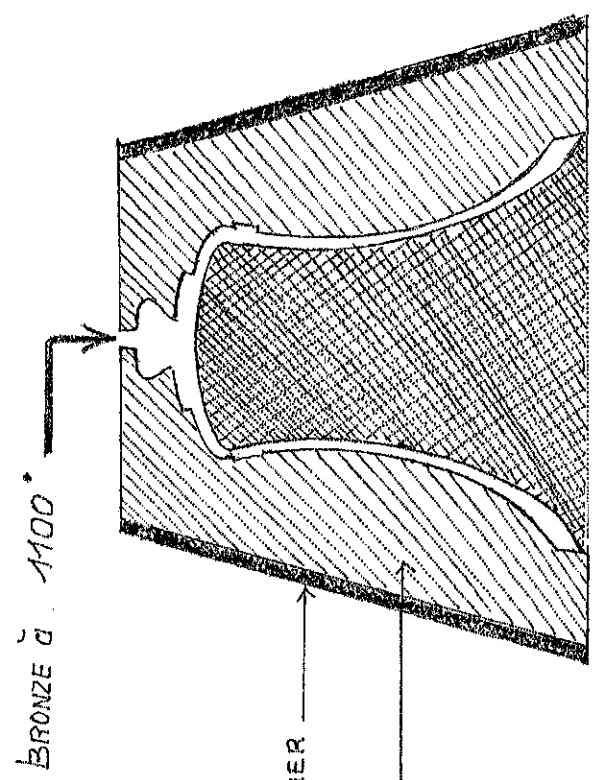
Le seul remède consiste à prendre toutes les précautions possibles, à conduire les opérations avec soin et minutie, mais ce n'est qu'en fin de travail, quand la cloche est démoulée que l'on s'aperçoit si elle est réussie ou ratée. Aujourd'hui, alors que les connaissances de la technique ont évolué, la fonte des cloches pose encore bien des problèmes (bib.3).

### 1°) LE MATERIAU DES CLOCHES

C'est un bronze dont MERSENNE donne déjà la composition (4 parties de cuivre pour une partie d'étain). L'étain donne à la cloche sa " pureté " et l'on pourrait être tenté d'en augmenter la proportion; mais " si l'on met trop d'étain, les cloches sont sujettes à se casser et si l'on en met trop peu, elles imitent le son des chaudrons " (MERSENNE) L'équilibre auquel on est arrivé donne donc un bronze à la fois résistant et sonore.



FAUSSE CLOCHE



MOULE = NOYAU + CHAPE

fig. 2

NOYAU

L'alliage doit-il être le plus pur possible ? Les analyses du bronze d'anciennes cloches ont montré qu'il y avait jusqu'à 5 % d'impuretés diverses. La technique permet aujourd'hui d'obtenir de l'étain et du cuivre absolument pur, mais les résultats ne sont pas toujours meilleurs. Quelques fondeurs introduisent même systématiquement dans l'alliage des traces d'autres métaux. On sait qu'il suffit de quantités infimes de certains produits pour modifier considérablement les caractéristiques d'un alliage.

## 2°) LE MOULE

De la qualité du moule dépend en grande partie la réussite de la fonte de la cloche. Le matériau doit satisfaire aux conditions suivantes et être :

- résistant à la chaleur (1100 °C)
- suffisamment poreux pour permettre aux gaz qui se développent au moment de la fonte de s'échapper.
- chimiquement inerte avec le métal en fusion
- parfaitement sec, car à 1100 °C la moindre goutte d'eau transformée instantanément en vapeur d'eau peut provoquer une catastrophe.
- résistant à la déformation.

Toutes ces qualités se trouvent réunies dans la composition suivante : argile (moins de 50 %), sable, paille (ou mieux fumier de cheval) pour donner la propreté nécessaire. Aujourd'hui de nombreuses fonderies utilisent un ciment spécial additionné de sable, qui a l'avantage de durcir plus rapidement et sans qu'il soit besoin de le chauffer.

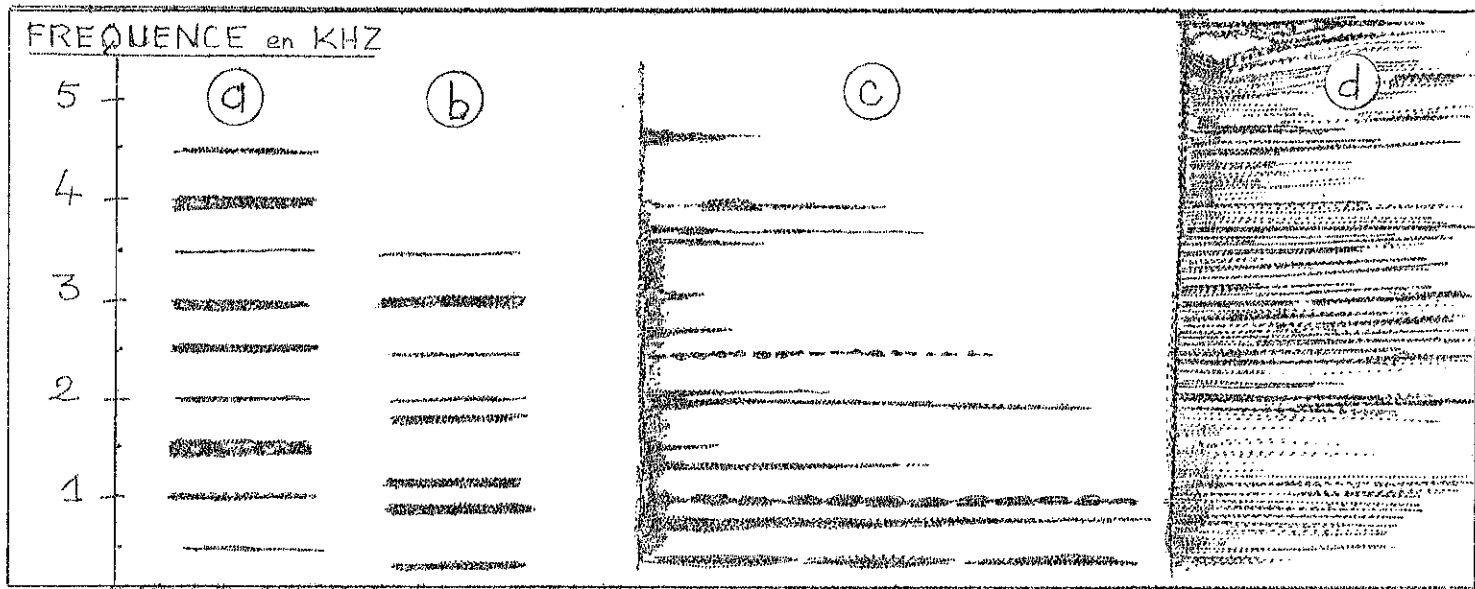
## 3°) CONSTRUCTION DES MOULES

Le problème consiste à préparer d'abord l'empreinte de la future cloche sous forme d'une cavité laissée entre le moule externe ou " chape " et le moule interne ou " noyau ".

- LE NOYAU. L'argile ou le ciment sont placés sur un tour semblable à celui d'un potier; le profil est donné par le gabarit interne (voir figure 2 ci-contre).

