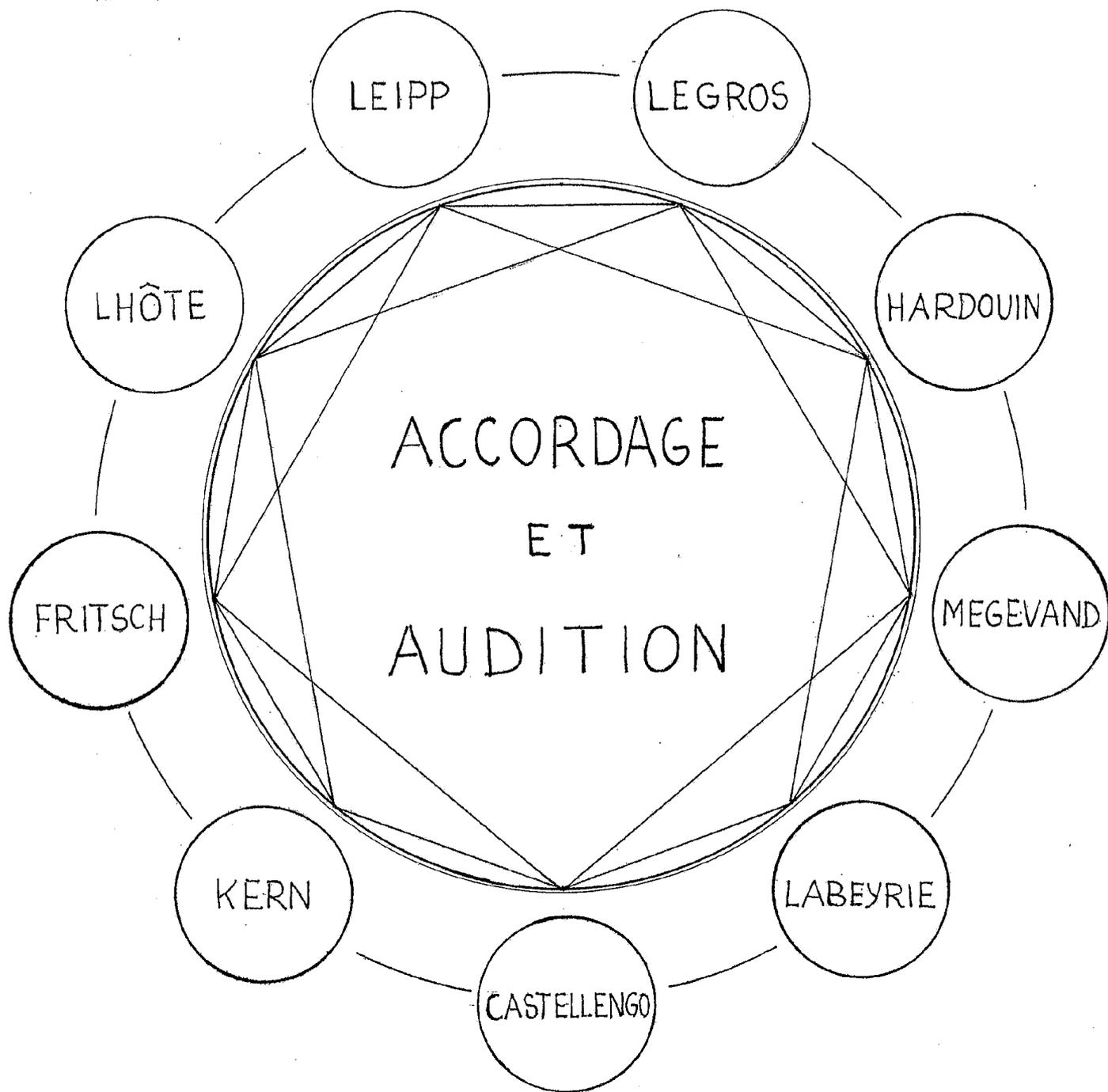


DECEMBRE  
1974

N° 76



# GAM

BULLETIN DU GROUPE d'ACOUSTIQUE MUSICALE  
UNIVERSITÉ PARIS VI - TOUR 66 - 4 PLACE JUSSIEU. PARIS 5<sup>e</sup>.

Université de PARIS VI  
Institut de Mécanique  
Théorique et Appliquée  
Tour 66 - 5<sup>e</sup> Etage  
4 Place Jussieu 75230 PARIS

76<sup>e</sup> Réunion du G.A.M.

le 13 Décembre 1974

Thème : Table ronde entre quelques spécialistes sur le  
Thème : ACCORDAGE et AUDITION

En raison de la grève des Postes il était impossible d'envoyer des invitations pour une réunion normale du GAM; nous avons donc pensé à cette réunion préparatoire à une autre réunion normale du GAM (sur le thème : AUDITION, JUSTESSE, ACCORDAGE ") qui aura lieu l'an prochain.

Etaient présents à cette réunion

M. le Professeur SIESTRUNCK, Président.

MM. les Professeurs GAUTHIER et J.J. BERNARD retenus par des obligations professionnelles n'ont pu être des nôtres.

Puis, par ordre d'arrivée :

M. LEIPP, Secrétaire général et Melle CASTELLENGO, Secrétaire;

M. KERGOMARD (CNRS); M. Philippe HARTMANN (facteur d'orgues); Dr LABEYRIE (médecin physiologiste); M. J.J. DUPARCQ Gérant Revue Musicale; M. H. LEGROS (Ingénieur);

M. J.L. VAL (Maître assistant PARIS VI); M. Derek PORTEOUS (facteur de clavecins);

M. Philippe FRITSCH (claveciniste); M. Rémy GUG (facteur de clavecins à Strasbourg);

M. Didier GUIRAUD (ingénieur); M. HARDOUIN (Musicologue orgues); M. BAL; M. CHAPE-

LET (organiste); M. DUMOULIN (organologue); M. BEDARD (clavecins); M. Bernard

MAILLOT (cordes harmoniques); M. SIMANE (cordes harmoniques); Mme Denise MEGEVAND

(harpiste); M. LINDOW (orgues).

---

PERIODIQUE : 6 numéros annuels

Imprimeur : Laboratoire de Mécanique Physique de l'Université de PARIS VI

Nom du Directeur : M. le Professeur SIESTRUNCK.

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

Diffusé par " La Revue Musicale " - Editions Richard MASSE, 7 Place Saint Sulpice - 75006 PARIS

AVANT - PROPOS

Tous les auditeurs de musique réagissent lorsque des musiciens ou chanteurs jouent ou chantent faux. Mais si d'aventure on leur demande de préciser ce qu'ils entendent par " faux ", la question les étonne... La sensation de fausseté est toute " naturelle ".... Malheureusement ce qui est " naturel " pour l'un ne l'est pas pour l'autre, et nos relations avec des facteurs d'instruments, des musiciens (ethniques en particulier) des théoriciens etc... nous l'a bien montré.

La question soulevée naguère par VAN ESBROECK et MONTFORT : " Qu'est-ce que jouer juste ? " n'est donc pas résolue de façon satisfaisante. D'où l'idée que nous avons eue d'organiser au G.A.M. une table ronde en invitant les spécialistes concernés (musiciens, acousticiens, facteurs d'instruments, accordeurs, physiologistes etc...) à nous préciser leur pensée et à nous faire part de leur expérience.

Voici leurs réponses qui devraient permettre de mieux cerner le problème.

PARIS, 1er Mars 1975

E. LEIPP.

## TOUR D'HORIZON SUR LE PROBLEME

DU TEMPERAMENT

par H. LEGROS

Pour accorder un orgue ou un clavecin, il faut procéder par intervalles que l'oreille puisse reconnaître objectivement avec exactitude. Les seuls intervalles ayant cette propriété sont ceux qui existent entre les premiers harmoniques d'une même fondamentale et sont définis par des rapports de fréquences simples :

l'octave ( $2/1$ ) , la quinte ( $3/2$ ) , la quarte ( $4/3$ ) ,

la tierce majeure ( $5/4$ ) , la tierce mineure ( $6/5$ ).

On les reconnaît grâce aux battements qui se produisent lorsqu'on approche de leur valeur et disparaissent quand on atteint celle-ci.

Théoriquement, il suffirait d'accorder, à la valeur naturelle juste, un certain nombre d'octaves, de quintes et de tierces majeures, pour avoir une échelle musicale dans laquelle tous les intervalles usuels auraient la même valeur que dans la série des harmoniques.

Pratiquement, sur un instrument à sons fixes ayant 12 touches par octave, il est impossible d'accorder justes toutes les quintes et toutes les tierces majeures (mais nous supposons accordées justes toutes les octaves).

En effet, trois tierces justes (DO - MI, MI - SOL $\sharp$  , LA $\flat$  - DO ) superposées font moins qu'une octave. Il faudrait deux touches distinctes pour SOL $\sharp$  et LA $\flat$  , le LA $\flat$  étant plus haut que le sol $\sharp$  d'un comma enharmonique ( $128/125$ ) dont la grandeur est 41 Cents (ou centième du demi-ton de la gamme tempérée égale).

D'autre part, quatre quintes justes superposées (DO-SOL , SOL-RE, RE-LA, LA-MI) donnent une tierce majeure (DO-MI) "pythagoricienne", de sonorité assez dure, plus grande que la tierce naturelle juste d'un comma majeur ( $81/80$ ); la grandeur de celui-ci est 21,5 cents.

Enfin douze quintes justes superposées dépassent sept octaves d'un comma pythagoricien, dont la grandeur est 23,5 Cents.

Le tempérament égal consiste à accorder toutes les quintes avec  $1/12$  de comma pythagoricien de moins que la valeur juste. Cette correction est très faible, mais les tierces majeures, toutes égales, ont  $1/3$  de comma enharmonique, c'est-à-dire presque  $2/3$  de comma majeur, de plus que la valeur naturelle. Elles sont donc plus proches de la valeur pythagoricienne que de celle-ci. C'est pourquoi beaucoup de musiciens des 17<sup>e</sup> et 18<sup>e</sup> siècles les trouvaient dures et ont opposé une forte résistance à l'introduction du tempérament égal.

Le tempérament pythagoricien, en usage au Moyen-Age, consistait à accorder justes 11 quintes, la douzième se trouvant alors fautive, trop étroite d'un comma pythagoricien. Au 14<sup>e</sup> siècle, cette quinte fautive était probablement reléguée dans une tonalité non employée, et dans toutes celles dont on se servait on avait des quintes justes, et des tierces pythagoriciennes légèrement dissonantes.

Mais au 15<sup>e</sup> siècle, Henri ARNAUT recommande de placer la quinte fausse entre SI et FA $\sharp$  ; il en résulte que les tierces RE - FA $\sharp$  , LA - DO $\sharp$  , MI - SOL $\sharp$  ont pratiquement la valeur naturelle. Dans le livre d'orgue de BUXHEIM, qui est de la même époque, cette particularité est exploitée : souvent on s'attarde longuement sur une de ces tierces, ou on la met dans l'accord final, alors que les autres tierces, pythagoriciennes, passent rapidement.

Au 16<sup>e</sup> siècle, on a pleinement reconnu l'intérêt musical de la tierce naturelle, et l'on adopte le tempérament mésotonique, qui consiste à accorder 11 quintes en les réduisant de 1/4 de comma majeur, ce qui donne 8 tierces majeures rigoureusement justes. La douzième quinte (SOL $\sharp$  - RE $\sharp$ ) est la " quinte du loup ", beaucoup trop grande, et les 4 dernières tierces majeures sont remplacées par des quartes diminuées dissonantes inutilisables comme tierces.

On peut se représenter le tempérament mésotonique comme une échelle ne constituant pas un cycle fermé de quintes, mais ne comportant, en plus de la gamme de DO majeur, que les notes MI $\flat$  , SI $\flat$  , FA $\sharp$  , DO $\sharp$  , SOL $\sharp$  , et aucun autre bémol ou dièse. A condition de respecter cette écriture et les restrictions qui en résultent dans l'emploi des tonalités, on peut considérer que tout est juste (à 1/4 de comma près au plus) dans la gamme mésotonique, y compris des intervalles comme MI $\flat$  - FA $\sharp$  , SI - MI $\flat$  , SOL $\sharp$  - DO et même SOL $\sharp$  - MI $\flat$  , qui sont ici des intervalles altérés vraiment dissonants, alors que dans le tempérament égal ils se confondent avec des consonances de tierce ou de quinte.

Ces restrictions dans l'emploi des tonalités ont cependant fini par gêner les musiciens, et au 17<sup>e</sup> siècle on a d'abord cherché à gagner des tonalités supplémentaires en ajoutant des touches aux claviers, par exemple RE $\sharp$  et LA $\flat$  , distinctes de MI $\flat$  et SOL $\sharp$  . Il y a eu des claviers de 13, 14, 15, 19 et même jusqu'à 31 touches par octave.

La difficulté de les jouer y a fait bientôt renoncer et l'on a peu à peu modifié le tempérament mésotonique ou inventé de nouvelles manières d'accorder.

Il existe d'innombrables descriptions de ces tempéraments " de transition " entre le mésotonique et l'égal. Il semble qu'en France on se soit contenté de modifier le tempérament mésotonique, en accordant réduites d'un quart de comma 7 quintes au maximum (RAMEAU) au lieu de 11, les quatre quintes étant accordées plus près de la valeur juste, et la dernière ou les deux dernières restant un peu plus grandes que celle-ci, mais sans constituer un " loup ". Dans ce cas il y a au maximum 4 tierces majeures rigoureusement justes, les suivantes sont de plus en plus grandes et les dernières, quoique dépassant un peu la valeur pythagoricienne, peuvent être employées épisodiquement.

En Allemagne, les gammes " bien tempérées " (WERCKMEISTER, KIRNBERGER) comportent des quintes justes dans les tonalités éloignées et un petit nombre de quintes assez fortement réduites dans les tonalités courantes.

Les tierces majeures vont de la valeur naturelle ou d'une valeur proche de celle-ci sur FA, DO ou SOL, à la valeur pythagoricienne dans les tonalités éloignées. On peut jouer dans tous les tons.

Ces tempéraments de transition ont sur le tempérament égal, et aussi dans une certaine mesure sur le tempérament mésotonique, l'avantage de donner une grande variété aux différentes tonalités.

Ils ont été en usage plus longtemps qu'on ne le croit habituellement. La " méthode pour le pianoforte " de PLEYEL et DUSSEK, publiée dans les dernières années du 18<sup>e</sup> siècle, indique comme " nouvelle manière d'accorder le pianoforte et

le clavecin " le tempérament de KINDBERGER, et comme deuxième méthode un autre tempérament inégal.

