

Serge CORDIER

—

L'ACCORDAGE

DES

INSTRUMENTS A CLAVIER

NOVEMBRE 1974

N°75

G A M

BULLETIN DU GROUPE D'ACOUSTIQUE MUSICALE
UNIVERSITÉ PARIS VI . TOUR 66 . 2 PLACE JUSSIEU . PARIS . 5^e

PREMIÈRE CONFÉRENCE de SERGE CORDIER

Le 8 Novembre 1974

G.A.M. (Groupe d'Acoustique Musicale)

Laboratoire d'Acoustique à l'Université PARIS VI

Dirigé par Émile LEIPP

Introduction de Luc ETIENNE

Rédition 2018
Introduction de Paul DUBUISSON

SOMMAIRE

- **Page 5 : Liste des présents (original)**
- **Page 6 : Introduction à la réédition 2018, par Paul Dubuisson**
- **Page 8 : Introduction, par Luc Etienne**
- **Page 11 : Quelques définitions : partition, battements**
- **Page 13 : *Diagrammes* 1 « Rapidité de la tierce de Pythagore »
2 « Les deux Mi »**
- **Page 16 : *Diagrammes* 3 « Quintes et Octaves »
4 « Quintes et tonalités »**
- **Page 17 : Propriétés des sommes de quintes**
- **Page 18 : Tempéraments**
- **Page 19 : La justesse selon Pythagore et Zarlín**
- **Page 20 : *Diagrammes* 5 « Pythagore et Zarlín »
6 « Echelle chromatique pythagoricienne »**
- **Page 23 : *Diagramme* 7 « Modulation (Zarlín) »**
- **Page 24 : Historique
Diagramme 8 « Accordage pythagoricien »**
- **Page 25 : *Diagramme* 9 « Accordage pythagoricien chromatique »**
- **Page 27 : *Diagramme* 10 « Accordage pythagoricien chromatique » (2)**

- **Page 28 : Tempérament mésotonique**
Diagramme 11 « Tempérament mésotonique »
- **Page 29 : *Diagramme 12* « "Fausseté" des intervalles comparés à ceux de Pythagore »**
- **Page 31 : La gamme bien tempérée**
- **Page 32 : Le Tempérament égal à quintes justes**
- **Page 33 : *Diagramme 13* « Comparaison Gamme traditionnelle / Quintes justes »**
- **Page 34 : *Diagramme 14* « Echelle des Mels »**
- **Page 36 : Marche à Suivre**
- **Page 37 : *Diagramme 15* « Partition du tempérament égal à quintes justes »**
- **Page 39 : Conclusion**
- **Page 40 : *Diagramme 16* « Rapidité dans différents systèmes »**
- **Page 42 : Discussion**

GROUPE D'ACOUSTIQUE MUSICALE
 Laboratoire d'Acoustique
 4 Place Jussieu - Tour N° 66
 5° Etage
 75230 - PARIS CEDEX 05

BULLETIN N° 75

Thème : L'ACCORDAGE DES INSTRUMENTS A CLAVIER

par S. CORDIER

Réunion du 8 Novembre 1974.

M. le Professeur R. SIESTRUNCK, pris par ses obligations professionnelles, et
 M. le Professeur GAUTHIER n'ont pu être des nôtres.

Etaient présents : M. le Professeur BERNARD, Directeur de l'I.U.T. de Mécanique;
 M. LEIPP, Secrétaire général; Melle CASTELLENGO, Secrétaire.

Puis, par ordre d'arrivée :

M. DORGUEILLE (Médecin); M. KERGOMARD (C.N.R.S.); M. BESNAINOU (Technicien, Facteur);
 M. Luc ETIENNE (Professeur); M. CORNILIOS (Etudiant); Mme Hélène GUIRAUD (Musicienne);
 M. Jean-Michel BARDEZ (Professeur, Elève au Conservatoire); M. Jean-Selva RATTINACAN-
 NOU (Elève au Conservatoire de Massy); M. R. LELOUX (Preneur de son RTB); M. DUBEAU
 (Etudiant); M. MULLETTIN; M. TISSOT (Pianiste); M. HARDOUIN (Professeur); M. LE LION-
 NAIS (OULIPO); M. Gilles DERVIEUX (Directeur du Conservatoire de Nîmes); M. BALAY
 (Etudiant); M. ERDOS (Musicien); M. GRONIER (Magistrat); M. IHAB SHAKER (Réalisateur);
 M. LEBOEUF (Professeur); M. CARRE; M. et Mme ROUSSAT (Médecins); M. E.J. SCHWARZ
 (Etudiant); M. J. BOURDIAU (Etudiant); M. CHENAUD (A.F.A.R.P.); M. J.L. MASSON (Etu-
 diant); M. LINDOW (INE); M. POUBLAN (Médecin, Biologiste); M. GROS (E.N. Instituteurs);
 M. GATIGNOL (M.A.); M. GUT (Musicologue); M. DUPARCQ (Directeur de la Revue Musicale);
 M. LEGROS (Ingénieur); Mlle RIALLAND (Etudiante); M. KLEIN (Facteur de pianos); M.
 DUPREY (Architecte); M. SALLEE (Ethnomusicologue); M. BOURGOUIN (Technicien commer-
 cial); M. MILLER (Orthophoniste); Mme BRAN-RICCI (Conservateur du Musée instrumental);
 M. AGNAN (Professeur); Mlle Florence GETREAU (Assistante Conservateur du Musée instru-
 mental); Mlle Cl. CASTAING (Etudiante); Mlle G. NOUFFLARD (Flûtiste); M. M. ROBIN
 (Restaurateur de Forte-pianos); M. J. SOLE (Ingénieur E.S.E.); M. M. SIMAME, M. B.
 MAILLOT (Sté Babolat-Maillet); M. FENUILLAT (Orthophoniste); Dr PAILLERETS; M. J.
 BARDEZ (Professeur de musique); Mlle Fr. LEIPP (Orthophoniste); M. P. CLAVIE; Mlle
 LIGOT; M. GOUT; M. PHILIPPOT (Professeur au Conservatoire); Mme BOREL-MAISONNY
 (Rééducation de la parole); Mme KADRI (Médecin); M. ROUSSAT (Docteur en Médecine).

Etaient excusés :

M. Ch. MAILLOT (Lyon); M. BLONDELET (ARLOD); M. LE ROY; M. MOLES; M. BARJON; Mlle
 S. HUE; M. LEOTHAUD; Mlle E. WEBER; M. FORET; M. CEOEN; M. ANSELM; M. D. MERLET;
 M. FRANCOIS; M. DUPRET; Mme OTTIÉ; M. FORTASSIER; Mme HAIK VANTOURA; M. LEHMANN.

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 : 46 283.

INTRODUCTION À LA RÉÉDITION 2018

par Paul DUBUISSON

En 1974, Serge Cordier donne sa première conférence, invité par Émile Leipp au « G.A.M. », le laboratoire que dirigeait alors le célèbre acousticien à l'université Paris VI, deux années après la découverte du nouveau tempérament à quintes justes. Le nouvel accord va rapidement être connu comme « accord Cordier » : la reconnaissance initiale de Yehudi Menuhin y est bien sûr déterminante, qui permet une première série de démonstrations auprès de musiciens de grand renom, dont les avis quasi unanimes sont très élogieux quant aux qualités musicales de cette invention.

C'est bien d'une invention qu'il s'agit, même si Serge Cordier a découvert la possibilité de conserver les quintes justes en observant et analysant les recommandations de son maître accordeur Simon Debonne : cette invention fut la découverte d'une pratique empirique, en tout cas d'une tendance, réalisée par certains accordeurs parmi les meilleurs, qui se laissent guider par leur oreille – ce fait marque l'importance de cette invention, avant même que le chercheur ne découvre aussi son tempérament « sous l'archet » des musiciens de l'orchestre.