- LA CHAPE. Pour la préparer il faut construire une " fausse cloche " semblable à celle que l'on veut construire et dont on prendra l'empreinte. La fausse cloche est faite de sable; son profil est tourné très exactement à l'aide du gabarit externe de la cloche, puis on l'enduit d'une fine couche de cire et on place les ornements, également de cire. Il suffit alors de la recouvrir d'argile en comblant très exactement tous les creux. Lorsque la terre a durci, la cire fond et le sable s'écoule laissant en creux l'empreinte de l'extérieur de la cloche.





0 1 2 secondes

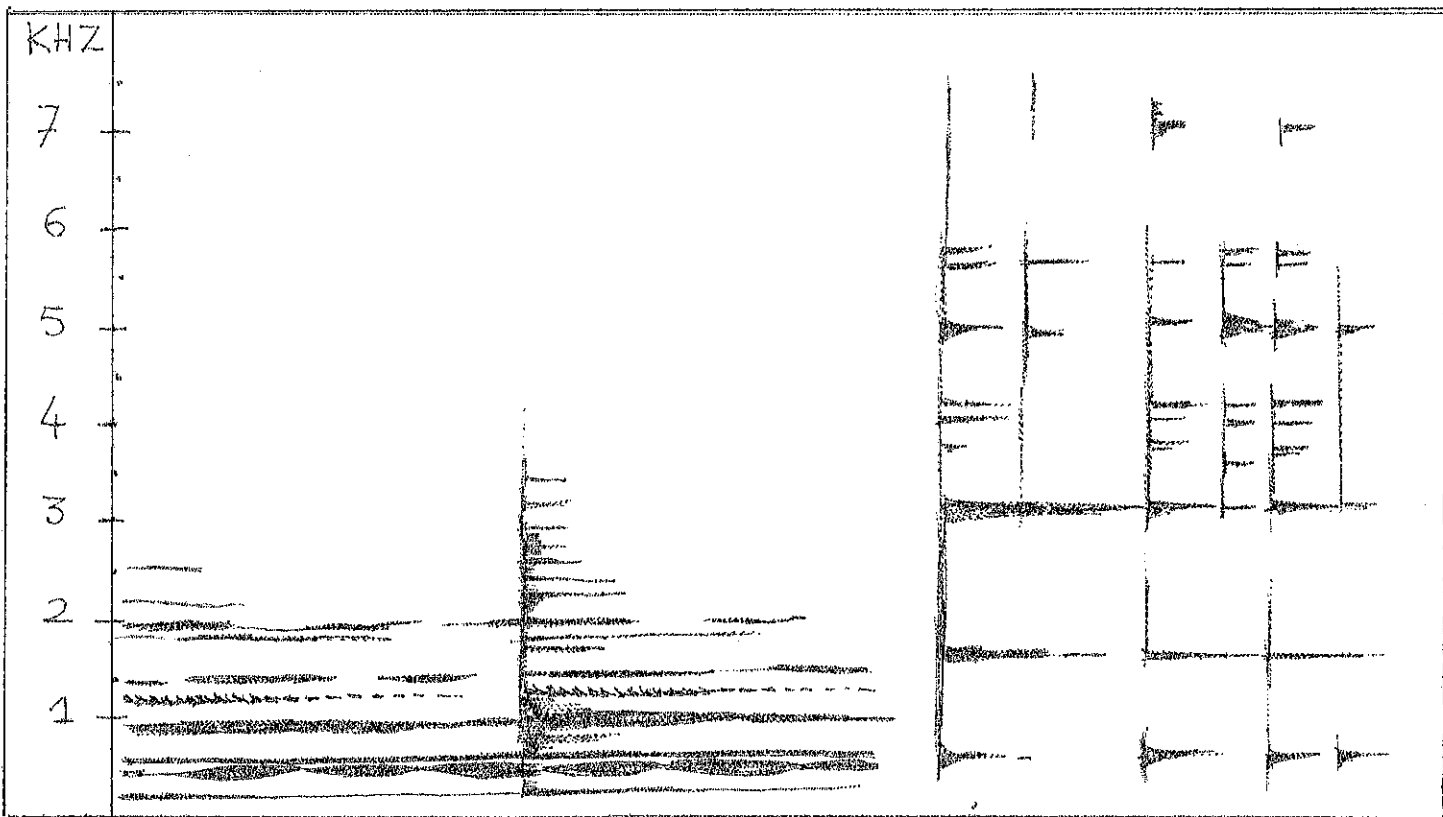
fig. 3

Spectre HARMONIQUE

Spectre de PARTIELS

CLOCHE

CYMBALE



0 1 2 3 secondes

fig. 4

SONAGRAMMES D'UNE CLOCHE ET D'UNE CLOCHETTE

#### 4°) LA FONTE

Le noyau et la chape réunis, laissent donc un espace dans lequel sera versé le bronze. Avant l'ultime opération le fondeur prend encore de nombreuses précautions. Le moule est nettoyé avec soin, séché au chalumeau, enduit d'un produit spécial (graphite, blanc d'oeuf autrefois). La chape cerclée d'acier qui doit résister à de très fortes contraintes, ne peut supporter aucun défaut.

Lorsque tout est prêt il ne reste plus qu'à couler la fonte en fusion. Le refroidissement dure une journée ou plus et doit être très graduel.

#### 5°) LE DEMOULAGE

C'est à ce moment seulement que le fondeur peut juger si son travail est réussi ou non. La cloche est nettoyée puis essayée.

#### 6°) L'ACCORDAGE

Il est très rare que la cloche donne au sortir du moule la hauteur et la sonorité désirée. Il faut donc la rectifier surtout si elle doit s'harmoniser avec d'autres cloches. Pour comprendre toutes les difficultés de cette opération, essayons de voir comment est composé le spectre d'une cloche du point de vue acoustique.

### III - ACOUSTIQUE DES CLOCHES

#### 1°) DEFINITION - SPECTROGRAPHIE

On peut définir une cloche de la façon suivante : c'est un corps d'une assez grande rigidité, de faible amortissement et percuté par un objet dur.

Ainsi une barre de fer, un tube métallique peuvent acoustiquement être considérés comme des cloches; à l'inverse un gong, une cymbale plaques métalliques minces ne sont pas assez rigides pour être des cloches. De même, une poutre en bois n'est pas une cloche car le son s'amortit presque instantanément lorsqu'on la frappe.

Le sonagraphe permet de visualiser les phénomènes sonores. Rappelons qu'il fournit une représentation simultanée des trois dimensions d'un son; le temps en abscisse, la fréquence en ordonnée sur une échelle linéaire et l'intensité proportionnelle à la largeur et au noircissement des traits.

Exemples (figure 3).