#### A PROPOS DU LIVRE DE VAN ESBROEK ET MONFORT

Les auteurs avouent eux-mêmes défendre une " Thèse " suivant laquelle la gamme pythagoricienne serait la seule juste. Cette thèse est soutenable si l'on ne considère que la mélodie, mais il est surprenant de lire dans ce livre des phrases comme : " La quinte  $3/2$  est la base de notre système musical, mais la tierce  $5/4$  ou la tierce mineure  $6/5$  n'y jouent aucun rôle : elles donnent des intervalles faux, malgré leurs effets de fusion partielle ".

Il semble que les auteurs aient ignoré l'existence de la gamme mésotonique et le rôle important joué dans la musique pour clavier, qui est surtout harmonique, par les tierces naturelles aux 16<sup>e</sup>, 17<sup>e</sup> et 18<sup>e</sup> siècles. Leur ignorance est sans doute excusable par le fait qu'ils ont écrit ce livre en 1946.

Dans les résultats de leurs essais, il est surtout intéressant de considérer à part les " cycles mélodiques " et les " cycles harmoniques ".

A l'audition d'une gamme et d'une mélodie non accompagnée, les trois quarts des auditeurs qui se sont prononcés ont préféré la gamme pythagoricienne ou le tempérament égal à la gamme naturelle, mais 64 % ont préféré le tempérament égal à la gamme pythagoricienne.

A l'audition d'enchaînements d'accords dominante tonique formant des cadences parfaites en majeur et en mineur, 61 % ont préféré la gamme naturelle au tempérament égal; les comparaisons entre gamme naturelle et gamme pythagoricienne d'une part, tempérament égal et gamme pythagoricienne d'autre part, n'indiquent statistiquement aucune préférence.

Les comparaisons avec la gamme dite de MEERENS ne signifient sans doute pas grand chose dans les essais harmoniques, du fait qu'il s'agit d'une gamme naturelle dans laquelle on a monté le LA d'un comma, ce qui donne des accords pythagoriciens de RE mineur et FA majeur, et une quinte fausse LA-MI (au lieu de RE-LA).

H. LEGROS.

REFLEXIONS SUR L'ACCORDAGE  
ET L'AUDITION

par E. LEIPP

I. POSITION DU PROBLEME

Les problèmes soulevés par l'accordage des instruments de musique sont directement liés à ceux des intervalles, à ceux des échelles, des tempéraments, de la justesse et de la fausseté du jeu musical; à ceux de la perception, c'est-à-dire, en dernière analyse aux mécanismes auditifs. Du fait de la disparité entre les " oreilles " individuelles, on peut prédire dès lors qu'il sera difficile de trouver une " Vérité " en ce domaine.

En fait, ces problèmes se sont posés dès l'origine, dès que l'homme s'est fabriqué des instruments et s'est inventé des musiques. C'est dire qu'ils sont vieux comme le monde, et chacun les résolvait au mieux, en se basant sur son " sentiment ", c'est-à-dire son " oreille ", dont il apprit petit à petit à exploiter empiriquement les propriétés. Mais nos lointains ancêtres ne cherchaient certainement pas d'explication à leur façon de faire de la musique; c'était " naturel " : voilà tout. Et ceux qui n'étaient pas d'accord n'avaient pas l'oreille musicale ....

Il s'est cependant trouvé de bonne heure des philosophes pour méditer sur les échelles musicales. Ils cherchaient surtout, il est vrai, à trouver une explication au monde, et soutenaient que " tout est nombre " - la musique aussi par conséquent. Les grandes théories numérologiques de l'Antiquité grecque se sont perpétuées jusqu'à nous, en passant par le Moyen-Âge. Si l'on en croyait leurs promoteurs, tout serait finalement très simple et relèverait d'une " mathématique " - en fait d'une numérologie - dont les praticiens ont sûrement entrevu de bonne heure à la fois l'intérêt et la vanité. Mais les théoriciens de la musique méprisaient les praticiens, qu'ils considéraient comme impurs et incapables de réaliser la " musique des nombres " idéals. De leur côté, les praticiens savaient déjà, sûrement que l'accord d'une lyre ne pouvait être qu'un compromis, ne serait-ce que parce que les instruments ne " tiennent " pas l'accord de façon parfaite, et que dans la pratique l'oreille acceptait, (heureusement...), sans s'en apercevoir, beaucoup de choses " impures " .... De toutes façons, personne ne disposait autrefois de moyens efficaces pour faire des mesures " scientifiques " en ce domaine, et d'une façon générale ce qu'on avançait ne pouvait être qu'hypothèse ou affirmations gratuites.

Cependant, lorsqu' apparut <sup>en</sup> l'orgue, le clavecin et les autres instruments à clavier, il fallait bien une technique pour déterminer la hauteur relative des sons : la musique, ce n'est pas n'importe quoi ! On peut supputer sans grand risque de se tromper que les facteurs d'orgues et de clavecins - dès l'origine - avaient mis au point des méthodes d'accordage. Mais à ce sujet on en reste réduit aux hypothèses ou aux affirmations des théoriciens, car les praticiens ne parlent et n'écrivent autant dire jamais de leur art - ne serait-ce que pour sauvegarder leurs intérêts " commerciaux ". De plus il n'est pas du tout évident que le praticien analyse " scientifiquement " ses tours de main et ses techniques. Il a appris comme cela; il sait que c'est efficace; il ne va pas plus loin. Et si d'aventure il se mêle d'expliquer ce qu'il fait, il n'a pas les données scientifiques utiles pour le faire. De toutes façons l'essentiel de la technique, en particulier dans les domaines artis-

tiques, échappe encore, et de loin, à l'explication scientifique, même de nos jours où nous avons pourtant des appareillages et des méthodes de recherche acoustique précis et fiables...

Cette irritante question de l'accordage, de l'échelle, de la justesse etc... excitait depuis longtemps ma curiosité. Violoniste pendant de nombreuses années, j'accordais mon instrument comme tout le monde, en frottant simultanément deux cordes voisines. Je n'avais pas la moindre idée, à l'origine, de ce que je faisais exactement et n'écoutais pas les " battements " pour régler mon accord. Mais je savais que " cela sonnait " d'une certaine façon quand c'était " juste ", et me guidais sans doute sur la " consonance ", un terme qui n'est pas facile à préciser, sauf si on admet la définition : " est consonant ce qui sonne bien ensemble .... ". Oui ! Mais encore ?

Bref, j'en étais là quand j'ai lu le traité de deux chercheurs : VAN ESBROECK et MONTFORT (Qu'est-ce jouer juste ? " , paru en 1945, tout de suite après guerre. J'y reviendrai longuement plus loin, parce que cet ouvrage, unique en son genre, est resté longtemps pour moi un livre de chevet. Par la suite, j'eus moi-même l'occasion de faire des recherches sur la justesse des cordes harmoniques (grâce à Charles MAILLOT, de Lyon), puis sur la justesse de nombreux instruments : piano, clarinette, saxophone, accordéon, flûte etc..., parce qu'un groupe de facteurs français (AFIMA : Association Française de fabricants d'Instruments et d'accessoires) m'avait chargé de faire des recherches dans cette direction. Je fus vite mis au contact de la réalité, qui m'apparut rapidement plus difficile à cerner que je ne l'avais pensé à l'origine. De fil en aiguille, j'ai abordé par la suite les questions relatives à l'orgue et bien d'autres, et, en particulier les problèmes de l'audition de la musique.

Dès la création du GAM, en Janvier 1963, nous avons invité VAN ESBROECK à venir nous parler de ses résultats et de ses idées sur la question des gammes. Par la suite, de nombreux problèmes annexes furent étudiés, petit à petit, à notre laboratoire, plus ou moins liés aux questions d'accordage : diapason, perception, etc... La réunion du GAM N° 54 (Le clavecin d'Arnaut de Zwolle, en 1971) souleva bien entendu la question de savoir comment cet instrument datant du 15° siècle était accordé. Puis ce fut la réunion du GAM n° 61, où LEGROS nous exposé de façon détaillée le problème du tempérament. La réunion n° 75 de novembre dernier, avec Serge CORDIER, sur l'accordage du piano et du clavecin, fit rebondir toute l'affaire et il devenait clair, petit à petit, que s'il existe de nombreux spécialistes et praticiens s'occupant d'instruments à clavier qui continuent à discuter et à disputer autour du problème du tempérament, c'est que le problème n'était sans doute pas simple. Était-il soluble au moins ? Nous avons pensé à l'utilité d'une réunion informelle entre spécialistes, en remplacement d'une réunion du GAM, impossible en raison des grèves postales. Cette réunion s'est tenue. On trouvera ailleurs les noms des personnes qui avaient accepté de se dérouter à cette occasion. Le but était, non d'apporter une réponse, mais de tenter de mieux poser le problème général, et aussi de préparer une autre réunion GAM où je tenterai de regrouper nos informations et expériences pour chercher à relier les données des praticiens et des théoriciens avec les données de l'audition telles que je les comprends actuellement.

En fait, lorsqu'on attaque cette question d'accordage, on est devant un grand nombre de données, théoriques et pratiques, plus ou moins disparates et contradictoires, qu'il faut bien réussir à concilier; ce sont :

- des données " mathématiques " pures, plus exactement numérolologiques, issues des lointaines spéculations des théoriciens grecs et autres. Ces données sont sensées fournir les " étalons " de hauteur destinés à accorder les instruments, à clavier en particulier.

- des théories élaborées par les musiciens (RAMEAU, ROUSSEAU etc...) théorie de la " résonance " etc, dont les promoteurs eux-mêmes n'ont pas toujours suivi les lois ....
- des théories dues à quelques rares facteurs d'instruments qui ont écrit sur leur art (Dom BEDOS, MAHILLON etc...)
- des théories sur l'audition, sensées justifier les règles d'accordage, les gammes etc...

En dehors de ces théories, on est placé devant la réalité, la pratique des accordeurs : orgue, piano, harpe, etc... - dont en fait on ne sait rien. Très peu de chercheurs scientifiques ont, en effet, étudié ces questions, qu'ils tranchent en général de façon simpliste se basant sur les théories numérollogiques classiques des gammes.

Une place à part doit être réservée aux recherches faites en collaboration par VAN ESBROECK (ingénieur des mines) et MONFORT (Professeur au Conservatoire de Verviers). Comme certains résultats de VAN ESBROECK-MONFORT ont été utilisés par Serge CORDIER comme base de travail, il convient de donner à ce sujet quelques précisions, l'ouvrage en question étant introuvable, épuisé depuis longtemps.

## II. LES RECHERCHES DE VAN ESBROECK-MONFORT

Pour expérimenter sur les échelles, les intervalles etc..., ces deux chercheurs imaginèrent et firent construire un orgue expérimental à tuyaux, l'ORTHOCLAVIER. Sur le clavier de l'instrument l'intervalle entre chacune des 7 blanches était divisé en 2, et chacune des 5 noires en trois. Un groupe de deux notes grises s'intercale dans chacun des 12 intervalles. Les écarts successifs sont d'un comma tempéré ( $1/53^{\circ}$  d'octave). La tessiture est réduite à une octave et demie, en raison de l'encombrement et de la complication mécanique. Le clavier ordinaire est embrayable sur un choix déterminé parmi les 53 commas de l'octave, soit sur les 12 demi-tons ordinaires d'un autre jeu de tuyaux accordés selon le système tempéré.

Avec cet instrument, les chercheurs ont présenté des tests à des sujets (environ un millier) : élèves de lycée de garçons, de lycée de filles, d'élèves et professeurs du Conservatoire de Liège). Il est indispensable de préciser en quoi consistaient ces cycles de tests :

- 1°) Le comma dans le demi-ton attractif,
- 2°) Le comma dans un fragment autour de la tonique
- 3°) " Frère Jacques "
- 4°) Gamme majeure
- 5°) Le comma dans l'octave et la quinte plaqués.
- 6°) Accord majeur
- 7°) Accord mineur
- 8°) Septième de dominante résolu sur l'accord parfait majeur
- 9°) Septième de dominante résolu sur l'accord parfait mineur

On propose aux sujets des séries de choix par paires. Il s'agissait en fait de comparer <sup>entre elles</sup> quatre gammes, sous-jacentes à 4 systèmes d'accordage théoriques : Pythagore, Zarlin, Meerens et gamme Tempérée.

Chose étonnante : une forte proportion de sujets ne put porter de jugements préférentiels : incapacité ou indifférence devant les choix proposés.

Seuls les sujets ayant émis un jugement nous intéressent ici. Leur proportion est de 55 % pour l'ensemble des expériences ci-dessus.

Voici d'abord les résultats globaux <sup>pour l'ensemble des tests.</sup> (colonne ①). Voici ensuite <sup>(colonne ②)</sup> une expérience limitée à deux cycles mélodiques : <sup>tests</sup> (3 et 4). Le pourcentage de jugements y est également voisin de 55 % (2° colonne).

Pour la deuxième expérience limitée (2 cycles harmoniques <sup>tests</sup> : 8 et 9), le pourcentage de jugements est de 62 % (3° colonne).

Le tableau ci-dessous résume l'essentiel (T = tempéré, P = Pythagore, Z = Zarlin, M = Meerens). Il donne, dans chaque colonne le pourcentage des choix. Exemple : 1ère ligne, résultat global : T - P; 55 - 45 signifie que 55 % ont préféré la gamme Tempérée à la gamme de Pythagore.

	①	②	③
<u>COMPARAISONS PAR PAIRES</u>	<u>RESULTAT GLOBAL</u> (préférence en %)	<u>CYCLES 3 et 4</u> (Frères Jacques, Gamme majeure)	<u>CYCLES 8 et 9</u> 7° de dominante, résolu : - accord part. majeur - " " mineur
Tempéré-Pythagore	T-P 55 - 45	64 - 36	50 - 50
Tempéré-Zarlin	T-Z 60 - 40	73 - 27	39 - 61
Tempéré-Meerens	T-M 59 - 41	75 - 25	42 - 58
Pythagore-Zarlin	P-Z 52 - 48	75 - 25	49 - 51
Pythagore-Meerens	P-M 66 - 34	73 - 27	61 - 39
Zarlin-Meerens	Z-M 57 - 43	64 - 36	51 - 49

Les conclusions générales que l'on peut tirer de ces expériences sont les suivantes :

- Les résultats globaux montrent une prédominance de la préférence pour la gamme tempérée, assez nette pour ne pas pouvoir être attribuée au hasard (supérieure à 55 %). VAN ESBROECK et MONTFORT en concluent eux-mêmes que " les effets de la prépondérance de l'éducation tempérée dans notre public, démontrent que l'oreille humaine ne possède pas la propriété de juger des rapports simples ". Conséquence immédiate : il faut se défier des théories numérologiques simplistes dans les problèmes de gammes et d'accordage. En particulier, il faut tenir compte du conditionnement de l'individu par le milieu socio-culturel auquel il appartient. Mais il doit y avoir bien d'autres raisons d'être prudent en ce domaine, d'être circonspect quand on parle de numérologie musicale : c'est ce qui m'était clairement apparu, il y a bien longtemps, à l'occasion de mes recherches sur la justesse des cordes harmoniques et sur la justesse des instruments : clarinette, saxophone, piano, accordéon, trompette etc...