Au point de vue formel, c'est même une invention qu'on peut qualifier de « révolutionnaire », au vu en tout cas des réactions importantes qu'elle a immédiatement suscitées (et qu'elle suscite encore) auprès des accordeurs. En effet l'« accord Cordier » a été rapidement renommé, en tout cas en France, dans le milieu de la profession ; évidemment il ne fallait pas s'attendre, comme le dit d'emblée (1) Serge Cordier, à ce que « les accordeurs se précipitent sur cette méthode pour l'adopter avec enthousiasme »... il s'attendait plutôt à des réactions de méfiance, que son intention n'était certainement pas de provoquer, mais qui effectivement n'ont hélas pas manqué. Malgré tout il fut alors très vite connu dans le métier, pour être ensuite accepté comme pair et ami par d'excellents accordeurs-techniciens (comme Guy Mann ou Jacques Millioz), ses rapports avec l'association professionnelle des accordeurs demeurant cependant compliqués – exclu quand il voulut exercer la formation de jeunes (??) et pourtant encore invité pour des conférences...

Le principe même de l'accord, la justesse des quintes, de **toutes** les quintes, présente vraiment une révolution pour la théorie du tempérament en usage jusqu'alors : celle du tempérament égal basée sur les douze quintes « tempérées », en l'occurrence légèrement raccourcies. Pour les accordeurs, c'est un « dogme » qui s'en trouve là contredit... Pour la théorie et l'histoire du tempérament, c'est aussi une nouveauté de première importance, qui là également contribua rapidement à ce que le nouveau système soit reconnu et enseigné par de très renommés acousticiens et musicologues, comme Émile Leipp ou Serge Gut.

(1) Cf. page 41

Dans cette toute première conférence de Serge Cordier, on trouve déjà toute la cohérence et la clarté de son exposé, sur un problème – le tempérament – ayant suscité jusqu'alors de nombreuses controverses souvent obscures et parfois houleuses. Pour le musicien « de base » - c'est à dire en général pas ou très peu connaisseur de la question – ce texte permet déjà de clairement se représenter pourquoi l'on doit « tempérer » un accord de clavier, quelles ont été les solutions historiques, et quelle est la nouvelle résolution proposée. Ayant eu moi-même à l'époque – j'étais alors jeune étudiant désirant apprendre le métier d'accordeur - la brochure de cette conférence entre les mains, j'y ai trouvé immédiatement les réponses aux questions que je me posais sur cette énigme du tempérament, n'ayant jusqu'alors rien compris aux explications contradictoires que j'avais pu lire dans diverses théories. Et par chance, suivant ensuite l'enseignement direct de Serge Cordier, j'expérimentai alors également sa remarquable pédagogie, dont purent bénéficier aussi de nombreux élèves – en particulier par la suite dans sa classe d'accord et d'acoustique au conservatoire de Montpellier. En effet la clarté de son enseignement découlait directement de la cohérence de ses conceptions, dont le compte-rendu de cette première conférence fut le premier exemple.

Les travaux de ce « chercheur de justesse » hors pair présentent bien sûr une chronologie en différentes étapes, celle-ci étant donc la première. Comme en général tout chercheur d'importance, Serge Cordier évoluera ensuite dans certaines de ses conceptions théoriques et esthétiques – le domaine étudié, la justesse, présente en effet des aspects théoriques que l'on peut décrire objectivement, mais aussi des aspects esthétiques et donc subjectifs. Ainsi dans cette première conférence ne tient-il pas encore compte, dans ses analyses d'acoustique des échelles, d'un problème important qui l'occupera longuement par la suite : l'inharmonicité des cordes, qui modifie en fait sensiblement, au piano en tout cas, les résultats formels de l'accord, ici de l'accord en quintes justes. On note aussi, dans le domaine esthétique, que Cordier proposait alors comme « justesse de référence » la justesse pythagoricienne, une opinion sur laquelle il reviendrait ensuite, renonçant même d'ailleurs à définir une telle justesse de référence, en donnant de plus en plus d'importance à une composante essentielle de la justesse : son aspect culturel. Il aurait été inquiétant qu'il en soit autrement, que ses travaux n'aient pas la forme « Work in progress », cela aurait alors dénoté un esprit dogmatique et fermé, à l'inverse de celui de Serge Cordier. Cependant, quant à la pratique de l'accord, et puisque les résultats sonores furent d'emblée salués comme magnifiques, là il persévérerait exactement dans la « première mouture » de son accord en quintes justes, essayant seulement parfois de petits ajustements suggérés par son esprit scrupuleux. C'était là aussi la marque et l'authenticité de son travail, à savoir que le théoricien doit s'incliner devant le praticien accordeur ou musicien : et lui-même était les trois à la fois ! c'est sans doute cela qui lui a permis de présenter en 1974, soit seulement deux ans après sa découverte, dans un laboratoire d'acoustique très renommé, cette première et néanmoins remarquable conférence.

L'ACCORDAGE DES INSTRUMENTS À CLAVIER

par Serge CORDIER

I - INTRODUCTION par Luc ETIENNE

- De do dièse ou ré bémol, quelle est la note la plus haute ?

Question bien simple en apparence.

- « C'est do dièse ! », affirment la plupart des musiciens, bien assurés de ce que leur dicte leur instinct.

- « Pas du tout, c'est ré bémol ! », répondent les physiciens attardés qui s'appuient depuis quatre siècles sur les lois de la résonance naturelle.

Et dans cette antique dispute il est bien démontré maintenant, depuis les travaux de VAN ESBROECK et MONFORT publiés en 1946, que ce sont pour une fois les hommes de science qui ont eu tort.

Ils ont eu tort parce qu'ils ont simplifié exagérément un problème très complexe, en particulier en assimilant - sans le dire, bien sûr - l'oreille humaine à un appareil de physique à mesurer les fréquences. L'oreille humaine, c'est beaucoup plus compliqué que cela, d'autant plus que c'est assorti d'un cerveau.

Quant aux musiciens, ils ont eu tort aussi. Tort de se laisser impressionner par l'autorité des scientifiques. Tout se passe comme s'ils avaient eu un complexe d'infériorité, alors que, tout de même, la question de la justesse, c'est une question qui regarde d'abord les musiciens.

Tout remonte à ZARLIN, qui était, paraît-il, un compositeur médiocre : « Ses compositions ne valaient pas ses théories », nous dit le dictionnaire. Nous aurions tendance maintenant, à la suite des travaux de VAN ESBROECK et MONFORT, à penser que ses théories ne valaient pas beaucoup mieux que ses compositions. Elles ont d'ailleurs été contestées, dès leur naissance ou presque, par Vincenzo GALILEI, père du grand GALILEE.

- « Mais, s'exclame le pianiste du modèle courant, do dièse et ré bémol , c'est la même chose, puisque je les joue avec la même touche ! »

Et en effet, si on voulait sur le piano distinguer les notes enharmoniques, il faudrait avoir : do *b*, do, do # ; ré *b*, ré, ré # ; etc... et il faudrait donc, par octave, trois fois autant de touches qu'il y a de notes dans la gamme diatonique, soit $3 \times 7 = 21$ touches par octave, et ce serait beaucoup demander au malheureux pianiste, lequel, doué ou non, ne possède jamais que dix doigts !

(A vrai dire de tels claviers ont été construits. On en a même construit de plus raffinés, de 37, de 53 touches par octave par exemple. J'ai lu dans la notice d'un disque consacré au grand GESUALDO qu'il y avait à la fin du XVI^{ème} siècle à FERRARE un archicembalo qui possédait 37 notes par octave... mais seul l'organiste de la cour savait en jouer convenablement.)

Ainsi, c'est faute de pouvoir faire autrement que le piano identifie do # et ré b. A cette contrainte s'ajoute la nécessité de pouvoir jouer dans toutes les tonalités, ce qui complique encore le problème...

Toutes les façons d'accorder les pianos ne sont donc que des compromis, des cotes mal taillées, des pis-aller ; aucune n'est théoriquement satisfaisante. Et pourtant le problème de l'accordage est d'une importance pratique considérable, car c'est de sa qualité que dépend pour une grande part - beaucoup plus grande qu'on ne croit communément - la sonorité de l'instrument : même si sa fausseté n'est pas évidente, un piano médiocrement accordé sonne mal, il ne donne pas le maximum de ses qualités. Or tous les artistes savent qu'il est de plus en plus difficile de trouver des accordeurs réellement compétents.