Un son harmonique (a) se présente comme un ensemble de raies équidistantes de grosseur variable selon le timbre; un son à partiels (b)

...../

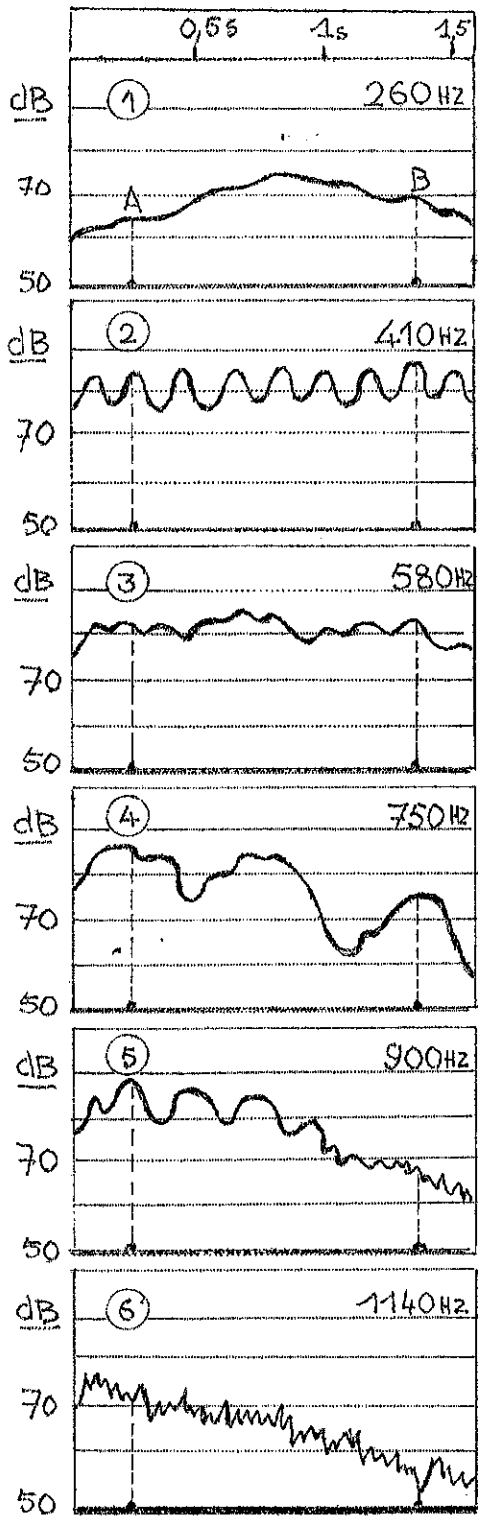


fig. 5a

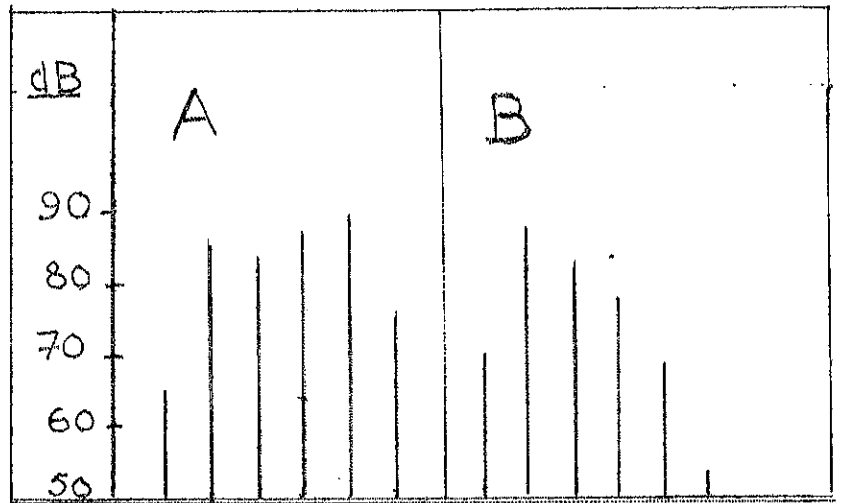


fig. 5b

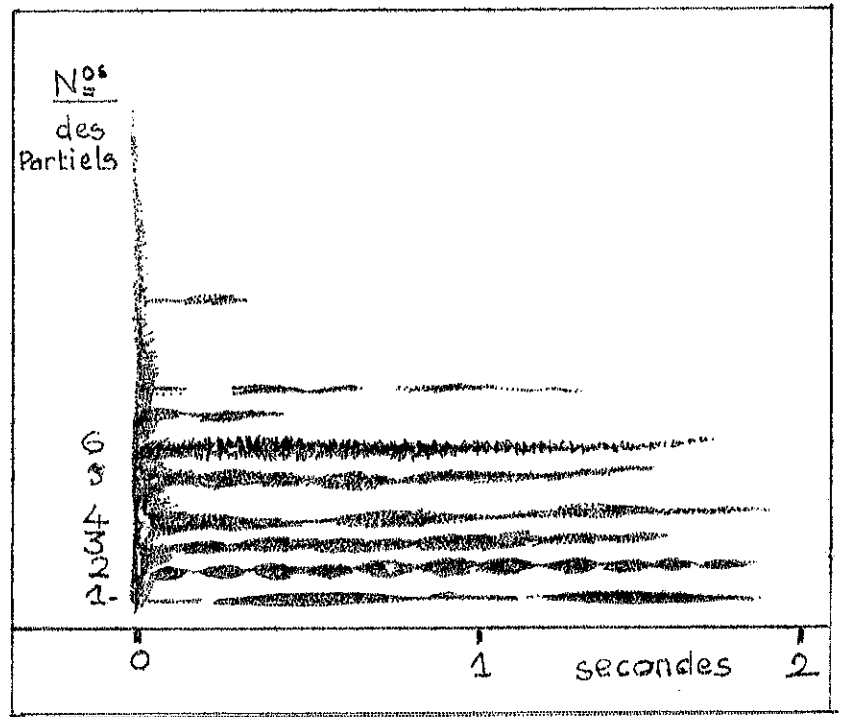


fig. 5c

présente des raies d'écartement variable. Un son de cloche se compose d'un trait vertical au moment du choc (bruit) suivi de partiels dont l'extinction est variable de l'un à l'autre, la durée d'extinction totale étant toujours de l'ordre de quelques secondes; on remarque d'autre part des fluctuations d'intensité (battements) différentes pour chaque partiel. La cymbale (d) ne diffère de la cloche que par le très grand nombre de partiels qui en font plutôt un " bruit coloré " .

Voici (fig.4) le sonagramme d'une cloche réelle et celui d'une clochette.

Pour avoir une plus grande précision en intensité on peut adopter une autre technique d'analyse qui conduit à un mode de représentation différent. On enregistre un coup de cloche sur une boucle magnétique puis on extrait à l'aide d'un filtre passe bande successivement chaque partiel dont on enregistre les fluctuations d'intensité à l'aide d'un enregistreur logarithmique de niveau. La figure 5a montre comment chaque partiel évolue dans le temps. On notera que le spectre change à chaque instant (fig.5b); ainsi en A les partiels de 1 à 6 ont respectivement

65, 85, 83, 87, 89, 73 dB

en B, on a :

70, 87, 83, 76, 68, 53 dB

Il est difficile d'après ce document de se faire une idée globale du " son " de la cloche. On voit donc tout l'intérêt du sonagramme (fig.5c) qui fournit un document significatif, facile à mettre en corrélation avec la sensation auditive, (bib.4) et où la " vie " du son musical et sa complexité apparaissent clairement.