Les expériences de VAN ESBROECK et MONTFORT m'avaient prodigieusement intéressées à l'époque. Mais entre temps les recherches que nous avons faites au Laboratoire depuis 12 ans m'ont apporté un grand nombre d'informations et d'éléments complémentaires, et les résultats de VAN ESBROECK me semblent devoir appeler un certain nombre de réserves que je vais tenter de formuler brièvement.

L'étendue d'une octave et demie de l'orgue expérimental ORTHOCLAVIER est manifestement insuffisante pour tirer des conclusions. En effet, des recherches assez détaillées ont toujours montré que l'accordage ne pose guère de problème au praticien dans le médium (4 octave du milieu du piano); mais, par contre, "quelque chose ne va pas", le sous-grave et le suraigu. Ce "quelque chose" est, nous le savons à présent, lié aux propriétés de l'"oreille". Nous y reviendrons plus loin.

Le découpage en 53 commas seulement est optimal si on admet que le comma (lequel ? Holder sans doute) représente la limite du pouvoir séparateur de l'oreille. En fait, ce "quanta" musical est trop gros, et nous savons qu'il faut considérer le savart ( $1/300$  d'octave) comme unité réaliste de ce point de vue. Mais alors il aurait fallu 300 touches par octave - ce qui est mécaniquement et fonctionnellement impossible. Il faudrait un clavier à accordage "continu" ... (mon idée du CANTOR vient de là ....).

Enfin, et c'est encore plus important, je pense que, pour faire des tests réalistes de qualité relative et comparative d'accordages, il faut absolument rejeter les artefacts (jeu de gammes; accords plaqués isolés etc...) et utiliser de la musique normale, des pièces entières, ou du moins de très larges extraits d'oeuvres (plusieurs minutes : le temps d'"entrer dans le jeu" auditivement).

Mais dès que l'on parle d'échelles et de musique réelles, une question primordiale intervient dès le départ, au sujet de laquelle il est absolument indispensable d'apporter une réponse et de définir des options : parle-t-on de musique mélodique ou de musique harmonique. La question est d'importance parce qu'elle met en jeu des mécanismes auditifs, des "programmes de traitement" tout à fait différents. Comme c'est un problème auquel je m'intéresse tout particulièrement en ce moment, il m'est facile d'en dire quelques mots.

### III. MUSIQUE MELODIQUE, MUSIQUE HARMONIQUE

Je suis violoniste. J'ai joué cet instrument pendant quelque 35 ans (orchestre, sonate, quatuor etc..) J'accordais nécessairement mon instrument - comme tout le monde : je tournais les chevilles jusqu'à ce que cela "sonne juste". Je n'étais pas conscient des battements, ni de la gamme que je jouais ; j'admettais naïvement ce que j'avais lu dans quelques traités, à savoir que je "jouais la gamme de Pythagore", puisque j'étais violoniste. J'entendais bien des discussions sur le fait que les violonistes ne jouaient pas le dièze d'une certaine note comme le bémol du demi-ton supérieur. En fait personne ne semblait d'accord. Ce qui ne nous empêchait pas de faire de la musique, seul ou en ensemble ; nous nous arrangions "pour que cela sonne juste, à l'oreille; et en fait il n'y avait pas trop de problèmes à cet égard.

L'ouvrage de VAN ESBROECK-MONTFORT m'amena cependant à réfléchir, surtout à partir du moment où nous avons travaillé avec des musiciens ethniques pratiquant des musiques mélodiques ou modales.

La plupart de ces musiciens utilisent des instruments *d'ambitus restreint, mais où l'on dispose de larges champs de liberté des hauteurs.* Pour peu qu'ils désirent inclure dans leurs

musiques assez d'information pour satisfaire des auditeurs tant soit peu raffinés, la structure mélodique de leurs oeuvres les oblige à réaliser des modulations de hauteur des "notes". L'expérience montre qu'ils ont raison de faire ainsi:

il est clair qu'un jeu ne comportant que quelques "notes" quasi fixes et équidistantes devient rapidement lassant (orgue électronique etc...). Pour enrichir l'information, le musicien module d'abord le "profil de hauteur" de ses notes : il réalise des sons élémentaires qui sont en fait des "formes" évolutives dans le temps. Ainsi, la combinatoire devient infinie. De plus, il complique encore le "jeu auditif" en utilisant des échelles à intervalles inégaux et des modes.

De surcroît, il joue - inconsciemment - avec certaines propriétés particulières de l'oreille (attraction et autres). Et c'est à ce prix que la musique mélodique, monodique, peut atteindre un degré de complexité, de raffinement, suffisant pour satisfaire les auditeurs les plus délicats... à condition, bien entendu qu'ils aient appris à entendre ces finesses ! Ce qui n'est pas le cas pour un musicien occidental conditionné aux 12 demi-tons du piano ou de l'orgue.

Du point de vue des mécanismes auditifs, il est clair que deux sons successifs (très voisins) s'inscrivent <sup>séquentiellement</sup> sur notre "mémoire instantanée" et qu'il est alors possible d'imaginer des opérations informatiques simples permettant de "mesurer" leur intervalle. La méthode pourrait se baser sur le repérage du premier harmonique commun entre les deux sons. Exemple : si le premier harmonique commun entre les deux sons est l'harmonique 4 pour le premier, l'harmonique 5 pour le second, on "voit" instantanément cette coïncidence; le rapport de fréquence, leur intervalle, est donc de 4/5, soit une tierce majeure. Mais en fait, la perception des harmoniques par l'oreille est floue, et il ne faut pas se faire trop d'illusions quant à la précision de notre oreille en musique monodique. En fait la perception de l'intervalle entre deux notes successives reste assez floue : nous l'avons vérifié expérimentalement avec des musiciens.

Or il n'est pas du tout de même en musique harmonique. En effet, on est, ici en présence de sons simultanés. Or deux sons différents que l'on joue simultanément interagissent physiquement : on le vérifie sans aucune difficulté à l'oscillographe ou au sonographe. Bref, deux sons simultanés voisins produisent des battements, des différentiels, des sons additionnels. On retrouve ici la grande idée des gestaltistes : un tout n'est pas la somme de ses parties ! Il ne l'est d'ailleurs ni physiquement ni perceptivement. Ce point est à retenir, et impose une conclusion immédiate dans notre sujet : la précision de la perception de l'intervalle de sons successifs est toujours floue; mais celle de sons simultanés peut être d'une précision extraordinaire, parce que notre système auditif est très sensible aux battements. Un exemple : on peut soutenir, sans risque d'être démenti, que personne au monde n'est capable de différencier deux sons successifs (toutes autres choses étant égales bien entendu : intensité, timbre, etc...) dont l'un aurait 3000 Hz et l'autre 3001 Hz. Or, à l'oreille, on vérifie instantanément, en les jouant simultanément, qu'ils sont distants de 1 Hz sur 3000... car un battement par seconde se perçoit sans difficulté. Lorsque les battements deviennent trop nombreux pour être "comptés" mentalement (20, 30 etc..), ils déterminent tout de même une sensation particulière de "râclage", variable avec la fréquence des battements et que l'on peut aisément reconnaître avec de l'entraînement, (c'est la "rapidité" dont parlent les accordeurs de piano). Si ces battements deviennent encore plus nombreux, on finit par entendre un son différentiel : c'est le principe du système hétérodyne de la radio...

En un mot, la pratique empirique des musiciens monodiques (et techniques en particulier) est justifiée. La hauteur des notes pose ici un problème particulier : rechercher dans leur jeu des échelons fixes est une vue de l'esprit... La notion de gamme, relève dans ce cas de recherches statistiques et non d'affirmations doctrinales, et on comprend pourquoi les musiques monodiques n'ont pas engendré d'instruments à clavier ! Mais en harmonie le problème est d'une toute autre nature.

La présence de sons simultanés oblige les facteurs et accordeurs d'instruments à clavier à chercher des solutions qui ne relèvent pas du tout des mêmes mécanismes auditifs que la mélodie. En particulier les accordeurs sont nécessairement amenés à faire un certain nombre de compromis dès qu'on veut :

- une limitation du nombre de touches de l'instrument, indispensable si on veut que celui-ci soit pratiquement jouable avec une certaine virtuosité.
- une possibilité de moduler et de transposer : possibilité sans laquelle la musique harmonique reste informativement et esthétiquement assez limitée pour des auditeurs raffinés.

En fait, la musique " savante " européenne étant devenue à peu près exclusivement harmonique, et du fait que l'on n'admet que 12 touches par octave, on comprend pourquoi, depuis des siècles, on assiste à des discussions et à des disputes sans fin, relativement à l'accordage. Il n'y a pas ici de " Vérité " mais des Vérités et elles sont faites nécessairement de compromis.

Si un accord universel n'a pu se faire pour des raisons musicales, si pour des raisons musicales un consensus général n'a pu être obtenu, il y a cependant d'autres raisons supplémentaires, qui, elles, sont liées aux propriétés de l'oreille.

#### IV. ACCORDAGE ET OREILLE

Il est exclu de traiter exhaustivement cette question en quelques lignes. Nous reprendrons tout le problème à une réunion ultérieure du GAM, et je me contenterai ici d'énumérer les variables auditives en présence dans l'insoluble problème d'accordage tel qu'il est vécu chaque jour par les praticiens, me contentant pour le moment de faire quelques brefs commentaires.

Les propriétés de l'oreille ont été étudiées très soigneusement dès que l'on a disposé d'une électronique convenable pour fabriquer des appareillages d'investigation valables. Les pionniers restent : Fletcher, Stevens, Seashore et quelques autres qui ont apporté ici une somme de connaissances considérable.

Malheureusement la quasi-totalité des recherches est faite à l'aide de moyens que je réprovoe : expériences sur animaux, sur cadavres, sur modèles mécaniques discutables; le tout en utilisant de surcroît des artefacts sonores : sinusoides, clics, bandes de bruit. On ne peut être surpris pour cela, des difficultés qu'on éprouve lorsqu'on veut raccorder les résultats des psycho-physiologistes avec la réalité, et, en particulier les pratiques des musiciens et des accordeurs. Or, s'il est une " Vérité " quelque part, elle est certainement du côté des praticiens.

En fait, il n'existe à l'heure actuelle aucune réponse à la question de savoir comment fonctionne exactement notre système auditif lorsqu'il est stimulé par la réalité sonore de notre environnement (parole, musique, bruit). On peut cependant d'ores et déjà préciser les variables dont la combinatoire détermine la perception de la hauteur des sons - donc des intervalles. Une simple énumération suffit pour montrer qu'il s'agit d'un problème d'une complication inouïe, supposant l'existence non d'une Vérité, mais de plusieurs Vérités relatives. Dès lors, on ne peut par conséquent pas être surpris de voir les disputes se perpétuer tant qu'on n'aura pas clairement résolu le problème de la perception de la hauteur et des intervalles.

Interviennent dans la perception de hauteur et d'intervalles :

1°) - La structure physique des sons :

- Un son riche en harmoniques sonne plus haut que le même son dont on a coupé les harmoniques aigus.
- La hauteur perçue change avec l'intensité des sons, et cela d'autant plus qu'il est plus pauvre en harmoniques (Stevens) : les sons suraigus montent, les sons très graves baissent ... *plus ou moins selon les individus!*
- La hauteur perçue change avec la durée du son (Stevens, Lichte etc..) : il faut un certain temps pour percevoir la hauteur; en dessous de cette durée, le son paraît plus bas.
- La hauteur du son varie avec le "profil dynamique" du son. Lorsqu'on pince une corde de harpe, on la tend fortement. La tension fait alors monter le son qui baisse graduellement au fur et à mesure qu'il s'éteint : le son "piaule" parfois beaucoup (de l'ordre du 1/4 de ton pour une harpe). Dans ces conditions selon la constante de temps de l'oreille de chacun, l'un appréciera tel son trop aigu, l'autre trop grave; les mêmes intervalles sonneront faux pour l'un, juste pour l'autre.
- La hauteur varie avec l'évolution spectrale du son : un son non permanent, qui s'éteint, (harpe, piano etc...) perd généralement d'abord ses harmoniques ou partiels élevés. Or la sensation de hauteur dépend du nombre de partiels; le son semble donc baisser en cours de route, et les intervalles sonneront faux à un moment ou à un autre !
- *Qu'est-ce que la "hauteur" d'un son évolutif, d'une note de harpe en "Forte" - qui "piaule" nécessairement ?*

2°) - Les particularités anatomo-physiologiques de l'oreille individuelle.

- La hauteur varie avec l'oreille de chacun... Et l'oreille de chacun varie avec son état psychique et physique (fatigue) parce que la sensation de hauteur est évidemment liée à la perception du temps.
- La sensation de hauteur varie avec l'âge. Notre oreille se modifie continuellement, et il s'agit en général d'une perte graduelle de l'aigu. On n'apprécie donc pas la hauteur, donc les intervalles de la même façon lorsqu'on est jeune ou très âgé (la fameuse légende de "montée constante du diapason" est liée à ce problème; c'est un cas précis que nous avons bien observé.
- La sensation varie avec le conditionnement socio-culturel. On porte un jugement de hauteur, de justesse de jeu et d'accordage en fonction de ce conditionnement. Ce qui est valable pour telle société ne l'est pas pour telle autre.
- La sensation de hauteur varie selon le contexte musical : chaque fois qu'un musicien peut le faire sur son instrument, et dans la mesure où il est suffisamment entraîné, il exploite les mécanismes attractifs, même en musique harmonique. L'attraction est un phénomène quasi général dans toutes les musiques monodiques, et on peut se demander si les tentatives pour utiliser des tiers de ton ne sont pas justifiées par des problèmes d'attraction (on laisse au musicien le choix entre deux notes intermédiaires !
- Une question à ce propos : est-il possible d'accorder par "tiers de tons" un instrument comme la harpe ? Quels tiers de tons ? Tempérés ou non ? La question reste en suspens. Si nous ne sommes pas habitués à ces intervalles, les auditeurs non conditionnés diront que l'accord est faux ....