Cela se comprend, d'ailleurs, pour diverses raisons : c'est un métier très difficile, qui demande un long apprentissage et des dons certains, et qui n'est pas rétribué comme il devrait l'être. Il semble qu'il y aurait un effort à faire pour organiser et réglementer cette profession, afin qu'elle bénéficie de la considération et des avantages matériels qui lui sont dus. Monsieur CHENAUD, ici présent, Président de la Société des Accordeurs de France, le sait mieux que personne.

A cause de ses conséquences sur la sonorité, cette pénurie d'accordeurs est beaucoup plus fâcheuse qu'on ne l'imagine généralement. Pour y remédier, on a bien essayé des méthodes dites scientifiques, utilisant des appareils électroniques qui devaient donner un accordage « théoriquement parfait », c'est-à-dire rigoureusement conforme au tempérament qui divise l'octave juste en 12 parties égales. Hélas ! ces procédés sont fondés sur des vues beaucoup trop simples au sujet de questions qui sont en réalité fort complexes, et leurs résultats sont si décevants qu'aucun vrai musicien ne saurait s'en contenter.

Rien d'étonnant à cela : l'une des constantes de la pensée de notre bon maître Emile LEIPP, c'est que quand on veut faire de l'acoustique musicale, il faut commencer par observer ce que font les meilleurs praticiens dans tous les domaines : les compositeurs, les interprètes, les facteurs... et les accordeurs. Lors du « GAM du GAM », en Octobre 1970, il s'exprimait en ces termes :

« Les facteurs d'instruments et les musiciens exploitent depuis des millénaires les propriétés du système auditif humain, qu'ils connaissent donc très bien empiriquement. Ces propriétés sont sous-jacentes dans tout ce qu'ils font : à nous de les mettre en lumière en étudiant le faire des praticiens ». « Il n'est d'autre méthode, répète-t-il encore ailleurs, que d'étudier d'abord de très près ce que font les musiciens traditionnels, où rien n'est gratuit ».

C'est précisément dans cet esprit d'humilité que Serge CORDIER a abordé le problème de l'accordage. Il a observé ce que font les très bons accordeurs, et bien loin de songer à leur donner des leçons, il a cherché à s'expliquer leur façon de procéder et à justifier ce qu'ils font en réalité. Car comme l'a encore déclaré Emile LEIPP, les accordeurs de pianos n'accordent en fait « pas du tout tempéré ». « J'ai fait beaucoup de relevés, a-t-il ajouté, il y a des écarts jusqu'à un demi-ton dans le grave et le suraigu ».

Après avoir longuement réfléchi sur les anomalies apparentes du comportement des accordeurs, Serge CORDIER a eu une de ces idées simples qui sont le plus souvent le fruit d'un longue patience, et il a découvert une méthode dont le principe est totalement différent en apparence de celui des méthodes classiques - puisque, par exemple, sa partition, au lieu d'avoir 12 notes, en a 7 - mais qui donne des résultats pratiquement identiques, non seulement à l'audition, mais même en faisant un relevé aussi précis que possible. Ce diagramme a été fait avant-hier

par les soins de Mademoiselle CASTELLENGO sur un piano du laboratoire accordé par Serge CORDIER. Il montre l'identité quasi absolue, aux erreurs d'expérience près, des résultats de sa méthode et de ceux qu'obtiennent en fait les très bons accordeurs.

Serge CORDIER compte beaucoup sur le débat qui suivra son exposé. Il espère que les accordeurs présents dans la salle, en posant des questions, en présentant des objections, en faisant part des observations qu'ils ont faites chacun de son côté, mettront leur expérience au service du problème de l'accordage des instruments à clavier, problème difficile, complexe, mais d'autant plus passionnant.

Il va donc nous parler de l'accordage à travers les âges, et il présentera ensuite à vos critiques la méthode dont il est l'auteur.

Luc ETIENNE

Avant de donner la parole à Serge CORDIER, Emile LEIPP signale que Monsieur Oswald SASSO, président de l'Union Européenne des Associations de facteurs de pianos, lui a écrit récemment pour lui demander s'il existait un ouvrage traitant de l'accordage des instruments de musique. Il pose la question à Monsieur CHENAUD, qui n'en connaît pas. Les praticiens ne parlant pas beaucoup de leur métier et écrivant encore moins, Emile LEIPP remercie Serge CORDIER d'avoir accepté de traiter ce sujet.

Un assistant intervient pour signaler l'existence d'un petit manuel intitulé « Accordeur de pianos », publié autrefois par les éditions RORET, exposant les théories d'un certain Monsieur FOURNEAU et posant sérieusement le problème de l'accordage par le contrôle des battements. Ouvrage malheureusement épuisé, qu'il faut chercher dans les bibliothèques. ⁽¹⁾

* * * * *

(1) *L'Encyclopédie de la Musique de LAVIGNAC, dans son chapitre sur la facture du piano, signé BLONDEL, consacre un rapide paragraphe à l'accordage.*

CONFÉRENCE de Serge CORDIER

Le problème de l'accordage des instruments à clavier contient celui du tempérament. Mais le problème du tempérament a déjà été traité ici même lors du GAM de Mai 1972, avec beaucoup de clarté et de compétence, par Monsieur LEGROS.....

E. LEIPP..... qui est ici, vous l'avez vu.

S. CORDIER Je n'aurai donc pas à répéter dans le détail ce qu'a dit Monsieur LEGROS, mais je me contenterai de donner une optique légèrement différente, qui tient essentiellement à ce que je vois les choses en tant qu'accordeur plutôt qu'en tant que physicien, puisque je suis moi-même accordeur.

Mon exposé comprendra deux parties : la première sera consacrée à un bref historique de la question, la seconde à une nouvelle méthode d'accordage.

QUELQUES DÉFINITIONS

Avant d'aborder les problèmes de l'accordage des claviers quels qu'ils soient, il est bon de définir quelques termes utilisés par les accordeurs et dont ils se servent continuellement.

PARTITION

Pour s'assurer une base solide à partir de laquelle il soit possible d'accorder facilement toutes les autres notes, les accordeurs traditionnels commencent par prendre une octave du médium, c'est-à-dire située au milieu du clavier, et la divisent avec le plus grand soin en 12 parties (égales ou inégales selon le tempérament auquel on a affaire). C'est ce qu'ils appellent faire la partition. Le mot partition a donc ici le sens de partage. De la qualité de la partition dépend tout le reste de l'accordage. C'est pourquoi les accordeurs sérieux passent beaucoup plus de temps à l'accordage des notes de la partition qu'à celui des autres notes.

BATTEMENTS

Rappelons le phénomène bien connu des battements : c'est la fluctuation périodique d'intensité qui se produit quand deux sons musicaux de fréquences voisines sont émis simultanément. La fréquence des battements est la différence des fréquences des deux sons. Les accordeurs n'utilisent d'ailleurs pas le terme de fréquence, mais celui de rapidité, qui désigne la fréquence des battements.

Du point de vue de l'accordage nous distinguerons trois espèces de battements.

A) BATTEMENTS ENTRE FONDAMENTAUX

Considérons deux diapasons, le premier vibrant à 440 Hz, le second à 441 Hz. si nous les faisons entendre ensemble, il se produira un son de hauteur moyenne entre les deux la, animé de battements de fréquence : $441 - 440 = 1$ Hz. La rapidité sera de 1 battement par seconde.

Ce genre de battements entre deux sons fondamentaux n'est utilisé par les accordeurs que pour mettre à l'unisson les trois cordes d'une note de piano. C'est-à-dire qu'on cherche finalement, non pas à créer, mais à éliminer ce genre de battements pour obtenir de beaux unissons. Ils ne sont pas, en principe, utilisés par les musiciens, sauf dans certains jeux de l'orgue ou de l'harmonium (voix céleste, unda maris) et je pense que leur qualité esthétique peut être discutée.