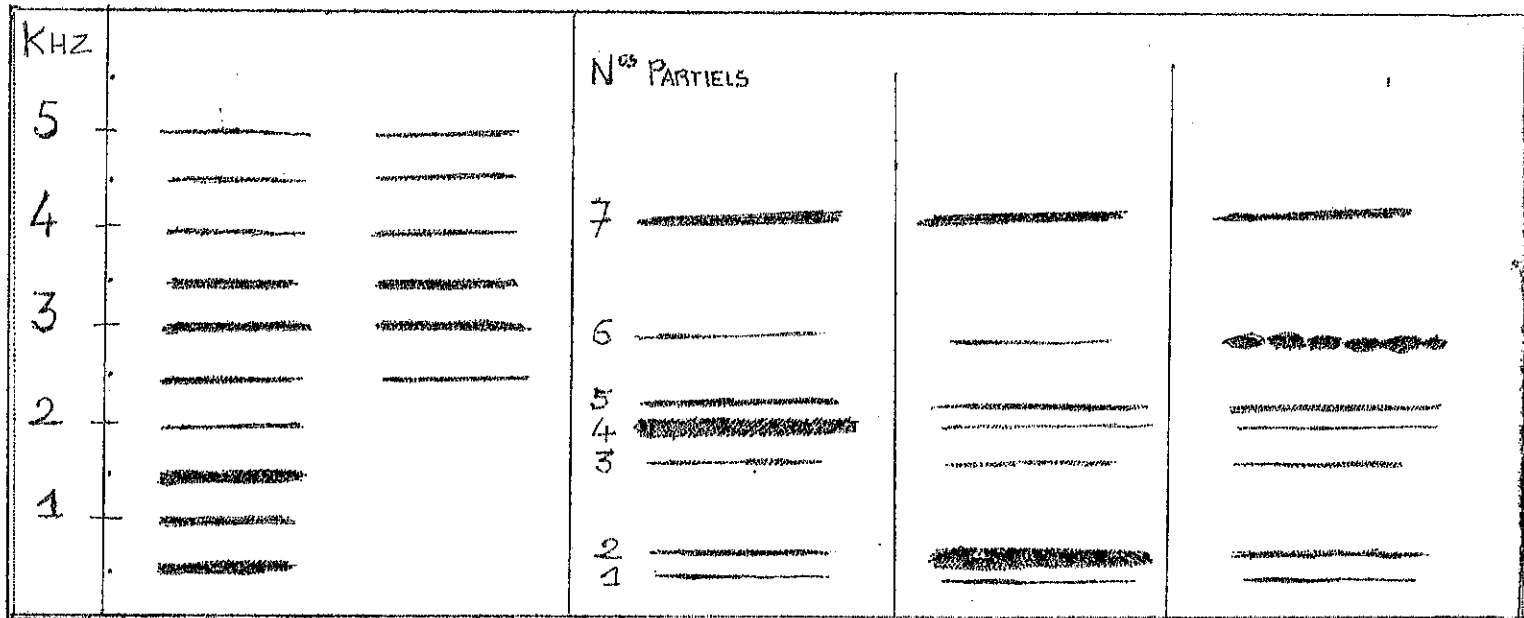
Lors de la réunion, des expériences auditives en direct nous ont permis d'entendre individuellement chaque partiel, comme d'autres chercheurs l'avaient déjà montré (GRUTZMACHER, bib.5).

## 2°) PROBLEME DE LA HAUTEUR DES CLOCHES

Le problème de la perception de la hauteur des sons musicaux fait l'objet de nos préoccupations depuis fort longtemps au laboratoire, et donnera lieu à une publication ultérieure (LEIPP). Le problème n'est pas aussi simple que le laissent croire les manuels ou les résultats obtenus à partir de sons sinusoïdaux. En particulier le " fondamental " (partiel 1) n'a pas le rôle prépondérant que l'on serait tenté de lui attribuer.

Selon nous la sensation de hauteur se mesure par l'écartement des raies dans un spectre harmonique (fig. 6a), ce qui explique que les expériences de filtrage n'altèrent pas la sensation de hauteur d'un son harmonique mais seulement le timbre (fig. 6b). Un spectre de partiel présente par contre un grand nombre d'écartements différents c'est pourquoi les musiciens sont capables d'entendre diverses hauteurs dans un son de cloche et ont souvent des opinions différentes

...../



a)

b)

c)

d)

e)

SON HARMONIQUE

SON A PARTIELS

fig. 6

La hauteur perçue dépend de l'écart entre deux rates voisines quelle que soit leur situation. Dans cet exemple, la hauteur est de 500 Hz, elle ne change pas quand on élimine, par filtrage, les premiers harmoniques.

Ces trois spectres ont des composantes de même fréquence, mais la hauteur perçue diffère dans chaque cas. On a : c) hauteur = 2000 Hz (partiel 4 très intense, et dans la zone du maximum de sensibilité de l'oreille. d) hauteur = 600 Hz (partiel 2 très intense) e) hauteur = 3000 Hz (le partiel -6, affecté de battements, attire l'attention.)

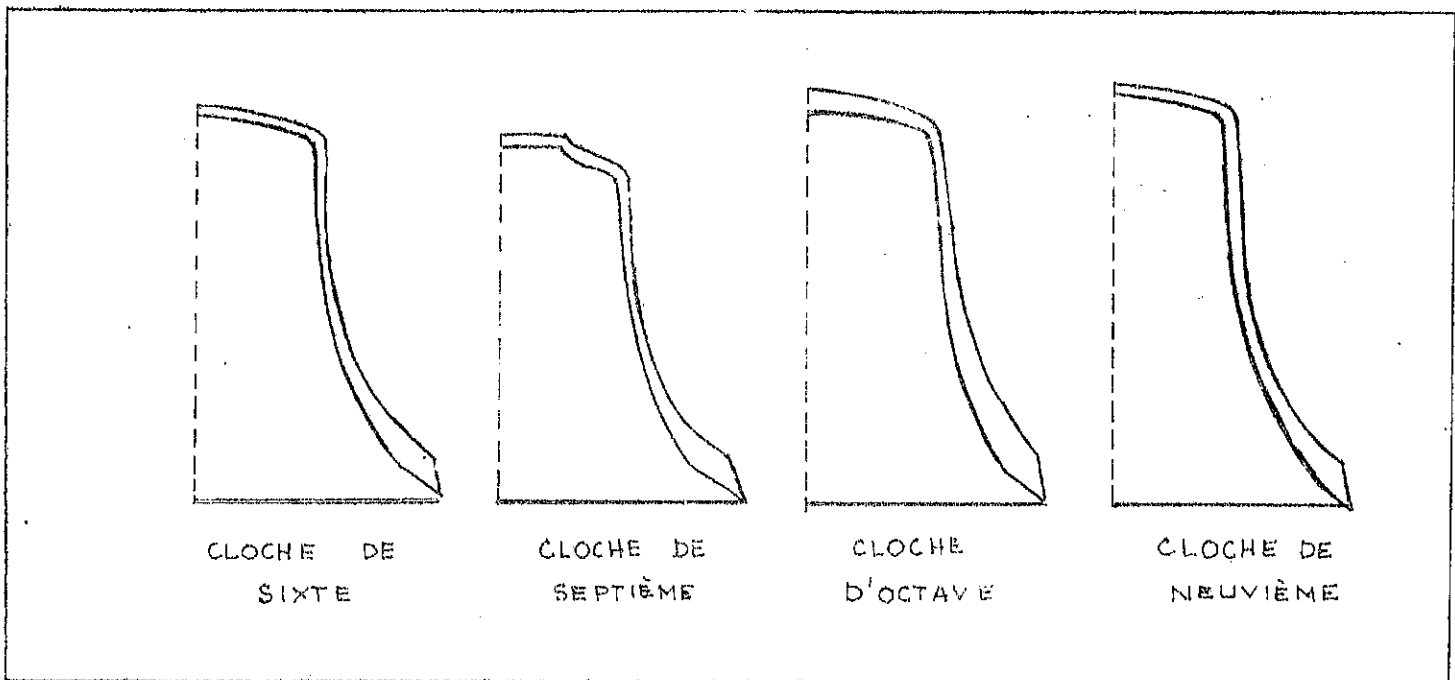


fig. 7

sur " la hauteur " d'une cloche. En effet la hauteur dépend :