- Le problème du vibrato reste entier.... Qu'est-ce qu'un accord " juste " quand un chanteur accompagne un piano (fixe par définition) en réalisant un vibrato " normal " (amplitude de fréquence dépassant souvent  $\pm 1/4$  de ton ?)

Bien d'autres variables interviennent encore : filtrage par la salle, place d'auditeur dans le local etc..., mais nous en savons assez déjà pour tirer quelques conclusions réalistes.

## V. CONCLUSIONS

Ce rapide survol de la question de l'accordage montre que les problèmes d'ordre pratique, musical ou perceptif, sont innombrables ici; en dernière analyse, c'est encore celui de l'audition des hauteurs et des intervalles dans la musique réelle qui reste le plus mal résolu; au moins ce que nous en avons dit montre-t-il que la recherche d'un système parfait, universel, unique d'accordage reste une illusion. De toutes façons, on est bien loin des affirmations simplistes de beaucoup de traités théoriques et physiques sur la musique où l'on ne manipule en général que des abstractions. Le conditionnement socio-culturel, le contenu des mémoires des individus, joue de plus un rôle déterminant : on ne mettra jamais tout le monde d'accord et encore moins les musiciens monodiques et les musiciens " harmoniques ". Cependant, il faut bien que le praticien, l'accordeur de pianos, de clavecins, de harpes, d'orgue.... trouvent un moyen pratique pour satisfaire au mieux la majorité des auditeurs du point de vue des échelles. <sup>Complication supplémentaire!</sup> L'accordage ne détermine pas seulement un éventuel jugement de fausseté ou de justesse de l'instrument ou du jeu, mais encore, et directement, la " sonorité " de l'instrument. En effet, les " résonances par sympathie ", tant dans le piano qu'ailleurs, dépendent largement de l'accordage.

On retiendra en tout cas que si le problème d'accordage était simple, il serait résolu depuis longtemps et nous tâcherons, <sup>lors d'</sup>une prochaine réunion, d'apporter les informations détaillées que nous avons recueillies pendant de nombreuses années, en étudiant la pratique des facteurs d'instruments et celle des musiciens : s'il est une vérité, c'est bien là qu'il faut aller en chercher les données....

E. LEIPP.

---

UN PROBLEME DE PERCEPTION DE LA HAUTEUR DANS L'AIGU ET LE SURAIGU

EXPERIENCE SUR LA JUSTESSE DES OCTAVES MELODIQUES

par M. CASTELLENGO

1. POSITION DU PROBLEME

La nécessité d'une expérimentation sur la perception des intervalles entre deux sons successifs aigus est apparue au cours de l'étude de la justesse des flûtes. Nous entendons par " aigus " les sons supérieurs à DO5, soit environ 1000 Hz. Du point de vue instrumental ceci correspond à la 3ème octave de la flûte traversière, aux 2 dernières octaves du piccolo et aux 2 dernières octaves du piano.

En pratique les fondamentaux des instruments de musique plafonnent vers 4000 Hz, y compris les fournitures de l'orgue classique : la 9ème rangée de la cymbale donnée en exemple par Dom BEDOS (l'Art du Facteur d'Orgues, planche 17) ne dépasse pas la touche 63 d'un 4' soit Ré7 = 4700 Hz.

Nous verrons que cette limite pratique semble bien correspondre à une borne physiologique pour un certain nombre de sujets.

2. CHAMP DE LIBERTE DES HAUTEURS D'UNE FLUTE. JUSTESSE D'UNE FLUTE.

On sait que les flûtes ne sont pas des instruments à sons fixes : selon le type d'embouchure, le flûtiste peut régler la hauteur d'une même note de diverses façons (pression, recouvrement de l'embouchure etc...). Pour tester la justesse d'un instrument on procède de la façon suivante. On demande au musicien de jouer une certaine note de son instrument puis d'en modifier la hauteur en plus et en moins tout en restant dans des limites de timbre acceptables. On mesure alors le minimum et le maximum puis on passe à la note suivante. On obtient pour finir un diagramme représentant le " champ du possible " du musicien. Les résultats s'expriment en fonction d'une référence qui est habituellement la gamme tempérée égale, base LA3 = 440 Hz.

Nous avons fait un grand nombre de ces relevés tant sur des flûtes traversières que sur des flûtes à bec et nous avons constaté le fait suivant : pour nombre d'instruments, les notes de la dernière octave ont tendance à être d'autant plus hautes que leur fréquence est plus élevée. Si l'on considère qu'un instrument est juste lorsqu'on peut tracer une horizontale à travers le champ de liberté, la plupart des flûtes seraient donc fausses ! En effet, la ligne moyenne est plutôt une courbe ascendante. Comme on peut s'en rendre compte en examinant les 4 relevés de la figure 1. Si les flûtes que nous avons étudiées sont considérées comme justes par les musiciens qui les utilisent, nous devons mettre en doute les mesures physiques et les " corriger " en fonction des propriétés particulières du système auditif pour la perception des sons aigus. Nous avons donc entrepris une série d'expériences dans ce but, mais avant d'en rendre compte nous allons faire état des travaux antérieurs.

Voir  
fig 1.

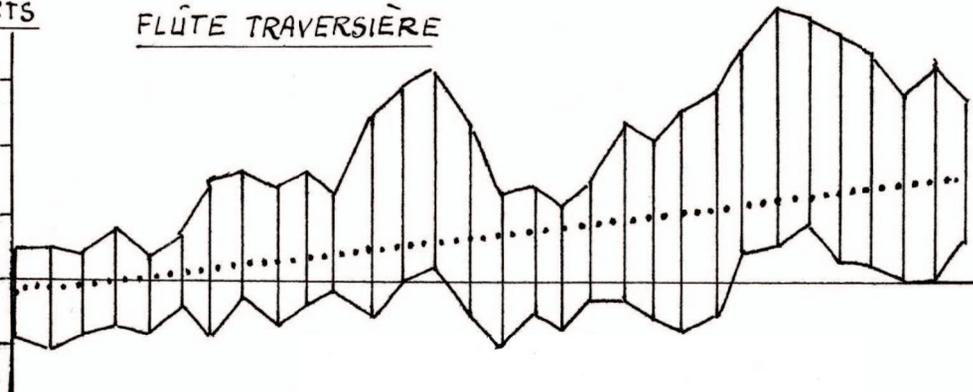
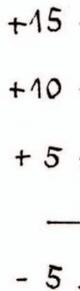
...../

SAVARTS

FLÛTE TRAVERSIÈRE

fig 1

a



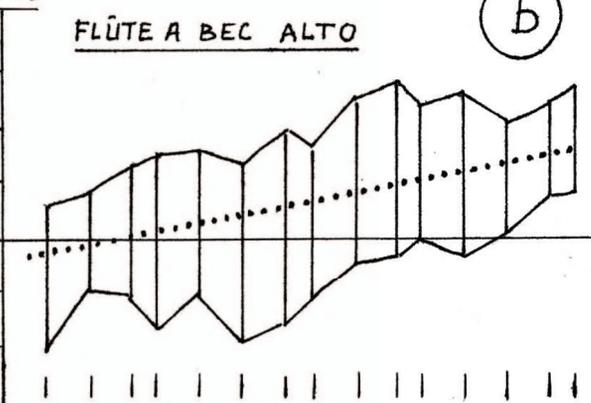
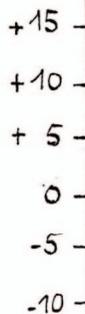
RÉFÉRENCE  
GAMME TEMPÉRÉE  
BASE LA<sub>3</sub> = 440 Hz

DO<sub>3</sub> RÉ MI FA SOL LA SI DO<sub>4</sub> RÉ MI FA SOL LA SI DO<sub>5</sub> RÉ MI FA

SAVARTS

FLÛTE A BEC ALTO

b

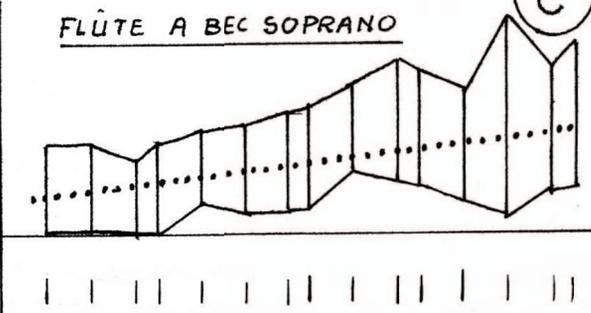
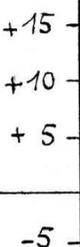


FA<sub>3</sub> SOL LA sib DO<sub>4</sub> RÉ MI FA SOL LA sib DO<sub>5</sub> RÉ MI FA

SAVARTS

FLÛTE A BEC SOPRANO

c

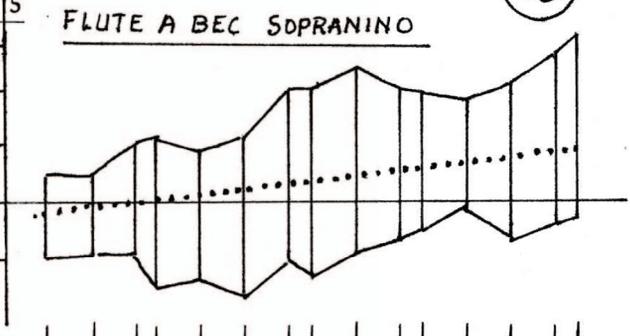
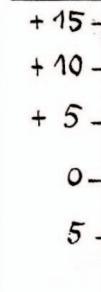


DO<sub>4</sub> RÉ MI FA SOL LA SI DO<sub>5</sub> RÉ MI FA SOL LA SI DO<sub>6</sub>

SAVARTS

FLÛTE A BEC SOPRANINO

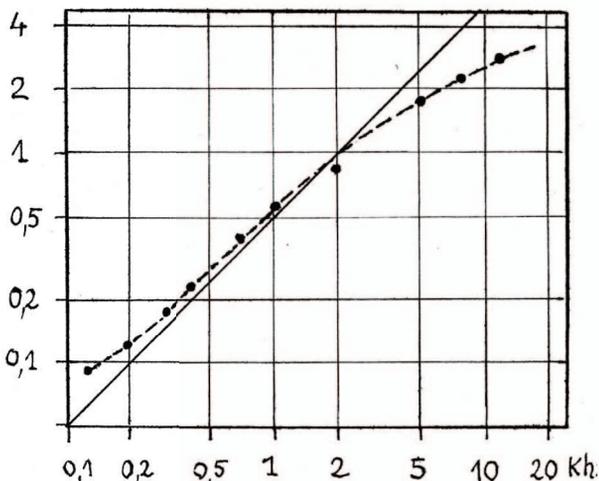
d



FA<sub>4</sub> SOL LA sib DO<sub>5</sub> RÉ MI FA SOL LA sib DO<sub>6</sub> RÉ MI FA<sub>6</sub>

N<sub>2</sub> = Fréquence du son paraissant à l'octave inf<sup>re</sup> de N<sub>1</sub>

EXPÉRIENCE DE STEVENS et collab (1937)  
N<sub>1</sub>/N<sub>2</sub> = Octave mélodique jugée bonne



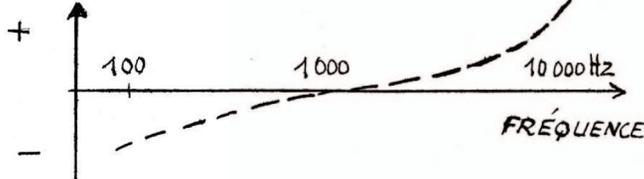
N<sub>1</sub> = Fréquence du son fixe

fig 2

a

b

ECART PAR RAPPORT  
A L'OCTAVE PHYSIQUE



### 3. RESULTATS DES EXPERIENCES DE PSYCHOPHYSIOLOGIE

#### a) Expériences de STEVENS VOLKMAN et NEWMAN (1937). Les Mels

En 1937 STEVENS et ses collaborateurs expérimentent sur la sensation de hauteur de deux sons successifs. Ils demandent à 5 sujets de régler la fréquence d'un son sinusoïdal de façon que sa hauteur paraisse être la moitié de celle d'un son de référence, ceci pour 10 fréquences échelonnées de 100 à 10 000 Hz. Ils constatent alors que la sensation de hauteur n'est pas liée de façon linéaire à la fréquence. Tout se passe comme si les sujets entendaient les octaves plus courtes dans le grave et plus grandes dans l'aigu, la référence étant l'octave physique caractérisée par un rapport de fréquence égal à 1/2 (ou 2).

fig 2a

Nous avons reproduit fig.2a les résultats publiés par STEVENS dans son ouvrage Hearing (p.80). Il s'agit de la moyenne des résultats pour les 5 sujets. La droite passant par l'origine est la référence physique. On voit que la courbe expérimentale se situe au dessus de cette référence jusque vers 1000 Hz, puis passe au dessous.

fig 2b

On peut présenter les résultats d'une autre manière en exprimant l'écart, par rapport à l'octave physique, des octaves réglées par les 5 sujets, en fonction de la fréquence du son réglé : c'est la figure 2b qui montre un agrandissement graduel de l'octave réglée, des basses vers les hautes fréquences; la coïncidence avec la mesure physique se situe vers 1000 Hz. Pour raccorder la sensation de hauteur mélodique avec la mesure physique et conserver les rapports numériques fondamentaux STEVENS propose une nouvelle unité : le MEL.

Par convention 1000 mels équivalent à 1000 Hz  
On voit donc que 2000 mels " " 2070 Hz environ.

Autrement dit, l'octave juste, 2000/1000 mels = 2 sera produite par deux fréquences dont le rapport est supérieur à 2 ici 2070/1000 Hz = 2,07.

En fait cette nouvelle unité n'a jamais trouvé d'application pratique mais il devait rester de cette expérience l'idée que les intervalles mélodiques aigus devaient être agrandis, physiquement parlant, pour sembler justes à l'oreille.

Ce résultat expliquerait bien que les relevés de justesse des flûtes que nous avons examinés tendent à s'incurver vers l'aigu. Mais il est prudent de remettre en cause une expérience isolée faite avec quelques sujets dont nous ne connaissons pas le niveau de technique musicale. Depuis les expériences de STEVENS, de nombreux chercheurs se sont penchés sur ce problème. Nous ne rendrons compte que des expériences les plus récentes.