B) BATTEMENTS ENTRE LE FONDAMENTAL D'UNE NOTE ET UN HARMONIQUE D'UNE AUTRE NOTE

Les accordeurs attachent beaucoup plus d'intérêt à ces battements qu'à ceux de l'espèce précédente.

Etudions par exemple les battements qui se produisent quand on fait entendre simultanément le do_3 (**fig.1, a**) et le mi_3 à partir de ce même do_3 en enchaînant quatre quintes successives ascendantes : do sol, sol ré, ré la, la mi (**fig.1, b**).

Le 5ème harmonique de do_3 (**fig.1, a**) est lui aussi un mi_5 , mais pas exactement le même que celui de la figure (**1, b**). Par suite, quand on fera entendre simultanément le do_3 (**fig.1, a**) et le mi_5 (**fig.1, b**), les deux mi_5 vibreront à des fréquences voisines et produiront des battements.

La fréquence n de ces battements est facile à calculer. Soient $N1$ la fréquence de do_3 , $N2$ celle du mi_5 de la fig.(**1, a**), $N'2$ celle du mi_5 de la fig.(**1, b**). On a :

$$\begin{array}{l} n = N'2 - N2 \quad \} \\ N'2 = \left(\frac{3}{2}\right)^4 N1 \quad \} \rightarrow n = \left(\frac{3}{2}\right)^4 N1 - 5 N1 = \frac{81}{16} N1 - \frac{80}{16} N1 = \frac{1}{16} N1 \\ N2 = 5 N1 \quad \} \end{array}$$

$$n = \frac{N1}{16}$$

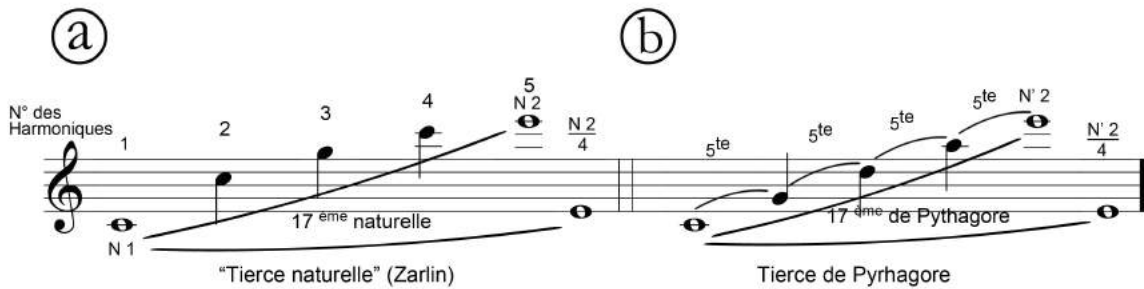
Si, pour fixer les idées, nous supposons que le do_3 en question a une fréquence $N1 = 260$, la note située à quatre quintes justes au-dessus battra avec lui à une fréquence :

$$n = \frac{260}{16} \approx 16$$

fig. 1

Calcul de la rapidité de la Tierce de Pythagore

"Rapidité" d'un intervalle = fréquence de ses battements



$$n = N' 2 - n 2 = \left(\frac{3}{2}\right)^4 N 1 - 5 N 1 = \left(\frac{81}{16}\right) N 1 - \left(\frac{80}{16}\right) N 1$$

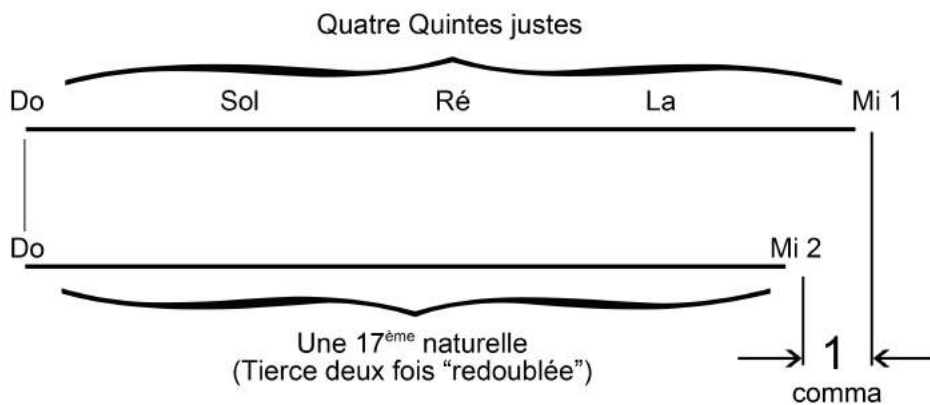
$$n = \frac{N 1}{16}$$

$$N \text{ Ut } 3 = 260 \text{ hz}$$

$$\text{Donc } n \text{ Ut } 3 \text{ Mi } 3 = \frac{260}{16} \approx 16$$

fig. 2

Les deux MI



$$\frac{N \text{ Mi } 1}{N \text{ Mi } 2} = \frac{81}{80}$$

A la hauteur de do_3 , qui n'est pas très élevée, cette 17^{ème} pythagoricienne $do_3 mi_5$ va déjà vibrer très rapidement, bien que l'intervalle ne soit pas très grand entre les notes de fréquence $N/2$ et $N/2$, puisqu'il est seulement de $81/80$, c'est-à-dire d'1 comma. Voilà donc un battement très audible, c'est certainement l'un des plus faciles à entendre sur le piano.

Ce n'est pas par hasard que j'ai choisi d'étudier les battements produits par une 17^{ème}, c'est-à-dire par une tierce deux fois «redoublée», mais parce que les 17^{èmes}, de même que les tierces et les dixièmes, jouent un très grand rôle dans l'accordage des pianos.

C) BATTEMENTS ENTRE HARMONIQUES

Dans cette troisième espèce, les battements se produisent, non plus entre une note et un harmonique d'une autre note, mais entre deux harmoniques de deux notes différentes.

Si, par exemple, je descends de deux octaves justes le mi_5 de la figure (1, b) j'obtiens un mi_3 dont ce mi_5 est le 4^{ème} harmonique. Par conséquent quand nous jouons sous la forme harmonique, c'est-à-dire simultanément, la tierce $do_3 mi_3$, nous entendons des battements qui se produisent en réalité entre les deux mi_5 : l'un, 5^{ème} harmonique de do_3 (**fig. 1, a**), l'autre, 4^{ème} harmonique de mi_3 (**fig.1, b**). Ce sont donc exactement les mêmes que ceux que nous avons étudiés au paragraphe B entre le do_3 (**fig.1, a**) et le mi_5 (**fig.1, b**). Les accordeurs diront que, si l'intervalle $mi_3 mi_5$ est égal à deux octaves justes, la rapidité de la tierce $do_3 mi_3$ est égale à celle de la 17^{ème} $do_3 mi_5$ ⁽¹⁾ que nous avons calculée et qui est égale à 16.

Vous avez pu vous rendre compte qu'une toute petite différence de fréquence entraînait des battements considérables. Evidemment, si nous faisons entendre un do , et un mi qui est à la même hauteur que le 5^{ème} harmonique de ce do , nous n'aurons pas de battements, puisque le mi que nous ferons entendre coïncidera avec le 5^{ème} harmonique (**fig. 1, a**). L'intervalle est dit naturel quand il est dépourvu de tout battement.

Entre le mi_5 de la figure (1, a) et le mi_5 de la figure (1, b), il y a une différence de l'ordre de 1 comma ; cela suffit pour que la tierce $do_3 mi_3$ se mette à battre 16 fois à la seconde ce qui est considérable.

(1) Les accordeurs vont même jusqu'à dire, dans leur langage, que la tierce est égale à la 17^{ème}, ce qui laisse leurs interlocuteurs pantois quand ils ne sont pas prévenus.