- de la répartition de l'énergie entre les divers partiels (fig.6c et 6d)
- de l'allure dynamique (un partiel affecté de battement peut attirer l'attention sur lui et déterminer la sensation de hauteur malgré l'existence d'autres partiels plus intenses que lui (fig. 6e)
- de l'oreille de l'auditeur qui agit exactement comme un filtre dont les caractéristiques varient d'un individu à l'autre de façon extraordinaire.

On comprend que des expériences de filtrages déforment complètement des mélodies jouées sur des instruments fabriquant des spectres de partiels (bib. 6) comme on a pu l'entendre lors de la réunion.

D'autres problèmes viennent encore compliquer la question; ainsi certains auteurs ont observé que la cloche avait au moment du choc une hauteur différente pendant un temps très court (Schlagton, bib.7). On peut l'expliquer en remarquant que pour certaines cloches un grand nombre de partiels apparaissent dans les 20 ou 30 premières millisecondes modifiant ainsi considérablement le spectre pendant ce temps.

En résumé la hauteur d'une cloche est un phénomène plus compliqué que ne le laisse entendre la phrase bien connue : " qui n'entend qu'une cloche n'entend qu'un son "..... et on peut se demander comment le fondeur réussit à " accorder " une cloche !

#### IV - ACCORDAGE DES CLOCHES

On lit, dans Le Neveu de Rameau de Diderot : " C'est un philosophe de son espèce : il ne pense qu'à lui. Le reste de l'Univers lui est comme d'un clou à un soufflet. Sa fille et sa femme n'ont qu'à mourir quand elles voudront, pourvu que les cloches de la paroisse qui sonneront pour elles continuent de résoner la douzième et la dix-septième, tout sera bien .... ". Les cloches de cette paroisse étaient bien accordées... car si en occident les cloches sonnent la douzième et la dix-septième ce n'est pas une propriété du " corps sonore ", mais le fruit d'une longue expérience des artisans pour arriver à ce résultat. On sait que le fondeur peut aussi bien réaliser d'autres combinaisons sonores en utilisant au départ des gabarits différents comme ceux qui sont indiqués par PFUNDNER (bib.8, fig.7). Il peut encore déterminer dans quelle tessiture sera la cloche en fonction de son poids. En gros, on dit que la fréquence est inversement proportionnelle à la racine cubique du poids. Par exemple avec 250 Kg on obtient un  $si_3$ ; pour avoir le  $si_2$  il faut près de 2 tonnes. Le problème d'obtenir des cloches graves est donc difficile car le poids devient rapidement énorme, et on comprend l'admiration que l'on a pour celles qui ont été réalisées (cloche du Kremlin 200 tonnes - que l'on n'a jamais pu sus-