#### b) Expériences de J. SUNDBERG et LINDQVIST

Dans une première recherche, FRANSSON, SUNDBERG et TJERNLUND mesurent la justesse des musiciens en cours de jeu, sur leur instrument. Ils demandent à 3 musiciens professionnels, un flûtiste, un hautboïste et un violoniste de jouer d'abord une phrase musicale puis d'improviser, enfin de jouer sur commande des notes isolées prises au hasard. La référence de justesse est le

...../

tempérament égal.

fig 3 Les mesures faites avec le violoniste montrent une grande dispersion, ce qui s'explique aisément en jeu solo où l'instrumentiste peut user de l'attraction à son gré (fig. 3b). Le hautbois et la flûte montrent une tendance à la hausse dans l'aigu, mais en ce qui concerne la flûte nous savons que l'instrument a déjà cette caractéristique. Pour interpréter valablement les résultats, il faudrait conjointement le champ de liberté des hauteurs de ces deux instruments.

fig 4 Lors d'une deuxième recherche, SUNDBERG et LINDQVIST établissent une série d'expériences avec des sons électroniques complexes (riches en harmoniques), au cours desquelles le sujet doit régler la fréquence d'un son à l'octave aiguë de celui qu'on lui donne à écouter. On peut voir les résultats fig. 4. Les auteurs montrent en particulier que la perception de la hauteur dépend aussi, pour les sons complexes, de l'intensité; STEVENS avait déjà montré l'importance de cette dépendance pour les sons sinusoïdaux. Pour 65 et 90 dB, les octaves réalisées sont tantôt plus courtes (1/3 des résultats) tantôt justes ou plus grandes. Pour 80 dB toutes les octaves sont plus grandes que l'octave physique.

Les expériences sont faites avec soin, le sujet réglant 10 fois une octave donnée, chaque résultat de la figure est la moyenne de dix mesures. On peut toutefois faire quelques réserves :

- il n'y a que 4 sujets de test dont deux ne sont pas entraînés à régler la hauteur sur leur instrument (piano et orgue) et le troisième n'est pas musicien professionnel.
- le nombre des fréquences testées est faible eu égard à l'étendue ouverte. Ce sont les octaves de 105, 190, 330, 600, 1050 et 2000 Hz. On n'a donc que des jalons très espacés dans l'aire audible.
- trois fréquences seulement rentrent dans la zone qui nous préoccupe (supérieure à 1000 Hz).
- Enfin les sujets de ces expériences ne sont pas les musiciens avec lesquels on a fait les mesures de justesse.

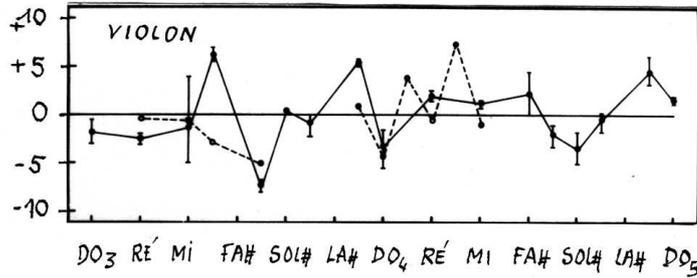
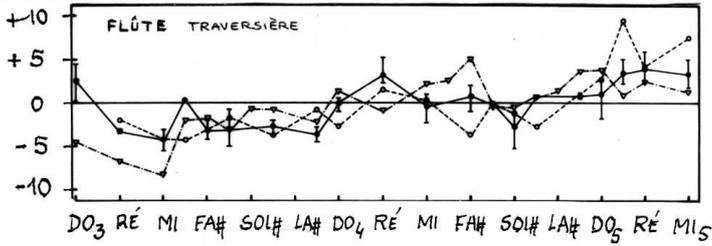
Avant de connaître les résultats de cette recherche nous avons déjà fait quelques tests de notre côté. Etant donné l'orientation différente que nous avons prise il nous est apparu nécessaire de poursuivre nos propres expériences. Nous allons maintenant en rendre compte.

#### 4. EXPERIENCES FAITES AU LABORATOIRE D'ACOUSTIQUE.

Il s'agit d'offrir au sujet la possibilité de régler l'intervalle entre 2 sons entendus successivement, à l'octave l'un de l'autre. L'instrument le plus aisément maniable par toutes sortes de musiciens étant le générateur électronique, nous fûmes contraints de l'utiliser, étant entendu que chaque fois que cela serait possible (violoniste, flûtiste voire chanteur) nous ferions quelques tests sur l'instrument pour comparer les résultats et juger de leur validité.

Dans un premier temps nous avons, par mesure de simplicité, utilisé des sons sinusoïdaux. Ceci peut se justifier dans la mesure où l'on peut supposer que dans les fréquences aiguës qui nous intéressent, la composition spectrale des sons

SAVARTS

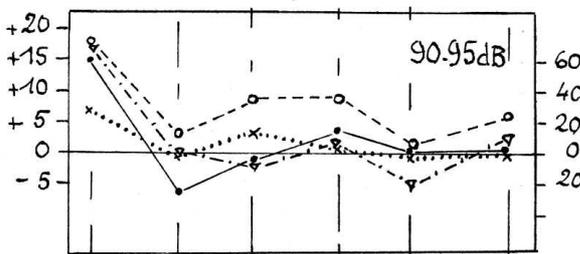
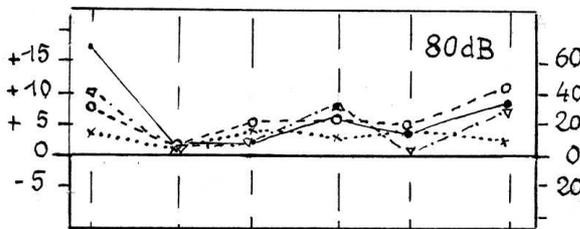
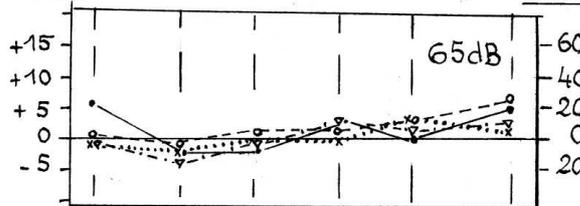


Mesure de la justesse en cours de jeu [J.S et L]

- fig3
- Cadence de concerto (commune aux 2)
  - Flûte : m cadence sur une autre flûte
  - Violon : mélodie "Schön Rosemarin"
  - ▽--▽ Flûte : improvisation -

SAVARTS

CENTS



octaves { 105 190 330 600 1050 2000 Hz  
210 380 660 1200 2100 4000 Hz

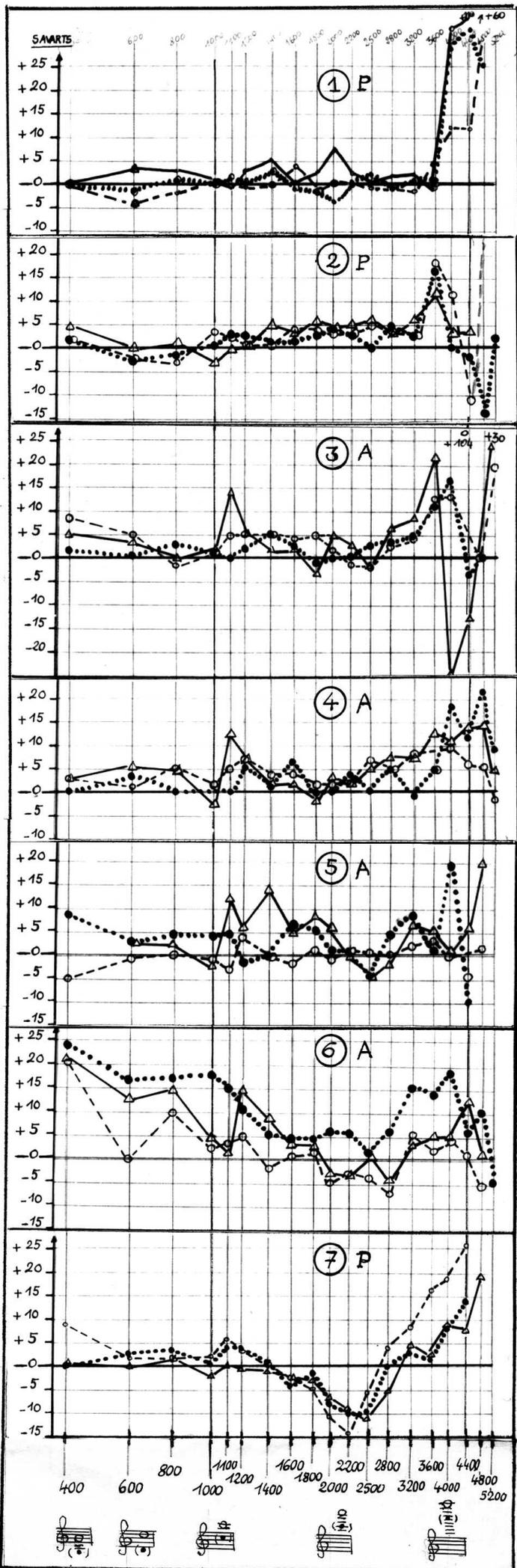
fig4 Expériences de SUNDBERG et LINDQVIST

- 4 sujets : x...x Violon (P)  
○--○ Piano (P)  
▽--▽ Orgue (P)  
●—● chant (A)

P = Professionnel  
A = Amateur

fig5

EXPÉRIENCE  
M. CASTELLENGO



joue un rôle secondaire.

L'expérience se déroule dans une pièce calme, sans réverbération marquée, en champ libre. Le sujet, dont nous possédons par ailleurs l'audiogramme, peut régler l'intensité des sons de façon que les conditions du test lui soient agréables. Dans tous les cas nous travaillons à intensité moyenne entre 60 et 70 dB.

Le sujet dispose d'un interrupteur à bascule (\*) lui permettant de faire alterner à son gré le son 1, la référence grave, et le son 2 qu'il doit ajuster à l'octave du premier. Il est intéressant de constater les différences de comportement en ce domaine. Certains sujets passent très rapidement d'un son à l'autre, (2 fois par seconde), d'autres écoutant longuement un son puis l'autre!

L'épreuve comporte en tout 19 fréquences, ce qui est beaucoup eu égard à la fatigue du sujet. Mais nous demandons un réglage relativement rapide, d'une part pour se rapprocher du jeu instrumental, et d'autre part pour que la durée du test n'excède pas 30 minutes. Les fréquences les plus aiguës, donc les plus difficiles à régler, se trouvent en fin de séance. Celle-ci est d'ailleurs entrecoupée, si le sujet le désire, de conversations et remarques diverses, ce qui lui permet de se reposer de l'écoute des sons électroniques rapidement fatigants. Les musiciens professionnels, sujets les plus intéressants, en éprouvent particulièrement le besoin.

Etant données les nombreuses variables inhérentes aux conditions d'expérience, il est indispensable que le sujet puisse exécuter le test au moins 3 fois.

#### Premiers résultats :

fig 5

Les premiers résultats nous ont assez fortement surpris. Au bout de 3 séances les erreurs se compensent plus ou moins on dispose pour chaque individu d'une courbe qui lui semble bien spécifique. On peut voir figure 5 les résultats obtenus avec les 7 premiers sujets (un P et un A distinguent professionnels et amateurs). La fréquence de la note ajustée (son 2) est indiquée tout en bas de l'image ainsi que la notation musicale de quelques octaves repères.

Les courbes sont loin de montrer l'agrandissement progressif des octaves que laissait prévoir l'expérience de STEVENS. Un sujet, N° 7, présente même l'inverse : ici les octaves dont la note supérieure est comprise entre 2000 et 2500 Hz sont près d'1/4 de ton plus courtes que l'octave physique ! (Rappel : 1/2 ton = 25 savarts ou 100 cents). Le sujet 6 agrandit considérablement l'octave dans les basses fréquences; l'agrandissement diminue avec l'augmentation de fréquence jusque vers 2500 Hz où le phénomène s'inverse. Le sujet 1 réalise à peu de choses près l'octave physique de 400 à 3600 Hz puis brusquement agrandit l'intervalle de façon démesurée. Cette cassure autour de 3600 Hz est nette aussi chez les sujets 2, 3 et 5. D'autres, N° 4 et 6 semblent reculer la limite au delà de 3600 Hz.

#### Conclusions :

Suscitée par l'interprétation des diagrammes de justesse des flûtes, cette expérience rentre en fait dans le cadre général d'une série de recherches sur l'oreille des musiciens, entreprises au Laboratoire d'Acoustique, sous la direction de M. LEIPP.

Les premiers résultats confirment déjà l'intérêt de tests utilisant des fréquences de référence plus nombreuses qu'on ne le fait habituellement. De ce point de vue il est regrettable que les audiomètres disponibles sur le marché ne

...../

(\*) voir page suivante.

COMMENT INTERPRETER UN MODE D'EMPLOI  
DE TEMPERAMENT

La présentation des tempéraments et de leurs problèmes a été faite de façon très concise par Monsieur LEGROS dans la revue n° 61 du G.A.M. et cela pour la raison suivante; l'essentiel y est contenu. Or c'est cela et cela seulement qui devrait intéresser le musicien.

En effet, comme il a déjà été dit dans le bulletin n° 61, le tempérament n'est pas un problème théorique mais uniquement pratique, empirique. Réaliser un tempérament, quel qu'il soit, implique un choix préalable que seul le goût du musicien peut résoudre. Cependant, la pièce de musique n'est pas le seul facteur important; l'instrument et le local dans lequel il se trouve, jouent un grand rôle dans ce choix. Aussi, ce ne peut être que lorsqu'on a pris instinctivement connaissance de ces impératifs extérieurs dans leur ensemble, qu'il est possible de penser à la partition qui a priori semble la bonne.

Ce dont je parlerai, concernera strictement l'accord du clavecin parce que c'est un instrument que je connais assez bien et que j'ai accordé un certain nombre de fois.

Sauf quand on l'exige, je n'accorde jamais le clavecin en tempérament égal vu son manque de caractère et le fait qu'il efface, même dans les tonalités les plus simples, la clarté, l'attaque, bref le timbre du clavecin.

Avant de réaliser la partition, il faut savoir à quel diapason doit se trouver le Do. Le Do contrairement à ce que pensent les accordeurs de piano en France, est la note que l'on doit accorder en premier étant donné qu'elle représente la tonique de la tonalité la plus simple. Ainsi, lorsqu'on veut faire un accord inégal, il est absolument absurde de parler de La 440, 415 ou autre chose; le La dépendant du Do et non l'inverse.

Bien sûr, il existe aussi le problème des autres instruments avec lesquels on peut être amené à jouer. A vrai dire, cela n'a guère d'importance. Les flutistes baroques avaient souvent des instruments à des diapasons divers ou avec des corps intermédiaires que l'on pouvait changer. Les violons, quant à eux, portaient des cordes de boyau une assez grande latitude dans la hauteur du son.