Les battements sont donc très utiles pour les accordeurs parce qu'ils permettent de mesurer avec une acuité extrême de très petites différences. En effet si la fréquence d'une note augmente d'1 Hz, la fréquence des battements de la tierce dont elle est la basse variera, puisqu'il s'agit d'un 5^{ème} harmonique, de 5 vibrations par seconde. Le système des battements est donc un véritable vernier pour les accordeurs. Il permet d'apprécier certainement quelque chose comme le $\frac{1}{2}$ savart (c'est-à-dire 1/50^e de demi-ton), voire le cent (c'est à dire 1/100^e de demi-ton).

Les intervalles utilisés par les accordeurs pour obtenir cette précision sont surtout les tierces et les sixtes, car les quintes battent beaucoup plus lentement, et il est souvent difficile de distinguer des battements de quinte des fluctuations produites par une corde «fausse» (c'est-à-dire d'une corde qui à elle seule, sans qu'il lui soit adjoint une seconde corde, émet des fluctuations qui, à l'oreille, ressemblent à des battements). Ces fluctuations sont toujours lentes, en général inférieures à 4 Hz ; or les quartes et les quintes donnent de tels battements, ce qui crée souvent une difficulté.

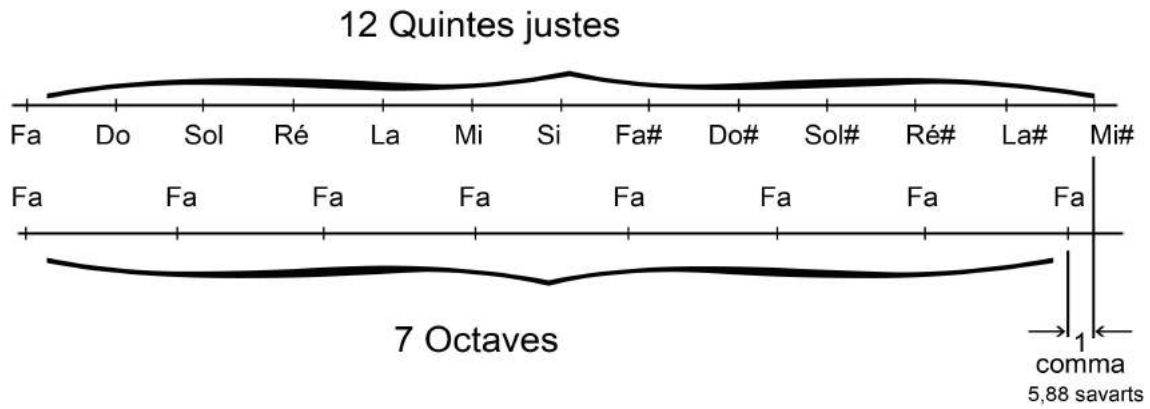
J'ajoute que les battements ne sont pas seulement un phénomène utile à l'accordeur parce qu'il augmente la précision de l'accordage, c'est un phénomène auquel il attache une importance esthétique. Il parle d'intervalles «qui chantent», et il s'efforce d'obtenir des sixtes et des tierces, des dixièmes et des dix-septièmes qui chantent bien, en particulier dans le grave.

Les battements utilisés par les accordeurs sont surtout ceux qui sont issus du 5^{ème} harmonique (3^{ce}, 10^{ème}, 17^{ème}), parce que pour qu'un battement soit bien perceptible il faut que sa fréquence soit supérieure à 4 et inférieure à 20. Au delà on distingue quelque chose, bien sûr, mais mal. En deçà il peut y avoir des confusions, comme je vous l'ai dit, et on entend mal parce que les écarts entre les deux notes battantes sont trop petits.

Le plus audible des battements est celui de la 17^{ème} parce qu'il a la qualité d'être rapide dans le tempérament égal, et aussi parce qu'il fait vibrer une note avec l'harmonique d'une autre note, ce qui donne des battements beaucoup plus puissants que ceux qui se produisent entre deux harmoniques. D'autre part, plus on s'éloigne dans la hiérarchie des harmoniques, moins on entend les battements. Il est très difficile d'entendre des battements qui se produisent entre le 7^{ème} et le 9^{ème}, voire le 11^{ème} harmonique. Même pour l'accordeur.

* * * * *

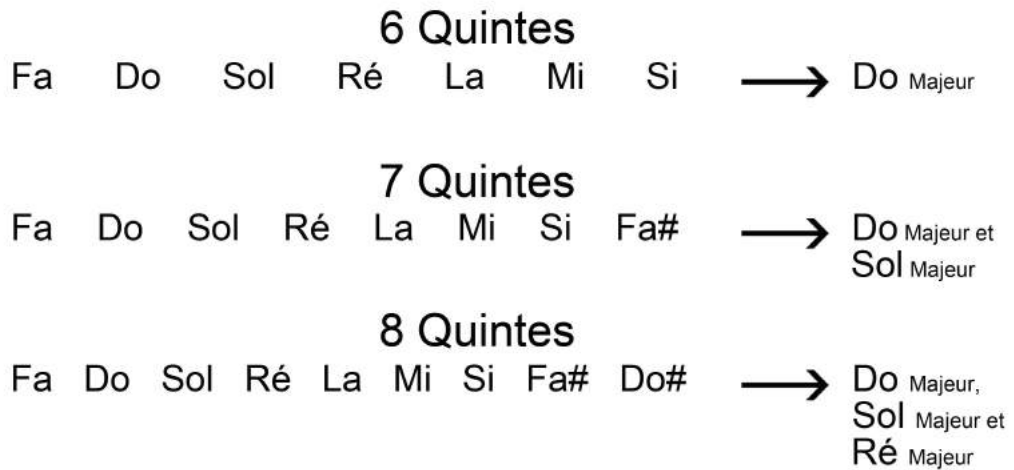
fig. 3



$$\left(\frac{3}{2}\right)^{12} = 129,746$$

$$2^7 = 128$$

fig. 4



Etc.

n Quintes → (n - 5) tonalités

PROPRIÉTÉS DES SOMMES DE QUINTES

Avant de passer aux différents tempéraments qui se sont succédés sur les claviers, il est bon de parler de certaines propriétés des sommes de quintes.

Si, à une note fondamentale, on superpose 4 quintes successives (**fig. 2**) on obtient une note qui n'est pas à la hauteur du 5^{ème} harmonique de cette fondamentale, mais un peu au dessus. C'est très gênant pour différentes raisons, et c'est pour cela qu'il y a depuis des siècles des polémiques entre les acousticiens, les musiciens, les physiciens ... Tout serait bien mieux si quatre quintes donnaient l'harmonique juste. Mais le Créateur ne l'a pas voulu ...

La 17^{ème} do₃ mi₅ (**fig. 1,b**) est appelée 17^{ème} de PYTHAGORE, la 17^{ème} qui correspond au 5^{ème} harmonique (**fig. 1,a**) est appelée 17^{ème} naturelle, elle ne bat pas. Entre les deux : 1 comma (intervalle exprimé en rapport de fréquence : 81/80). Je précise que ce comma est appelé comma Zarlinien. Par la suite je simplifierai parfois le langage en disant seulement un comma, et non pas un comma Zarlinien ou un comma Pythagoricien, parce que leur différence est minime et inférieure à ½ savart, que nous ne pouvons pas apprécier à l'oreille. Il existe il est vrai d'autres commas très différents de ceux-ci, mais il n'en sera pas question ici.

Une autre propriété concerne une somme de 12 quintes justes (**fig. 3**) ; là encore ça ne tombe pas juste. Décidément vous voyez que le Créateur a curieusement fait les choses ⁽¹⁾ ! Car ce mi# n'est pas égal au fa, il est à peine supérieur, encore un comma ! Et ce comma est pratiquement le même que celui que nous avons trouvé tout à l'heure

$$12 \text{ quintes} = 7 \text{ octaves} + 1 \text{ comma}$$

$$\left(\frac{3}{2} \right)^{12} = 129,746 \dots$$

$$2^7 = 128$$

Le nouveau comma est donc égal à $\frac{129,746}{128} = 1,0136 \dots$

Il est appelé comma Pythagoricien, et il est peu différent du comma Zarlinien que nous avons vu tout à l'heure (81/80) = 1,0125 .