...../

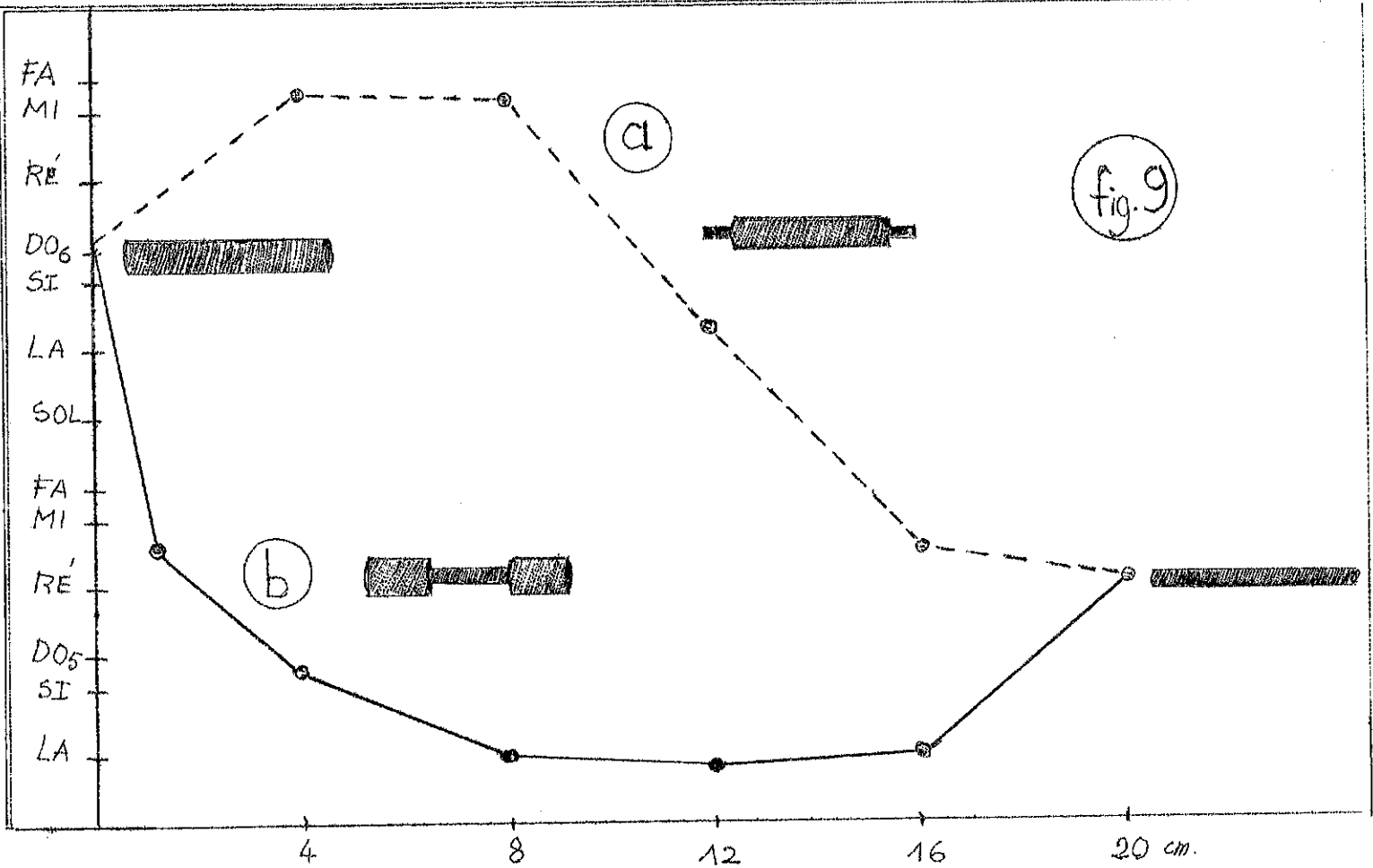


fig. 9

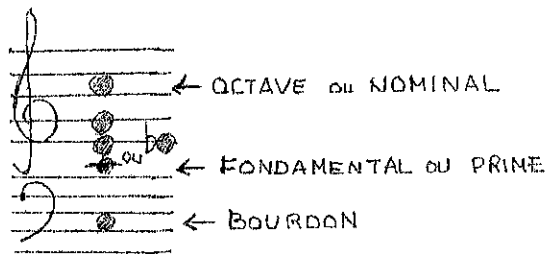


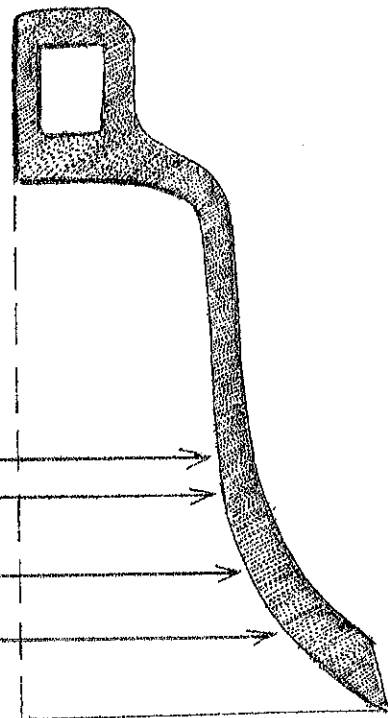
fig 8

GAM  
BIBLIOTHÈQUE  
DE PRÊT

fig. 10

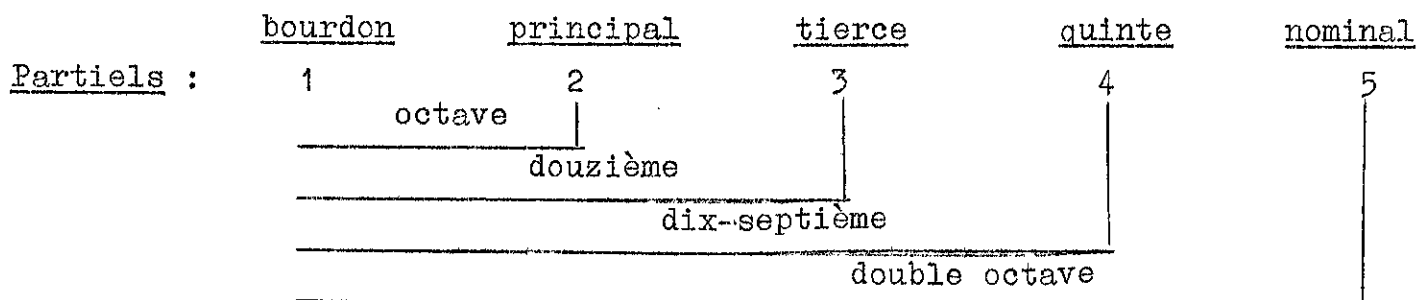
N<sup>os</sup> des  
PARTIELS

- 3
- 5
- 2
- 4



pendre ... la " Savoyarde ", la plus grosse cloche de France, 19 tonnes; le Bourdon de Notre Dame, 12 tonnes etc...).

Généralement, lors de l'accordage, on cherche à obtenir entre les partiels les intervalles suivants :



Ceci correspond musicalement à l'accord-type suivant : (fig.8) écrit à partir de DO par convention. Les autres partiels sont plus ou moins faux.

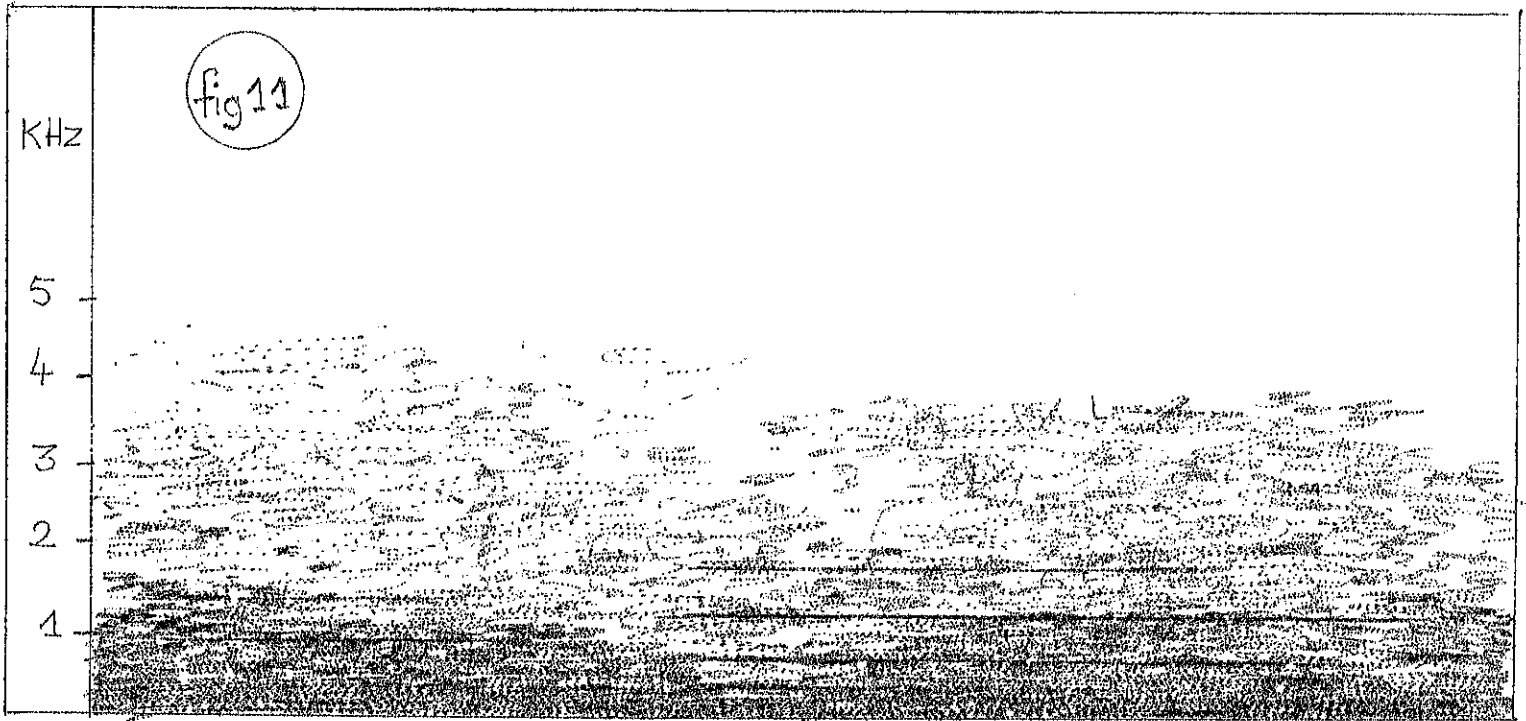
Nous avons signalé que le fondeur n'obtenait cet accord que de façon très approximative; le partiel 2 peut être trop haut, le partiel 3 trop bas, etc... Le seul moyen dont on dispose pour rectifier ces partiels consiste à retirer du métal à des endroits bien définis.