C'était donc bien, comme le confirme bon nombre de textes anciens, le clavecin qui devait imposer son diapason aux autres instruments.

Pour connaître le diapason du clavecin, il faut prendre la corde du Do du milieu que le facteur de clavecin aura posée et la tendre jusqu'à ce que le timbre qu'elle produit soit satisfaisant. Après cela, il faudra accorder tout l'instrument dans un tempérament que l'on aime bien puis écouter s'attentivement l'impression d'ensemble et de détail qui se dégage; ce après quoi il est toujours possible de modifier un peu le diapason, de remplacer certaines cordes etc... Cela va sans dire que la personne qui déterminera le diapason devra savoir ce qu'il est possible d'attendre d'un clavecin; en d'autres termes, il s'agira de connaître l'instrument. (J'ai remarqué sur un clavecin neuf que j'avais à régler et sur lequel j'ai beaucoup joué pendant tout l'été dernier que le diapason avait naturellement tendance à se fixer à presque un ton au-dessous du diapason moderne. Or ce clavecin n'avait absolument rien d'un monstre: bien au contraire, c'était une très belle copie d'un

...../

instrument français du XVII<sup>e</sup> siècle).

Vient enfin la partition en soi. Si la musique ne comporte que des  $Do\sharp$ ,  $Mi\flat$ ,  $Fa\sharp$ ,  $Sol\sharp$  et  $Si\flat$  comme altérations, le tempérament à tons moyens s'impose.

Si au lieu de trouver des  $Mi\flat$  et des  $Sol\sharp$  on ne trouve que des  $Ré\sharp$  et des  $La\flat$  comme c'est souvent le cas, il suffit de transformer les  $Mi\flat$  en  $Ré\sharp$  et les  $Sol\sharp$  en  $La\flat$  pour obtenir un très bel effet. Aussitôt, on peut se demander pourquoi d'Anglebert par exemple choisissait une tonalité plutôt qu'une autre du moment que toutes les tierces majeures qu'il utilisait, étaient justes. La réponse qui me semble la meilleure est la suivante; les quatre premières quintes  $Do-Sol$ ,  $Sol-Ré$ ,  $Ré-La$ ,  $La-Mi$  n'étaient pas réparties de façon tout à fait régulière pour donner à la fin une tierce majeure  $Do-Mi$  rigoureusement juste. Je croirais plutôt à une répartition telle que Dom BEDOS la concevait, c'est-à-dire avec la quinte  $Sol-Ré$  légèrement plus petite que les trois autres demeurent égales entre elles. On peut aussi imaginer une autre répartition de ces quintes aboutissant toujours à la tierce  $Do-Mi$  juste.

Cependant, dès que l'harmonie devient plus compliquée, je suis d'avis qu'il faut faire des compromis d'inégalité qui peuvent et doivent être d'une subtilité aussi grande que l'harmonie qu'ils doivent mettre en valeur. Je me suis rendu compte de ce phénomène en voulant jouer les pièces de clavecin de François COUPERIN dans le tempérament décrit par Jean-Jacques ROUSSEAU. Les premiers essais ont été assez décevants car ce que disait ROUSSEAU me semblait trop imprécis. En fait, ce que dit ROUSSEAU ne pouvait pas être plus clair. Ce qui importait le plus était d'avoir une connaissance globale de ces pièces de COUPERIN; essayer de trouver le caractère propre à chaque tonalité était relativement facile du fait que les pièces étaient groupées par "ordres". Les ordres étant d'une unité tonale et donc expressive, ils représentaient la clé de l'énigme. La méthode par laquelle j'ai trouvé un tempérament pouvant satisfaire à la fois la musique de François COUPERIN, les préceptes de Jean-Jacques ROUSSEAU et peut-être aussi l'idée que je me faisais de leurs ouvrages respectifs, était évidemment purement empirique. Or l'enseignement que j'ai tiré de ces expériences a été le suivant.

D'une part, quel que soit le nombre de dièses ou de bémols empruntés dans une même pièce par COUPERIN, il ne faut jamais oublier que les altérations qui doivent être les plus naturelles sont :  $DO\sharp$ ,  $Mi\flat$ ,  $Fa\sharp$ ,  $Sol\sharp$ ,  $Si\flat$ ; et que de ce fait les tierces comme  $Mi\flat - Sol$ , par exemple, doivent être moins fortes que les tierces comme  $Si - Ré\sharp$  ( $Mi\flat$  étant pris comme  $Ré\sharp$ ). Aussi au XVIII<sup>e</sup> Siècle, le fait d'altérer un  $Mi\flat$  pour qu'il puisse aussi servir de  $Ré\sharp$  devait paraître assez hors du commun; c'est pourquoi, même si la tierce  $Mi\flat - Sol$  était moins outrée que la tierce  $Si - Ré\sharp$ , elle devait choquer le contemporain alors que la tierce  $Si - Ré\sharp$  devait lui paraître étonnement juste, ce qui est tout le contraire pour une personne du XX<sup>e</sup> Siècle. Il apparaît ainsi très clairement que l'art du tempérament est aussi une question de tradition, de culture.

D'autre part, le second point qui me semble extrêmement important dans ce tempérament, est qu'il procède de la synthèse de deux méthodes d'accord; à savoir l'une basée sur les tierces et l'autre sur les quintes. Les tierces servent normalement de preuve pour les quintes, tout au moins pour certaines; mais il faut simultanément se soucier des quintes et des tierces et même une quinte peut servir de preuve "..... parvenu au ré Bémol, lequel, pris comme ut Dièze, doit se trouver d'accord et faire Quinte avec le Sol Dièze, auquel on s'était ci-devant arrêté; c'est la troisième preuve."

Toujours d'après mon expérience, la quinte  $Fa-Do$  est juste, ce qui donne comme résultat une tierce  $Fa-La$  outrée. Cependant admettons que le  $La$  ait été légèrement montré et le  $Fa$  à proportion : on obtiendrait une quinte  $Fa-Do$  faible

...../

et une tierce Fa-La outrée, ce qui serait très laid et ressemblerait à un accord de Fa majeur en tempérament égal. Or si l'on maintient la quinte Fa-Do telle qu'elle doit être, sa justesse compense d'une certaine façon la fausseté de la tierce. Bien sûr, si on avait laissé le La tel qu'il était, on aurait tout de même pu accorder le Fa pour que, pris avec le La, il fasse une tierce majeure juste; mais dans ce cas il n'aurait pas été possible de l'utiliser comme Mi#.

Bref lorsqu'une tierce majeure est outrée, il faut essayer de compenser sa fausseté en n'affaiblissant pas ou très peu la quinte de l'accord parfait dont elle fait partie.

Ce que je viens de dire ne se veut pas être un système de tempérament inégal mais seulement l'esquisse d'une méthode de recherche concernant l'interprétation de la musique elle-même, le tempérament en faisant partie intégrante. Un claveciniste ne peut pas pénétrer le fond de la musique qu'il joue sans savoir accorder son instrument; c'est-à-dire, sans comprendre l'importance expressive du système des tonalités.

P. FRITSCH.

---

RÉMARQUES D'UN FACTEUR D'ORGUES SUR L'ACCORD  
DES ORGUES

par M. Georges LHÔTE

facteur d'Orgues

L'orgue est un instrument à clavier, mais à son continu. Il s'en suit que les problèmes de l'accord de notre instrument se présentent sous un angle un peu différent de celui de l'accord des instruments à cordes (piano ou clavecin) dont l'intensité décroît plus ou moins rapidement. Il s'en suit en particulier que nous sommes obligés de conserver les octaves rigoureusement justes entre elles. On sait que ce n'est pas le cas pour les autres instruments à claviers et que le piano en particulier gagne à avoir les octaves légèrement discordées, plus basses vers les graves et franchement plus hautes vers les dessus.

Nous ne devons pas oublier non plus que notre instrument n'est pas à l'échelle de l'exécutant mais à l'échelle de l'édifice où il doit sonner. On remarque souvent que, suivant la grandeur et les conditions acoustiques de l'édifice, les impératifs ou les tolérances dans la justesse de l'accord sont très variables. Ajoutons aussi le style de l'instrument : derrière une façade gothique, on s'attend à entendre des quintes justes, avec un buffet baroque, on attend plutôt quelque chose de plus adouci. Pourquoi ?

L'auditeur entend tout à fait autrement que le spécialiste. Il perçoit tout ensemble : la beauté du son, son intensité, sa justesse, en même temps que les réactions acoustiques de l'édifice. Tout le monde sait qu'un orgue légèrement discordé sonne beaucoup mieux (et aussi plus fort) que s'il est très juste : les sons résultants lui donnent de l'ampleur. Trop juste, l'orgue devient dur et sec, il perd une partie de sa richesse, peut-être aussi à cause des entraînements qui se produisent à l'intérieur de l'instrument perd-il une partie de son intensité...

En ce qui concerne la gamme, les oreilles occidentales sont habituées depuis trop longtemps à la division de l'octave en 12 demi-tons et il y a peu de chances pour que l'on fasse autrement pour les instruments à clavier d'ici l'an 2000. La question se pose donc uniquement de savoir comment l'on choisit de répartir ces intervalles : Ou bien le cycle est fermé et l'instrumentiste doit pouvoir jouer dans les 12 tons, ou bien le cycle est inachevé et l'on peut alors favoriser les quintes et tierces de certaines tonalités et les approcher de la perfection harmonique.

Une quinte qui bat (dans certaines limites) reste toujours mélodieuse et agréable à entendre alors qu'une tierce trop outrée est franchement insupportable. En cela, les facteurs des XVII et XVIIIèmes siècles avaient raison.

Malheureusement, dans le tempérament inégal classique, tout est sacrifié pour obtenir le maximum de tierces justes. Non seulement le cycle est inachevé mais, ce qui est plus grave, il n'y a que deux sortes de quintes. Il s'en suit que si le chromatisme est excellent, l'harmonie des différentes tonalités employables n'est pas très caractérisée : le plus grand nombre des tierces est pratiquement juste et il n'y a que deux sortes de battements dans les quintes.

Au point où en est la facture d'orgue moderne et la littérature que l'on est amené à y interpréter, il semble que le tempérament inégal classique doive être réservé aux restaurations et reconstitutions d'orgues anciennes. Pour les instruments actuels, nous sommes obligés de choisir entre différentes versions de Kirnberger ou

celui, excellent, de WERCKMEISTER. Bien entendu, bien des variantes sont possibles suivant l'acoustique de l'église et le style de l'orgue, mais le tempérament égal absolu est rarement à conseiller dans les orgues : l'instrument sonne très inamical et dur. Heureusement qu'un orgue n'est jamais tout à fait juste et que l'oreille ne commence à percevoir des battements qu'à partir d'un certain désaccord !

Il faut aussi considérer à l'orgue la pluralité des sources sonores ayant chacune son cortège de partiels propres. Et ceci nous entraîne à parler de l'harmonisation : on peut avoir deux fondamentales convenablement accordées tandis que les partiels grincent épouvantablement entre eux, ceci se produit surtout dans les jeux coniques dont les partiels s'éloignent sensiblement de la série harmonique théorique. D'un autre côté, un jeu très pauvre en partiel est très difficile à accorder à cause de sa trop grande tolérance. Nous devons avouer que les différents tempéraments sont mieux mis en valeur sur des jeux dont les partiels - même bien stabilisés - ne sont pas trop évidents à l'oreille. Il est presque impossible de juger un tempérament sur une régale dont le timbre très riche change à l'intérieur même de l'octave.

Si beaucoup de théoriciens ont écrit sur le tempérament, les praticiens qui se sont exprimés sur le même sujet sont rares. Il y a tout lieu de supposer que chacun des facteurs d'orgues a interprété à sa manière les différentes possibilités proposées par les théoriciens pour accorder les orgues : il y a une certaine marge de manoeuvre entre le son parfaitement juste et le premier battement produit par le désaccord. Cette marge est d'ailleurs variable suivant la manière dont le jeu est harmonisé, mais les facteurs guidés par l'expérience, ont su l'utiliser au maximum. Ajoutons encore que les grands tuyaux coupés " en ton " (2<sup>e</sup> et au-dessous) sont bien moins sensibles à l'accord que ceux qui sont munis d'entailles, je ne sais pourquoi....

Il est certain que l'accord et le tempérament choisis font beaucoup pour la beauté d'un orgue, mais il n'est pas nécessaire qu'il soit " trop juste ".

G. LHOÏTE.

## QUELQUES POINTS IMPORTANTS D'HISTOIRE

par HARDQUIN

Ce qui suit est bien connu et quelque peu antérieur au sujet. Ce n'est quand même peut être pas inutile ?

L'accord des instruments à sons fixes ne s'est posé que tardivement comme problème distinct, bien après l'apparition de la polyphonie occidentale, par suite, je crois, des nécessités apportées par la pratique de la " transposition ".

Auparavant tous les degrés des modes utilisés sont pris dans la gamme diatonique pythagoricienne établie par 6 quintes justes ramenées au sein de l'octave par octaves justes. Ces quintes justes sont établies sur le monocorde, à l'oreille bien sûr, mais aussi en raison de " l'harmonie du monde " par des rapports chiffrés simples. Concurrent bientôt du monocorde avec l'avantage du son tenu, l'orgue, mais aussi avec un scandale : les longueurs des tuyaux ne sont plus tout à fait conformes aux rapports mathématiques. D'où un trouble pour les théoriciens qui laissent à l'empirisme des " techniciens " le soin de se débrouiller.

C'est en tant qu'instrument intonateur que l'orgue est introduit dans les maîtrises. Aussi ne comporte-t-il qu'un échantillon de chacun des degrés : A B C D E F G.

Question : Pourquoi est-on parti de Fa pour les quintes (F C G D A E B) alors que le monocorde est gradué en A B C D ... ? aurait-on développé les quintes dans les 2 sens, mais le A n'est pas au milieu ?

Quant à l'orgue-intonateur, il commence (bible Harding) à C ! Cela peut s'expliquer par la seule commodité, la hauteur d'octave n'ayant pas d'importance, on commence par le premier tuyau dont la longueur n'est pas encombrante (D'ailleurs notre origine du clavier en ut ne remonte pas à ce temps, mais à la 2<sup>o</sup> partie du XVI<sup>e</sup> après des débuts variés (?) puis en H puis en F).