(1) *Tout se passe donc comme si le Tout-Puissant, quelque grand que puisse être le souci d'harmonie universelle que nous lui prêtons, s'était trouvé impuissant à modifier des réalités mathématiques préétablies, comme par exemple $\frac{3}{2}^{12} \neq 2^7$. Mais Raymond QUENEAU nous suggère une autre hypothèse : Le Créateur n'aimerait pas le piano. . .*

Voyons maintenant une autre propriété des quintes (**fig.4**). (Cette fois il ne s'agit pas nécessairement de quintes justes, puisque dans la gamme bien tempérée traditionnelle, par exemple, les quintes sont légèrement inférieures à la quinte juste.)

Il suffit de 6 quintes pour avoir les notes d'une tonalité. Par exemple :

fa do sol ré la mi si
nous fournit toutes les notes de la gamme de do.

Si nous prenons une 7^{ème} quinte si fa# nous trouvons deux tonalités possibles : do et sol.

De même , lorsqu'on dispose de n quintes, on dispose de n - 5 tonalités.

TEMPÉRAMENTS

Ceci étant dit, je voudrais essayer d'y aller moi aussi de ma petite définition du tempérament ; j'en ai lu énormément dans le bulletin du GAM de Mai 1972. Je pense que la mienne n'est pas plus valable que les autres, mais je vais vous la donner tout de même.

" Tempérer un instrument, c'est essayer, avec un nombre de notes limité - en général 12 par octave - de se rapprocher au maximum de la justesse idéale telle qu'elle ressort du chant, ou du jeu des instrumentistes qui ne sont pas limités par le nombre de notes. (Dans le cas des cordes, par exemple, les exécutants sont libres de leur fréquence) . "

On peut évidemment se demander pourquoi se sont succédés sur les claviers, cinq ou six tempéraments différents - et encore, en se bornant aux principaux !

Pourquoi ces tempéraments ont-ils varié ? C'est parce que, selon les époques, on s'est fait des idées différentes de la justesse idéale.

Il y a une autre raison, c'est que l'écriture musicale a évolué. Par exemple l'introduction de plus en plus grande des modulations dans la musique a obligé à abandonner les tempéraments qui permettaient seulement de jouer dans quelques tonalités. Il va donc y avoir deux pressions sur l'évolution du tempérament : une influence due aux théoriciens, aux physiciens, qui ont une opinion sur ce que font les instrumentistes à cordes ; les musiciens, eux, n'en ont pas (maintenant ils commencent à en avoir une, mais autrefois ils manquaient de chiffres, ils manquaient de connaissances acoustiques, et c'était une faille, à coup sûr). Donc ce sont les théoriciens, mathématiciens et physiciens, qui vont discuter de la façon dont jouent les instrumentistes et imposer leur façon de voir dans l'accordage des claviers. Mais il va y avoir d'autre part chez les musiciens une tendance à dire leur mot. Car si on présente un tempérament qui bloque l'inspiration musicale, comme le tempérament mésotonique par exemple, que nous verrons plus loin, à un certain moment les musiciens se rebiffent. Ils disent : ça ne peut plus aller, on ne peut pas moduler, un ré# ne peut pas servir de mi b, je ne peux rien faire, je ne peux pas écrire comme pour les

cordes, et des gens comme BACH et RAMEAU, qui ont pratiqué des tempéraments restrictifs, prennent ouvertement position à un certain moment de leur existence pour la gamme bien tempérée, qui permet de jouer dans tous les tons. Il y a donc une espèce de conflit entre les physiciens d'une part, et le jeu musical vivant d'autre part, conflit qui engendre une mouvance de tempérament. On pouvait penser que cette mouvance était justifiée tant qu'on avait pas de statistiques justes sur ce que faisaient les instrumentistes à cordes ou les chanteurs, et on conçoit très bien qu'on ait pu hésiter. Maintenant nous avons à notre disposition des statistiques, comme nous le verrons plus loin.

LA JUSTESSE SELON PYTHAGORE ET SELON ZARLIN

Mais auparavant, pour comprendre ce qui s'est passé, je vais donner rapidement les deux définitions de justesse idéale qui se sont succédées dans le temps.

La plus antique est la justesse pythagoricienne (**fig. 5**). Si on superpose 6 quintes justes : fa do sol ré la mi si, et si on ramène par octaves justes toutes ces notes à l'intérieur d'une même octave, on obtient la gamme de PYTHAGORE. Cette gamme est très symétrique. Tous les tons valent 9 commas, et le demi-ton diatonique 4 commas. C'était certainement la gamme du Moyen-Age, et elle a sans doute été courante jusqu'au XVI ème siècle.

C'est au XVI ème siècle qu'apparaît une autre théorie, celle de ZARLIN. On découvre à cette époque les lois de la résonance, c'est-à-dire les harmoniques. On va vouloir que tous les intervalles qu'on fera avec la tonique de départ ne battent pas, c'es-à-dire qu'ils aient tous des harmoniques communs. C'est la quinte juste et la tierce «naturelle» de ZARLIN, quinte et tierce sans battements, qui vont servir de base à la construction de la gamme de ZARLIN.

La théorie la plus simple de la gamme de ZARLIN, c'est celle qu'on trouve dans les traités de théorie musicale, celle des accords générateurs. Je vais la rappeler brièvement.

Si on prend la tonique do, sol à la 5te supérieure de cette tonique, et fa à la 5te grave de la tonique, et si on les reporte à l'intérieur de la même octave, si, ensuite, on construit sur ces notes trois accords parfaits :

sol	do	ré
mi	la	si
<u>do</u>	<u>fa</u>	<u>sol</u>

en prenant soin que la 5te soit juste, et que le mi soit un mi «naturel» de ZARLIN ; si, enfin, on reporte toutes les notes obtenues dans une même octave, on obtient les 8 notes de la gamme de ZARLIN (**fig. 5**). Dans cette gamme aucun intervalle ne bat. Mais l'échelonnement est tout différent de celui de la gamme de PYTHAGORE ; il y a deux sortes de tons, l'un de 9 commas, l'autre de 8 ; puis un ½ ton diatonique qui est grand, puis de nouveau une alternance irrégulière de tons, puis un ½ ton égal au précédent. Il y a donc deux sortes de tons, l'un dit majeur et l'autre dit mineur, et le ½ ton diatonique est nettement plus grand que dans le système de PYTHAGORE.

Voilà donc la conception de la justesse qui a vu le jour au XVI^{ème} siècle et qui a été adoptée presque immédiatement par les grands mathématiciens et physiciens, et par ceux qui ont suivi : DESCARTES, LEIBNIZ ... Elle a donc été accréditée par des savants qui faisaient autorité, et elle a, pour cette raison, beaucoup influencé la musique.

Quelle est donc la bonne justesse ? Car ce n'est pas du tout pareil, vous l'entendrez tout à l'heure dans l'exemple musical. Il y a des gens qui ont voulu minimiser, en disant : « Après tout, ce comma, ça n'a pas d'importance ». Mais non, ce n'est pas du tout pareil, quand ce ne serait que pour les battements : dans un cas l'intervalle do mi ne bat pas, dans l'autre, do mi bat à 16. A l'oreille l'impression est fort différente !

Les physiciens du XVI^{ème} siècle n'avaient pas la possibilité de faire des mesures statistiques. Mais nous l'avons maintenant, et ce travail a été fait fort sérieusement, avec des quantités de solistes, avec un millier de personnes, d'auditeurs musicalement doués il faut dire, pour essayer de savoir quelle était la vérité, et comment, du moins actuellement, entendaient la majorité des gens, en comparant ZARLIN et PYTHAGORE. Les résultats ont été exposés dans un ouvrage de deux savants belges, Guy VAN ESBROECK et Franz MONFORT, « Qu'est-ce que jouer juste ? », publié aux Editions Lumière – Bruxelles 1946.