Pour essayer de voir ce qui se passe, nous avons repris grâce à M. SIESTRUNCK, l'expérience suivante, signalée par BOUASSE (bib.9). On prend un barreau cylindrique en aluminium dont on réduit le diamètre de moitié en partant des extrémités vers le milieu. Puis on répète l'expérience avec un barreau identique mais en partant du milieu vers les extrémités. On relève la hauteur du partiel 1 à chaque étape : il évolue selon une loi très complexe (fig.9). Quand on part des extrémités (courbe 9a) le son monte d'abord, puis redescend; au contraire, il baisse brutalement quand on part du milieu (courbe 9b), puis remonte. On peut donc élever ou abaisser la fréquence de ce partiel selon l'endroit où on prélève du métal. C'est le problème de l'accordage des cloches.

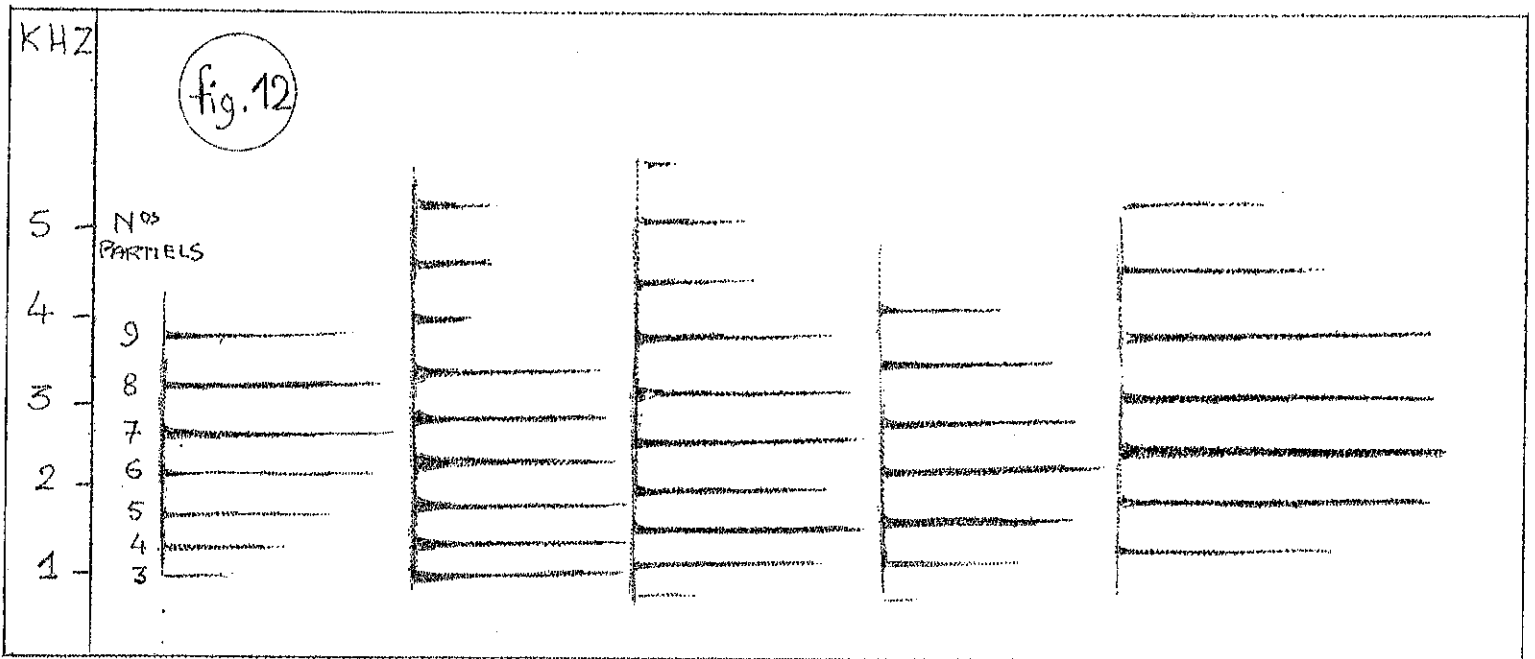
Si on relève la hauteur des partiels 2, 3 etc..., on voit que chacun évolue de façon autonome, sans relation simple avec le partiel 1. Ceci complique à l'extrême le problème de l'accordage des cloches et on comprend qu'une longue expérience soit nécessaire pour cette opération. Effectivement les fondeurs sont arrivés par empirisme à déterminer sur le profil de la cloche des " points sensibles " où ils peuvent, en prélevant du métal, régler un partiel sans trop modifier ~~les~~ autres (bib.10, fig.10). André LEHR, fondeur de cloches en Hollande a fait sur ce sujet une thèse (bib.11) dans laquelle il étudie systématiquement le rôle du prélèvement de métal à différents endroits. Ceci lui permet maintenant d'accorder les cloches de façon moins empirique.

...../





EMERGENCE D'UNE CLOCHE SUR LE BRUIT DE FOND



100ms

1 seconde.

"CLOCHEs TUBES" — Les partiels inférieurs (1, 2, ) n'existent pratiquement pas

## V - FONCTION ET ROLE DES CLOCHES

1°) La cloche est d'abord un signal d'avertissement. Comme telle, elle doit répondre à un certain nombre d'impératifs afin d'avoir une bonne " portée ".

- Intensité acoustique rayonnée par la cloche. Celle-ci dépend de la quantité d'énergie nécessaire pour la mettre en vibration et qui est fonction de la masse de la cloche, de celle du battant et de l'amortissement du matériau.

- Répartition de l'énergie dans le spectre. KNUDSEN (bib.12) a montré que les fréquences supérieures à 500 Hz sont rapidement absorbées à distance. Ainsi une cloche qui rayonne des fréquences élevées " porte " moins qu'une autre dont le spectre comporte des composantes graves intenses. D'autre part on sait que l'oreille est plus sensible dans une zone de fréquence allant de 500 à 3000 Hz. On peut en conclure que la cloche qui portera le plus loin sera celle dont l'énergie est concentrée au mieux autour de 500 Hz environ.

- Emergence sur le bruit de fond. Dans une étude (bib.13), M. LEIPP a montré que la perception d'un signal acoustique était une question de contraste entre la forme du signal et le bruit de fond. Dans le cas considéré le bruit de fond est généralement de caractère erratique; une forme bien organisée comme celle d'un spectre de cloche réalise donc une espèce d'optimum du point de vue perceptif. Exemple : le sonagramme d'une cloche enregistrée depuis la fenêtre du laboratoire où le bruit de fond de la circulation du Quai St Bernard est très intense (fig.11).

- D'autres facteurs interviennent encore dans la portée d'une cloche : le vent, la pluie, la température, l'hygrométrie etc...