Il y a peut être encore une autre raison :

Sur chaque degré de cette gamme se fondait un " mode " avec sa répartition particulière des tons et demi-tons et ce qu'on demande à l'orgue c'est de donner aux chanteurs les 2 extrémités de la Quinte modale (et aussi de les tenir à l'occasion : bourdonner). Mais le mode de Fa comporte une quinte augmentée que les chanteurs " ajustaient " en chantant un " autre B ", il fallut à l'orgue un autre tuyau (si bémol) le " B du fa " quand on dessina " rotundus " le signe au lieu de " quadratus ". Par suite de la sol-misation on aura plus tard le " B fa " opposé au " B Mi " et la lecture du B carré (si bécarre) se fera en h. Le si bémol s'obtient par descente de quinte à partir du Fa mais son origine est extérieure à la chaîne pythagoricienne, bien qu'il y prenne naturellement place fort tôt.

La présence de 2 Si différents permet de transposer les tons à la quinte en gardant la place respective des intervalles : mode de la en Ré, de sol en ut, de mi en la et même de fa en siB. (le mode d'ut n'existe pas en propre ayant la même quinte modale que sol). Ce jeu des modes suffit jusqu'au XIII<sup>e</sup> siècle.

Puis brusquement on va chercher à transposer davantage. C'est peut-être en particulier une conséquence de l'emploi des portatifs doublant la voix et ayant exactement son étendue. Il fallait que l'orgue puisse doubler n'importe quel mode entonné dans la tessiture du chanteur, soit à partir de la même note quel que fût le mode, ou à peu près. Il semble que les claviers de ces orgues commençaient les

...../

plus souvent en H, d'où nécessité de pouvoir jouer tous les modes à partir des 2 premières notes H et C. Il suffisait pour cela de donner une quinte juste au H : fa dièse et au B : Mi Bémol. Ces notes furent appelées "inventées" : feintes ". (or elles s'obtiennent en prolongeant aux 2 bouts la chaîne pythagoricienne). On alla plus loin encore avec 2 quintes vers le haut (pourquoi ?) de dièse et sol dièse<sup>(1)</sup> ce qui donne sur chaque degré normal de 4 à 7 modes sur 8. Il fut ainsi inutile d'aller plus loin si bien que le système ne posa pas de problème de tempérament malgré un clavier chromatique. C'est l'état des orgues dès 1350 au moins (vieilles orgues de Dijon d'après ARNAULT) : 47 notes de (si<sub>0</sub> bécarré) à (la<sub>4</sub>) - (sans sol dièse 4 bien évidemment).

Ce n'est qu'avec l'invention de l'accord avec Tierce, le besoin de Tierces justes et toutes pareilles, que le problème du tempérament s'impose, la poursuite de la chaîne des quintes n'étant qu'un artifice d'accordeurs ou de théoriciens. D'où la tentative de ZARLIN, mais peut-être aussi le goût invétéré des auditeurs (si c'est vrai ??) pour la gamme chromatique pythagoricienne vraiment ancienne.

- ① Pourquoi sol dièse et pas la bémol. aux 2 bouts de la chaîne ? peut-être parce que sol dièse donne une transposition de plus que la bémol ?

Nota: Excusez ces idées hâtives et à préciser sur bien des points avec des gens mieux au fait de la musique du Moyen-Age. C'est son évolution qui donne la clef des besoins auxquels la technique cherche des réponses.

HARDOUIN.

L'ACCORDAGE DE LA HARPE

par Denise MEGEVAND

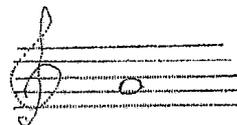
Il y a différentes manières d'accorder une harpe.

En prenant de l'expérience chaque harpiste adopte la sienne.

Le procédé suivant est le plus usuel.

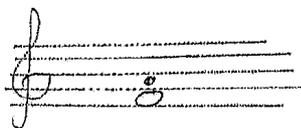
On commence par mettre toutes les pédales au premier cran (il faut préciser que ces pédales au nombre de 7 correspondent aux 7 notes, grâce à elles chaque corde peut donner 3 sons différents : bémol, bécarre, dièse).

On accorde le la du médium

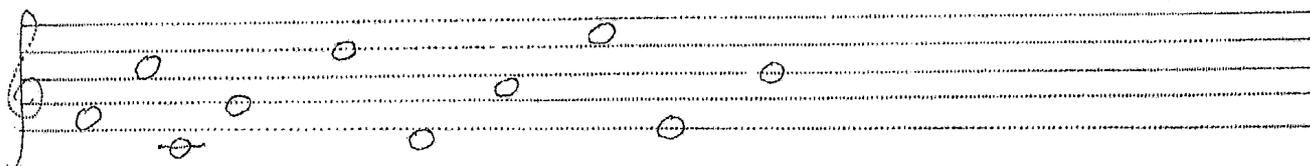


ensuite on

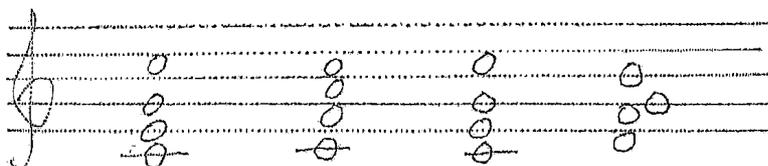
accorde la tierce inférieure :



On poursuit l'accord en quinte (tempérée) et en octave en suivant l'exemple ci-dessous



De cette manière toutes les notes comprises dans la gamme d'ut se trouvent accordées. On vérifie la justesse de cette gamme en jouant les accords suivant



On accorde ensuite par octave toutes les cordes supérieure et inférieures à cette gamme initiale.

On sait que par le jeu des pédales le harpiste a la possibilité de moduler dans tous les tons or le mécanisme minutieux et délicat commandé par ces pédales peut manquer de précision (mauvais réglage, usure) il en résulte des écarts de justesse qui s'accroissent à mesure que l'on s'éloigne de la tonalité d'ut majeur.

Pour ce qui est de la question des battements ils ne peuvent concerner le harpiste, ils sont inexistantes.

A mon avis l'accord doit être réalisé dans un mezzo-forte continu, car seul un faible niveau sonore permet d'apprécier la hauteur du son.

L'accord par tiers de ton intéresse les compositeurs. Des oeuvres sont à l'étude.

Les échelles proposées par les auteurs sont toutes différentes.

Elles posent des problèmes d'accord dont nous reparlerons peut-être un jour.

Denise MEGEVAND

11 Janvier 1975

*Nota: Le "piaulement" d'une harpe est en raison directe de  
de la force exercée au début du pincement de la corde;  
La remarque de D. Megevand est donc justifiée.*

*- Leijp -*

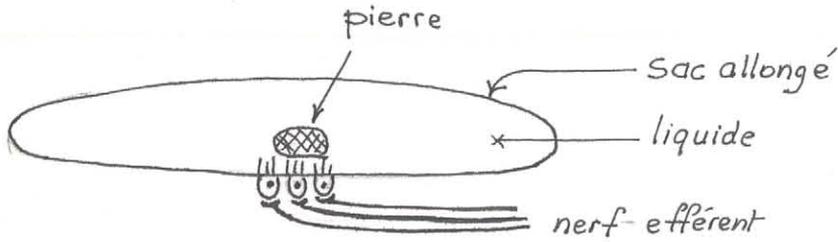


fig1

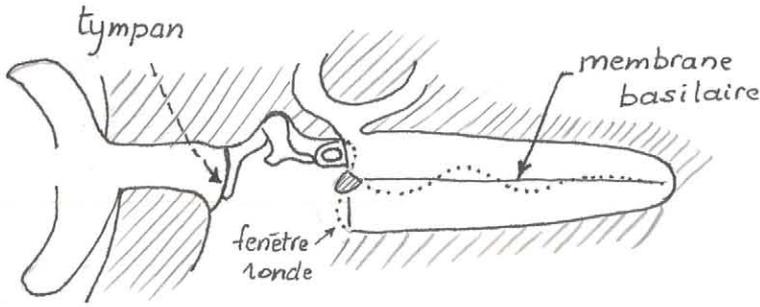


fig3

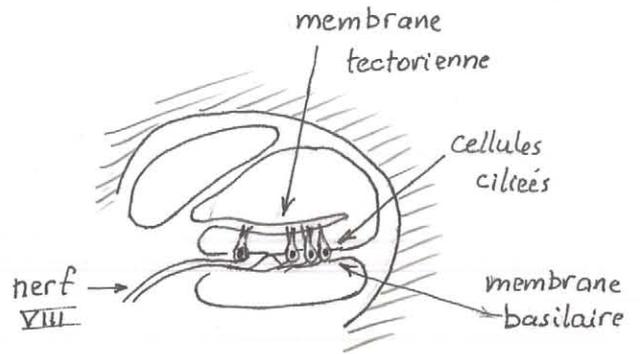


fig2

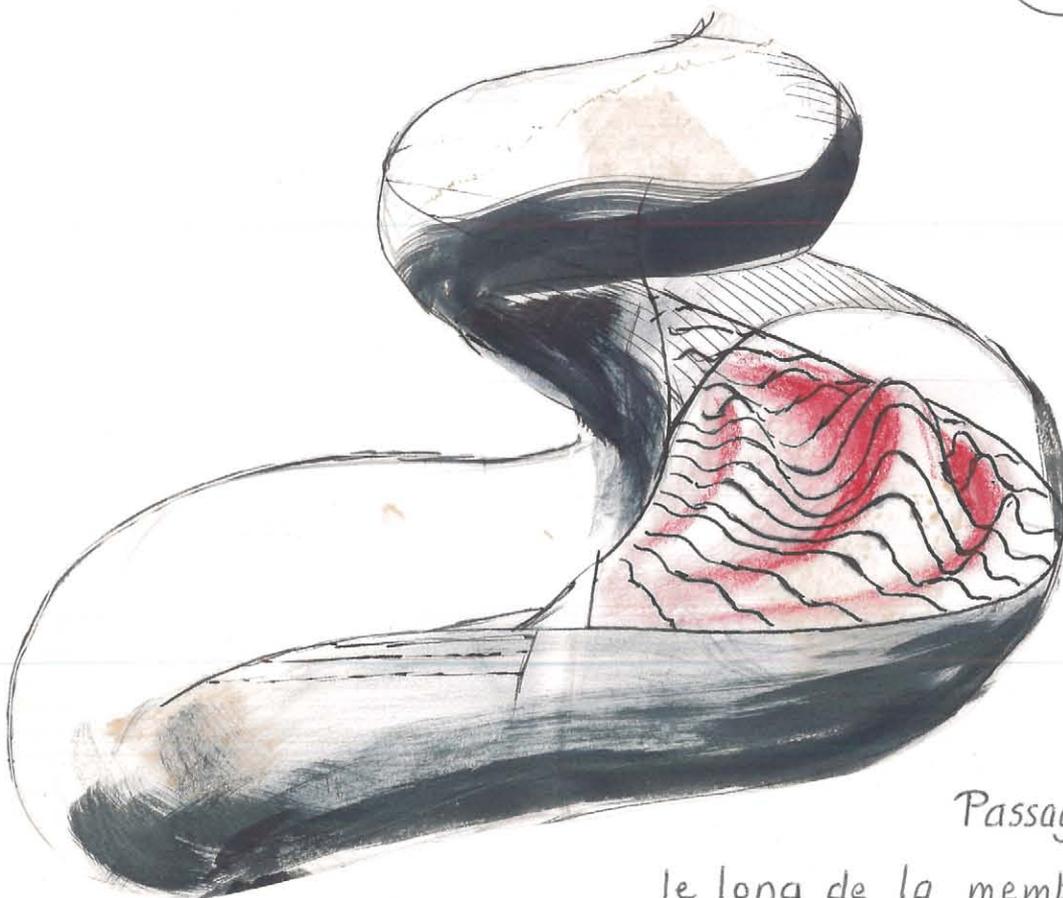


fig4

Passage du "Tone-BURST"  
le long de la membrane cochléaire  
(d'après VON BÉKÉSY)

QUELQUES POINTS IMPORTANTS DE LA  
PHYSIOLOGIE AUDITIVE

par le Dr. LABEYRIE

Quand on parle de physiologie de l'audition, on sous-entend deux domaines très différents. D'une part, le récepteur, de l'autre les centres.

En principe "Tous les phénomènes physiologiques de la sensation doivent être traités au niveau du récepteur périphérique, car, quel que soit le mécanisme par lequel le Système Nerveux Central traite la sensation, il n'y ajoute rien".

Le récepteur est un Transducteur suivi d'un codeur analogique-logique et nous allons montrer dans une première partie comment l'analyse d'un son est ramenée à la description des déformations d'une membrane.

Cependant, tous les problèmes que se posent les musiciens (harmonie, audition absolue....) dépendent de l'analyse de ce message codé.

Cette analyse est effectuée par les centres et nous séparerons schématiquement d'une part une analyse effectuée par des circuits "innés" intervenant plutôt inconsciemment dans le cours de notre comportement : élément que nous nommerons l'ambiance musicale; d'autre part, une analyse dont les critères sont le fruit d'un apprentissage et dans les frontières de laquelle se situe le "langage musical".

L'oreille interne dérive d'un organe évolutivement très ancien. Il était constitué dans ses grands traits chez les premiers poissons. Le principe en est simple (voir fig.1).

Un sac allongé contenant une petite pierre (otolithe) reposant sur des cellules ciliées - des vibrations font mouvoir la pierre par rapport aux cils entraînant la création d'un potentiel électrique dans les cellules ciliées. Ce potentiel est transmis aux nerfs sensoriels.

Au cours de l'évolution, ce système a dû s'adapter aux vibrations aériennes. Il s'est ainsi constitué l'os tympanal, puis la chaîne des osselets, qui servent à transmettre au liquide de l'oreille les vibrations de l'air. Le conduit s'est allongé, enroulé. L'otolithe a été remplacé par une membrane fibreuse : la membrane tectoria qui caresse de la même façon les cils au cours des mouvements de la membrane qui les porte (fig.2).