E. LEIPP : Je rappelle que VAN ESBROECK a fait la conférence du premier G.A.M.

S. CORDIER : J'insiste sur le fait que leur démarche est totalement justifiée : le problème de la justesse n'est pas un problème d'opinion, comme on le croyait au XVII^{ème} ou au XVIII^{ème} siècle. C'est un problème de statistique. La justesse idéale exige une certaine humilité du physicien devant le phénomène musical. Il ne doit pas dire par « a priori » mathématique : la justesse, c'est ceci. Il doit faire des quantités d'expériences et d'observations, un peu comme un naturaliste se penche sur une fleur.

Voici donc les conclusions de Van ESBROECK et MONFORT, statistiques portant, je le rappelle sur plus d'un millier d'auditeurs qui n'étaient pas des « hommes de la rue » (car ces derniers n'auraient certainement pas eu d'opinion).

« La conclusion de ces expériences est formelle, et elle fut, pour nous-même, inattendue : la gamme de notre musique harmonique n'est pas celle des traités de Physique. C'est celle de PYTHAGORE ». On aurait pu croire précisément que les accords obéissaient la théorie de ZARLIN, qui traite de superpositions harmoniques. Eh bien non, les statistiques montrent le contraire !

D'autres conclusions des mêmes auteurs : « La pratique de la gamme de PYTHAGORE, dont toutes les quintes sont justes, a été vérifiée par de nombreuses expériences, et notamment par des statistiques sur le jeu des grands solistes ».

L. ETIENNE : Je signale que cet ouvrage n'est nullement épuisé, comme nous le croyons tous ici. Monsieur MONFORT m'a écrit qu'il en avait tiré je crois 1000 exemplaires en 1946 et qu'il lui en reste 600.

E. LEIPP : Je vous remercie de nous le signaler, parce qu'on nous l'a souvent demandé ; c'est un ouvrage fondamental.

L. ETIENNE : En France on n'arrivait pas à le trouver. En tout cas en s'adressant à Monsieur MONFORT, il est certain qu'il nous en donnera pour le Laboratoire d'Acoustique. C'est un ouvrage admirable ... qui n'a eu aucun retentissement, et c'est bien dommage. Ce qui fait que les gens continuent à répéter les affirmations de ZARLIN, qui sont très vénérables par l'âge, mais erronées.

E. LEIPP : Pendant qu'on est en train d'en parler, je signale que VAN ESBROECK et MONFORT avaient fait construire un orgue à 53 touches par octave pour vérifier un certain nombre de choses et pour faire leurs tests. Si vous vous intéressez à ces problèmes, je vous recommande vivement la lecture de cet ouvrage qui est le seul, à ma connaissance, publié depuis 100 ans sur ces questions. C'était mon livre de chevet il y a vingt ans. J'ai appris à peu près tout là-dedans ... Et c'est important, parce que ça repose, non pas sur des racontars, mais sur des expériences faites avec des professeurs et des élèves du Conservatoire de Liège et des élèves de l'Athénée de Liège et du Lycée de jeunes filles de Waha.

L. ETIENNE : Le livre est toujours impossible à trouver en France, mais vous pourriez vous le procurer par le canal du Laboratoire d'Acoustique. J'ai demandé à Franz MONFORT d'en envoyer, malheureusement il y a eu la grève des P.T.T., sans quoi ils seraient peut-être parmi nous ...

S. CORDIER : La gamme de PYTHAGORE a été prolongée, bien après PYTHAGORE, à l'époque moderne, pour pouvoir moduler vers le bas et vers le haut (**fig. 6**).

Voici la gamme de PYTHAGORE de l'Antiquité, présentée sous forme de quintes.

fa do sol ré la mi si

Si on prolonge ces quintes vers le bas et vers le haut on obtient :

fab dob solb réb lab mib sib fa do sol ré la mi si fa# do# sol# ré# la# mi# si#

La gamme de PYTHAGORE, telle qu'elle est conçue maintenant, comporte 21 notes, parce que les notes enharmoniques sont décalées d'un comma. Quand elles sont ramenées dans une même Octave on a :

do	ré ^b	do [#]	ré	mi ^b	ré [#]	mi	fa	mi [#]	sol ^b	fa [#]	sol	, etc...
	└			└				└		└		
	1 comma			1 comma				1 comma		1 comma		

Les # sont plus hauts que les b. C'est ce qu'on appelle l'échelle chromatique pythagoricienne.

Je ne vous parlerai pas de l'échelle chromatique de ZARLIN, parce qu'il est absolument impossible de la définir, ce qui est dû à l'inégalité des tons et des demi-tons, laquelle entraîne non seulement l'apparition de dièses et de bémols, mais une fluctuation des notes naturelles, c'est-à-dire que quand on passe de do Majeur en sol Majeur le la n'est plus le même. Il est alors impossible de concevoir un chromatisme ou une musique modulante zarlinienne, on ne peut utiliser une telle

gamme, cela supposerait des fréquences fluctuantes : en commençant en do Majeur (**fig. 7**), on serait obligatoirement amené à terminer la phrase par un do qui se trouverait par exemple 1 comma en dessous du do du début. Les instrumentistes ne peuvent accepter cela. Cela ne s'est donc jamais fait.

fig. 7

Modulation (Zarlin)

Quinte fausse
(diminuée d'1 comma)

9 commas
au lieu de 8

Passage décalé d'1 comma

VAN ESBROECK et MONFORT ayant montré d'une façon parfaitement convaincante à mes yeux que la justesse des musiciens est celle de PYTHAGORE, je définirai la justesse ou la fausseté des tempéraments que nous allons voir par rapport à PYTHAGORE, et non plus par rapport à ZARLIN comme cela s'est toujours fait jusqu'ici.

* * * * *

HISTORIQUE

J'en viens maintenant à l'historique.

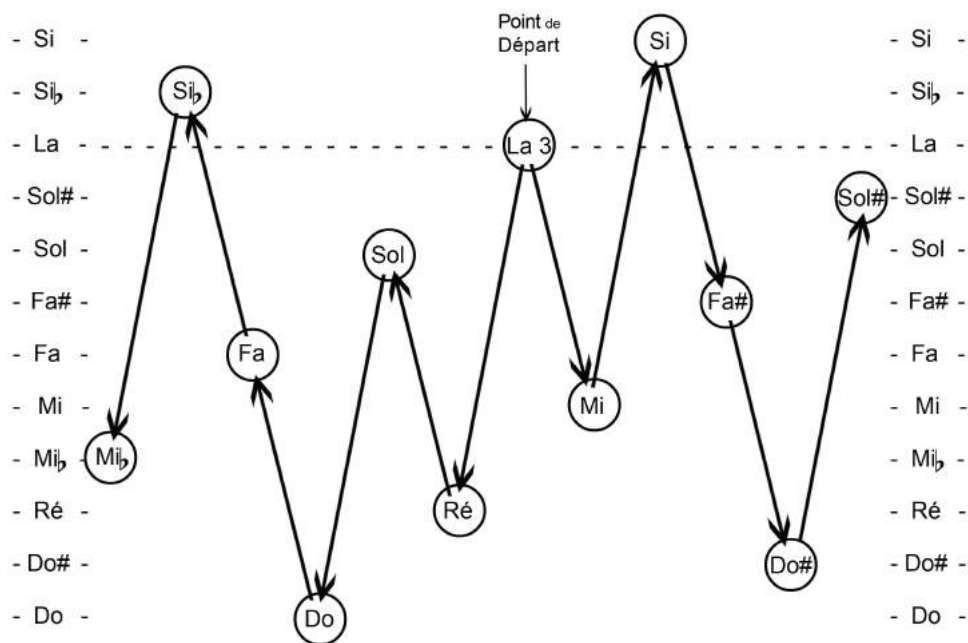
Les premiers claviers datent sans doute du XII^{ème} ou du XIII^{ème} siècle (pour l'orgue). Ils étaient diatoniques, très certainement, donc on avait la gamme de PYTHAGORE, puisque c'était la seule justesse sur laquelle on s'appuyait. Mais dès le XIII^{ème} ou XIV^{ème} siècle apparaissent les touches noires – bien longtemps donc avant ZARLIN, qui vivait au XVI^{ème} siècle. Comment donc étaient accordés ces claviers ?