2°) La cloche joue en occident le rôle d'un instrument de musique.

a) CARILLON. On a cherché depuis longtemps à accorder un ensemble de cloches commandées par un clavier permettant d'exécuter des mélodies ou même de la musique harmonique. Nous avons entendu à ce sujet un extrait du carillon de NIEUPORT en Belgique que nous aimablement communiqué M. VAN ESBROECK. Il s'agit d'un style de musique très particulier déterminé par la présence de partiels plus ou moins dissonants; ce phénomène disparaît dans les toutes petites cloches car les partiels sortent de l'aire audible; on les accorde donc plus facilement et on a longtemps associé un jeu de clochettes à l'orgue ou même à l'épinette comme le signale MERSENNE.

b) ORCHESTRE. De nombreux musiciens ont introduit la cloche dans leurs partitions. Le problème se pose d'avoir un son grave sans prendre une cloche de 20 tonnes... D'où l'idée d'utiliser des tubes métalli-

ques suspendus à un portique et que l'on frappe avec un maillet. Les analyses que nous avons faites (fig.12) montrent qu'il n'y a pratiquement pas d'énergie dans les premiers partiels, ce qui n'empêche nullement de percevoir des notes très graves comme on l'a vu plus haut. Seulement le timbre ne simule qu'imparfaitement celui des cloches réelles.

- c) SONNERIES DE CLOCHES. Nous avons présenté des échantillons sonores divers; en particulier une sonnerie de Jérusalem où les cloches, frappées au marteau, permettent de réaliser des rythmes organisés. D'autre part, grâce à M. PFUNDNER, fondeur de cloches à VIENNE nous avons pu entendre le magnifique jeu de cloches de la cathédrale St STEPHAN de Vienne. L'entrée successive d'un grand nombre de cloches accordées entre elles et ayant chacune son propre rythme réalise une véritable musique qu'on ne se lasse pas d'écouter.

### CONCLUSION

Cette étude ne donne qu'un aperçu des innombrables problèmes que soulèvent les cloches et qu'il serait intéressant de développer de façon plus approfondie. Elle nous a permis toutefois de préciser un certain nombre de points relatifs à la perception de sons musicaux complexes que seuls les appareillages d'analyse actuels comme le sonographe permettent d'étudier.

### BIBLIOGRAPHIE

- 1) VIRDUNG - " Musica Getutscht " Bâle 1511
- 2) MERSENNE - " Harmonie Universelle " Paris 1636  
Réédition du C.N.R.S. 1963
- 3) G.F. CALLENBACH N.V. - NIJKERK. Hollande - " Singing spires ....."  
(Netherlands Bell Foundry. EIJBOOTS. Asten)
- 4) M. LEIPP, Mlle CASTELLENGO - " L'acoustique des cloches ".  
5° Congrès International d'Acoustique Liège 1965
- 5) GRUTZMACHER (M) - " Le spectre d'un son de cloche "  
Acoustique Musicale, Ed. C.N.R.S., Paris 1959
- 6) LEIPP E. - "Enregistrement et reproduction des percussions "  
Conférences des journées d'études.  
Festival International du son - Ed. Chiron Paris 1965
- 7) PFUNDNER J. - " Uber den Schlagton der Gocken "  
Acoustica 12 n° 3 - 1962 P. 153 - 157
- 8) WEISSENBACK et PFUNDNER - " Tönendes Erz ". Verlag Hermann Böhlaus  
Graz-Köln 1961

- 9) BOUASSE H. - " Verges et plaques, cloches et carillons  
Delagrave, Paris 1927 P. 125-126
- 10) STUBER C., KALLENBACH W. - " Akustische Eigenschaften von Glocken "  
Physikalische Blätter. Jahrgang 5, Heft 6  
Mosbach/Baden
- 11) LEHR A. - " Acoustical Measurements on church-bells and carillons  
S-Gravenhage - 1949
- 12) KNUDSEN V.O. - " The propagation of sound in atmosphere "  
J.A.S.A. 18 - 1946 - P. 90
- 13) LEIPP E. - " Le problème de la perception des signaux d'avertissement. Les sifflets  
Annales des Télécommunications. T. 20 (5-6) 1965.

DISCUSSION

M. MOLES. Constant MARTIN a imaginé un dispositif permettant d'amplifier des micro-sons réalisés à l'aide de tringles recourbées pour obtenir une reproduction simple des cloches; ce système offre l'avantage de se prêter à un accord facile.

M. LEIPP. Ce qui n'existe pas dans ce dispositif et qui fait l'intérêt des cloches réelles, ce sont les fluctuations continuelles du spectre provenant des irrégularités des épaisseurs, et des conditions de frappe qui diffèrent à chaque coup. Il en résulte une " vie interne " du son, un apport constant d'originalité tel qu'on ne se lasse pas d'écouter une sonerie de cloches normales, contrairement à ce qui se passe à l'audition de cloches simulées. D'autre part il est impossible à l'aide de haut-parleurs de produire des niveaux assez intenses et des fronts d'attaque suffisamment raides.

M. MOLES. Il serait intéressant de faire une étude de l'aspect psychomystique des instruments de musique. On pourrait en particulier développer le rôle quasi magique du fondeur de cloches " fou " et il faudrait pour ce faire, un historien de la musique doublé d'un psychanalyste...

Mme NIEKY. Quelle différence y a-t-il entre la cloche " triste " et la cloche de joie ?

M. LEIPP. Nous savons analyser les sons; mais ce que nous en pensons dépend de ce que nous avons appris à en penser dans la société où nous vivons.

M. DUPARCO. Les cloches espagnoles ont un timbre très particulier, différent des nôtres.

Melle CASTELLENGO. Nous avons vu qu'on pouvait réaliser toutes sortes de sonorités en utilisant des gabarits appropriés.

M. TOUFTE. Lors de la représentation de PARSIFAL à l'Opéra de Paris, le musicien allemand qui devait jouer la cloche utilisait un instrument comportant 4 grosses cordes d'acier sur un châssis de bois, amplifiées par haut-parleurs. Lors de la percussion des cordes on avait vraiment l'illusion de cloches réelles, avec un très bon grave.

M. SIESTRUNCK. Cette solution est intéressante; en effet des grosses cordes percutées produisent des séries de partiels où le fondamental (partiel 1) est de grande intensité; il n'est donc pas surprenant que cette simulation ait été correcte.

M. PERROT. La loi de la racine cubique des poids est-elle valable pour de toutes petites cloches? On lit dans les traités du Moyen-Age que pour obtenir deux cloches à la quinte l'une de l'autre il faut multiplier le poids de la première par 2/3.

...../

M. LEIPP. Melle CASTELLENGO nous a montré que tout était extrêmement compliqué et que les " lois " que l'on a essayé de formuler sur les cloches sont très simplifiées et ne correspondent pas à la réalité.

Mme HELFFER. L'accord des gongs pose-t-il des problèmes aussi compliqués? Comment expliquer que des populations très primitives y réussissent.

Mme CHARNASSE. Nous savons que cette opération est confiée à de véritables spécialistes.

M. LEIPP. Les gongs sont excités à l'aide de maillets recouverts de matériaux mous (feutre, chiffons, etc...) ce qui a pour effet d'amortir fortement les partiels de rang élevé; la hauteur en est plus nette et l'accord plus facile par conséquent.

M. SIESTRUNCK. De nombreuses questions restent en suspens; celle du clocher qui doit résister à des efforts considérables; celle de l'ensemble cloche-battant considéré comme deux pendules couplés, celle des matériaux (cloches d'acier) etc... Cela suppose de longues études que nous espérons entreprendre un jour au laboratoire.