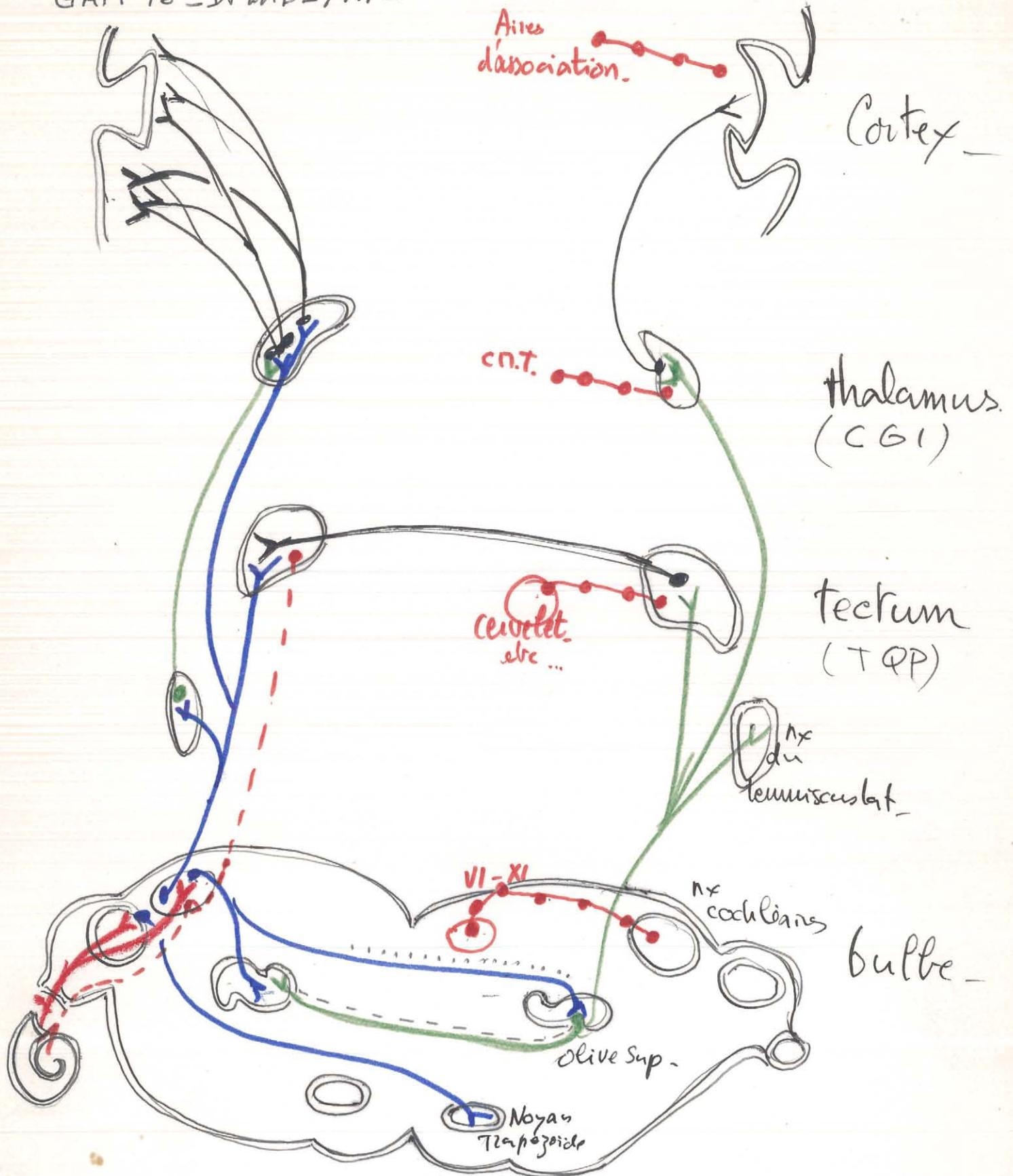
La figure 3 illustre schématiquement le fonctionnement de cet organe tel qu'il est constitué chez l'homme. Une vibration du tympan est transmise par la chaîne des osselets à la fenêtre ovale. Une surpression dans le segment initial déforme les membranes vers le bas (l'hyperpression du segment inférieur est compensée par la dilatation de la membrane de la fenêtre ronde). La déformation de la membrane se propage vers l'extrémité du canal.

C'est à partir de l'analyse des déformations de cette membrane que le système nerveux va analyser le son. Cela dépend essentiellement de ses caractéristiques (Von Bekesy : Experiments on Hearing.) (fig.4 et fig.5)

Les mouvements de la membrane cochléaire se caractérisent comme suit :

...../

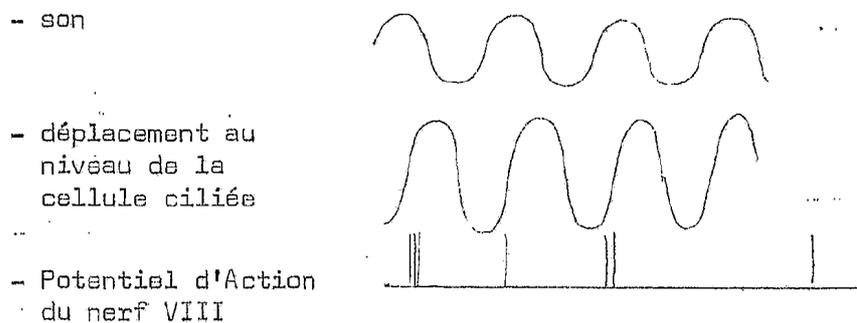
GAM 76 - Dr LABEYRIE



- toute vibration produite par l'étrier se propage le long de la membrane cochléaire.
- au cours de cette propagation, l'amplitude des mouvements passe par un maximum dont la position dépend de la fréquence du son.
- les vibrations de fréquence basse balayent toute la membrane; celles de fréquence élevée (20 000 Hz) ne dépassent pas les premiers millimètres.
- les fréquences différentes s'étalent donc sur la cochlée, de même que des cailloux de différentes grosseurs d'un seau s'étalent quand on le verse sur le sol : les plus gros vont le plus loin.

Mais la position du maximum ne permet pas de discriminer avec précision la fréquence, comme l'aurait voulu la théorie de Helmholtz. La " lecture " des déformations de la membrane cochléaire est effectuée par les cellules ciliées.

- il y a une relation de phase entre le son, le déplacement de la membrane en un point et les potentiels d'action enregistrés sur le nerf auditif.

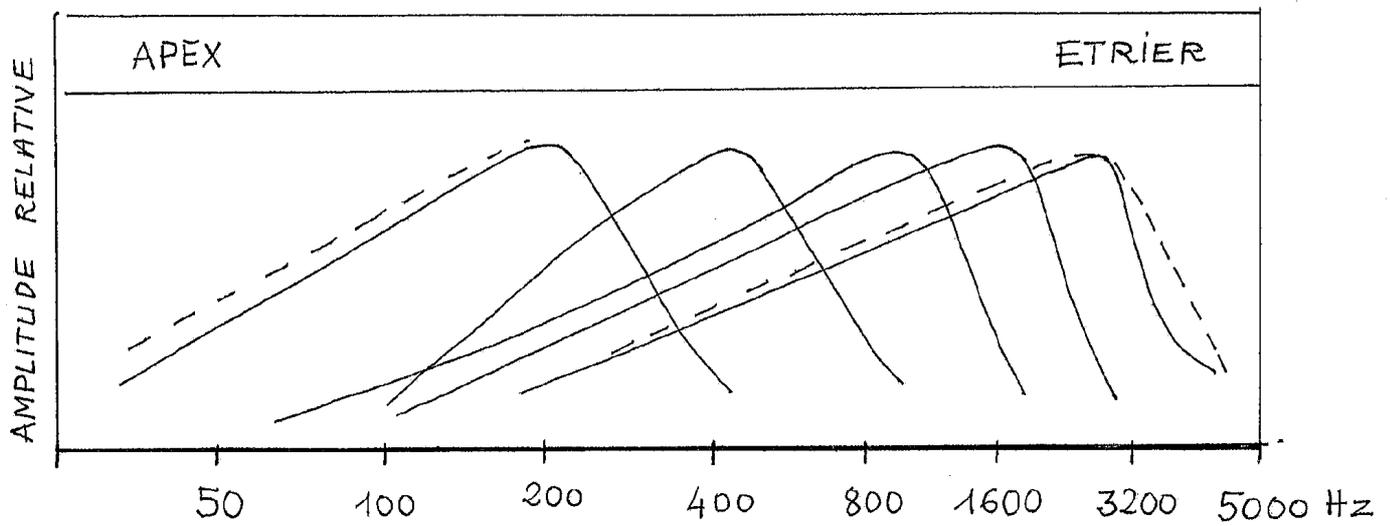


Au total de ces premières données, quelques éléments peuvent être posés.

- La structure du récepteur transmet quasiment tous les éléments du signal.
- Les grandeurs physiques caractéristiques d'un son : Fréquence ( $f$ ), intensité ( $I$ ) timbre, n'ont pas de sens propre au niveau biologique : il n'y a donc pas de nécessité d'analyse séparée au niveau du récepteur. Cependant, les variations  $I(t)$  et  $f(t)$  doivent rester indépendantes au niveau de l'analyse finale (puisque c'est observé dans une large mesure).

Pour que deux variables restent indépendantes il faut et il suffit d'avoir un double système d'analyse du phénomène : On devrait donc trouver un double système de lecture des déformations de la membrane cochléaire.

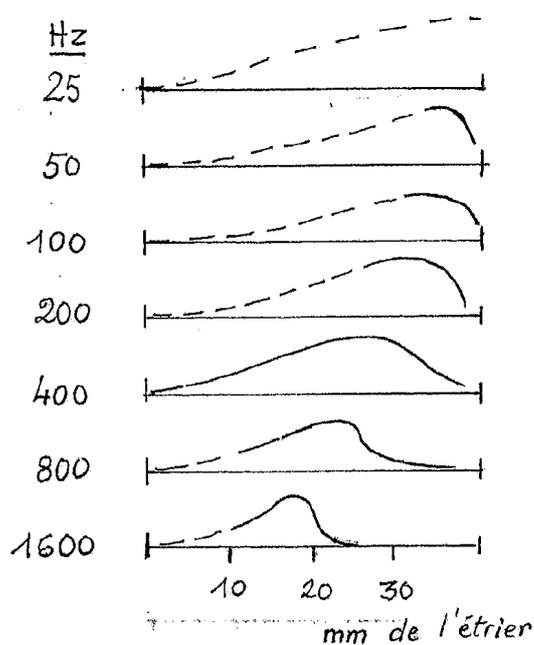
L'organisation des plexus reliant les cellules ciliées est établie de façon particulières : Les cellules externes (trois rangs) sont reliées par des plexus longs dans le sens de la longueur de la membrane : la cellule intègre la somme des excitations sur une certaine distance (or sur cette distance a lieu une certaine discrimination des fréquences), tandis que les plexus internes sont ponctuels : ils analysent les déformations en un point de la membrane (Fig. 2). Les deux voies sont séparées (voir remarque). Un tel système peut analyser avec précision une fréquence donnée mais du point de vue comportementaliste un tel travail n'a pas beaucoup d'importance - par contre, l'analyse des transitoires par un tel système, devrait se révéler fructueuse.



D'après Von BÉKÉSY et ROSENBLITH (1951)  
 (en pointillé : courbe théorique)

Représentation de l'amplitude des mouvements de la membrane basilaire en fonction de sa position le long du limaçon pour différentes fréquences.

fig 5



Au total.

Les éléments caractéristiques d'un son se trouvent presque totalement " représentés " par les déformations de la membrane cochléaire.

- ces déformations sont " lues " par les cellules ciliées.
- les plexus qui relient ces cellules, intégrant de deux façons différentes cette information.

Ce sont les signaux transmis par ces deux sortes de fibres auditives que le cerveau va analyser étape par étape.

Il ne serait donc pas inutile d'exécuter un modèle analogue de ceci dans le but de comprendre comment procède le cerveau.

Quelles sont les étapes de l'analyse du message musical ?

- Anatomiquement, les fibres rattachables à l'audition se regroupent en 4 centres. Le corps trapézoïde est le plus ancien puis vient le tectum qui intègre les phénomènes auditifs à l'"espace " de l'animal, puis le thalamus et enfin le cortex. Parmi le peu d'informations que l'on a à leur sujet, les seuls éléments certains sont les suivants :
- Le corps trapézoïde correspond au cerveau auditif primitif (celui de la grenouille). Une de ses fonctions bien connue est l'analyse de l'origine d'un son qui se ferait par comparaison de la phase des deux sons. La substance réticulée activatrice qui baigne cette zone et en reçoit beaucoup d'afférences peut également s'adapter à des sons rythmés et ainsi les éliminer de la perception des centres supérieurs et ou les transmettre sous forme d'une activation rythmique aux voies motrices efférentes (effet de la musique de marche).

En ce qui concerne les centres supérieurs et en particulier le cortex auditif, les avis sont très partagés. En fait, il semble que nous ne sachions pas lui poser les questions auxquelles il peut répondre. L'image du piano sur l'insula doit être abandonnée de même que le charmant tableau brossé par Delmas à ce sujet. Les qualités perceptrices sont acquises et plus souvent pour des raisons de nécessité plus ou moins conscientes. Les déficits évidents (amusie) sont de cause psychologique si on interroge au hasard des cellules corticales, on en trouve qui ont toutes ces propriétés.

Quelques unes sont sensibles à une seule fréquence (moins de 10 %), d'autres à un bruit précis (cris d'animaux, etc...).

Pour conclure cet essai, deux remarques s'imposent.

La première est d'ordre technique. Tous les résultats concernant le cortex auditif doivent être considérés avec beaucoup de circonspection. La moindre approximation peut causer des erreurs monumentales et conduire à affirmer des faits qui n'ont aucune réalité.

En second, il semble que les études qui ont donné les meilleurs résultats sont celles qui ont été faites en cherchant à comprendre le rôle de l'audition dans le comportement.

Une lettre de Alfred KERN  
Maître Facteur d'Orgues  
à STRASBOURG

---

J'ai bien reçu votre lettre du 16 décembre et vous en remercie.

Comme j'étais grippé, il ne m'a malheureusement pas été possible d'assister à votre séance de travail du 13 décembre et cela est aussi une raison du retard de ma réponse.

Je vais essayer de vous dire comment nous avons appliqué jusqu'à présent les différents tempéraments :

- 1) Orgue de MOLSHEIM : instrument de Jean-André SILBERMANN reconstitué.  
Tempérament décrit par Ignaz BRUDER dans le livre de BORMANN, supposé celui de Jean-André SILBERMANN.  
Ceci a été mis en doute depuis.
- 2) Orgue de ST-LOUIS : instrument neuf, d'esthétique Allemagne du Nord.  
Tempérament Werkmeister II.
- 3) Orgue de CHATENOIS : instrument de Jean-André SILBERMANN reconstitué.  
Tempérament Werkmeister II.
- 4) Orgue de LIXHAUSEN : orgue très ancien, classé Monument historique, qu'on attribue à DUBOIS, mais sans certitude.  
Cet instrument doit être reconstitué.  
Nous nous proposons de faire pour cet instrument le tempérament mésotonique.

Dans l'ensemble des différents tempéraments ont donné de bons résultats.  
Les appréciations sont évidemment toujours très subjectives.

Veuillez croire, Monsieur le Professeur, à l'expression de mes sentiments respectueux et dévoués.

A. KERN.

---