J'avais émis l'hypothèse qu'ils étaient pythagoriciens. Mais direz-vous, comment peuvent-ils l'être, puisqu'il faut 21 notes dans la gamme de PYTHAGORE, et qu'il n'y a que 12 touches par octave dans ces claviers ? Eh bien, c'est que le cycle de quintes était tronqué. La gamme mésotonique montre en effet que les physiciens ont réfléchi sur le cycle des quintes ; c'est donc qu'ils le connaissaient ; ils ont donc dû s'en servir pour accorder les claviers selon PYTHAGORE. J'ai trouvé la confirmation de cette hypothèse, précisément, dans le G.A.M. de Monsieur LEGROS sur le Tempérament, qui prouve, en s'appuyant sur des documents précis, que les orgues du Moyen Age, au XIII^{ème} et au XIV^{ème} siècles, étaient accordés selon PYTHAGORE.

Voyons ce que pouvait donner concrètement cet accordage pythagoricien chromatique à 12 sons (**fig. 8**).

fig. 8

Accordage pythagoricien



Remarquons d'abord que les musiciens, en fait, ne superposent pas les quintes : partant du la, ils accordent bien le ré par quinte inférieure mais ensuite ils ne passent pas au sol par quinte descendante, mais au sol supérieur par quarte juste ascendante, de façon à obtenir les 12 sons dans la même octave, si bien que le graphique de l'accordage se présente sous une forme crénelée :
 5te , 4te , 5te , 4te , et quelquefois deux quartes qui se suivent.

Voici (**fig. 8**) l'accordage pythagorien au complet. On part du la et on commence par faire les 5tes (ou 4tes) :

la mi si fa# do# sol#

Puis on part du la et on va dans le sens du cycle descendant :

la ré sol do fa sib mib .

On voit (**fig. 9**) que le sol# ne peut pas être considéré comme lab, la « quinte » sol# mib sera horriblement fausse, car le sol# est un lab augmenté d'un comma pythagorien.

Je pars de mib et je fais un cycle de 5tes pythagoriciennes :

mib sib fa do sol ré la mi si fa# do# sol# ré# .

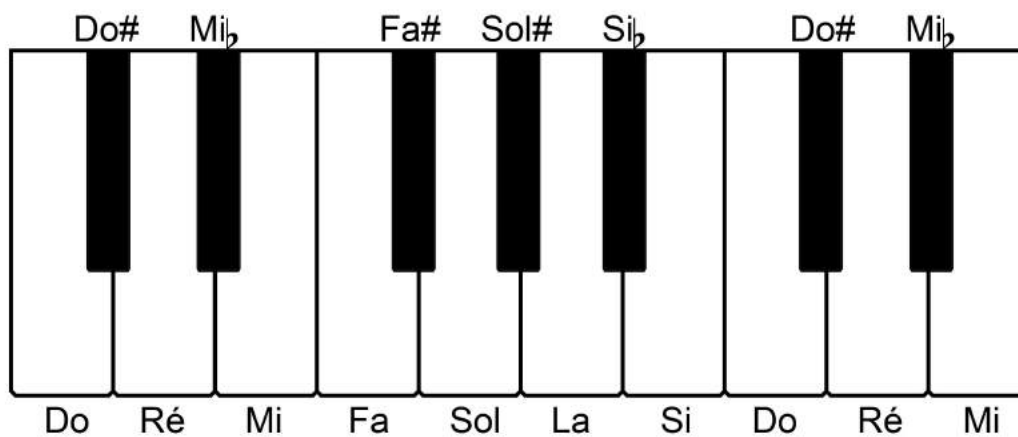
Après 12 quintes j'ai un comma en trop. Le ré# que j'obtiens ainsi, je ne peux pas le mettre sur mon clavier : il n'est pas à l'octave du mib du début, il est 1 comma trop haut.

Sol# mib sera donc une « quinte » fausse , c'est une « quinte du loup ».

fig. 9

Accordage pythagorien chromatique

XIV^{ème} Siècle (?)



Cycle de 11 Quintes justes

Mib Sib Fa Do Sol Ré La Mi Si Fa# Do# Sol# Mib

Quinte du Loup
 trop petite d'1 comma

Voici, (**fig. 8**) les notes diatoniques, et les notes chromatiques. (Le cycle des 11 quintes se fait en partant de *mi b* jusqu'à *sol $\#$* afin de partager les tonalités à peu près également entre bémols et dièses, et c'est ainsi qu'on a très vite pratiqué).

Dans combien de tonalités est-il possible de jouer ? Nous jouissons de 11 quintes superposées. Or quand on a 6 quintes on a 1 tonalité majeure ; quand on a 7 quintes on a 2 tonalités majeures. Quand on a 11 quintes on aura donc $11 - 5 = 6$ tonalités majeures.

Ce sera : *si b* , *fa* , *do* , *sol* , *ré* , *la* . (on ne peut pas jouer en *mi* Majeur, qui supposerait qu'on dispose d'un *ré $\#$*).

Le système d'accordage pythagoricien permet déjà de jouer dans 6 tonalités majeures pythagoriciennes, c'est-à-dire idéalement justes si l'on en croit VAN ESBROECK et MONFORT. J'ai représenté ici le cycle des 11 quintes justes :

mi b *si b* *fa* *do* *sol* *ré* *la* *mi* *si* *fa $\#$* *do $\#$* *sol $\#$*

Comme on ne peut pas ici utiliser le *mi b* comme *ré $\#$* , on a donc 11 quintes justes et une « quinte » fausse *sol $\#$ mi b* (qui est en réalité une sixte diminuée pythagoricienne) et qui est une « quinte du loup ».

Je vous ai dit qu'on ne pouvait jouer que dans 6 tonalités. En fait l'accordage pythagoricien ménage bien des surprises (**fig. 10**). En effet les tierces comme *mi sol $\#$* sont de vraies tierces pythagoriciennes ; *fa $\#$ si b* n'en est pas une. Mais il se trouve que *fa $\#$ si b* , si on le joue, ne sonne pas très faux : c'est une tierce zarlinienne. En effet le *la $\#$* de ZARLIN se trouve 1 comma au dessous du *la $\#$* de PYTHAGORE, si bien qu'ici *fa $\#$ si b* est l'équivalent de la tierce zarlinienne *fa $\#$ la $\#$* . En somme *fa $\#$ si b* , qui possède un comma de moins que la véritable tierce de PYTHAGORE *fa $\#$ la $\#$* - que nous n'avons pas sur ce clavier – est en réalité une tierce zarlinienne. On peut donc jouer dans les 6 autres tonalités, et on obtient alors des sonorités zarliniennes.

Voici (**fig.10**) les tierces de l'accord pythagoricien ; elles mesurent $9 + 9 = 18$ commas (2 tons pythagoriciens). J'ai mis ici, verticalement, le cycle des quintes, mais en baissant l'extrémité de la 4 ème quinte de 2 octaves, de façon qu'elle forme une tierce avec *mi b* .

Dans une octave, de *mi b* à *mi b* , je vais avoir *mi b sol*, *sol si*, 2 tierces de PYTHAGORE. Comme l'octave vaut 53 commas, si je retire 2 tierces, ou 36 commas, de 53 commas, je trouve que la fausse tierce de la fin ne vaut que 17 commas. Or la tierce de 17 commas est la tierce de ZARLIN, puisque dans la gamme de ZARLIN nous avons : *do ré*, 9 commas, et *ré mi*, 8 commas. Vous voyez que par une ironie du sort, bien avant que ZARLIN ait existé les tierces de ZARLIN existaient... dans la gamme de PYTHAGORE. C'est assez curieux, et cela montre que les faits, et la nature, se moquent tout à fait des polémiques des acousticiens !

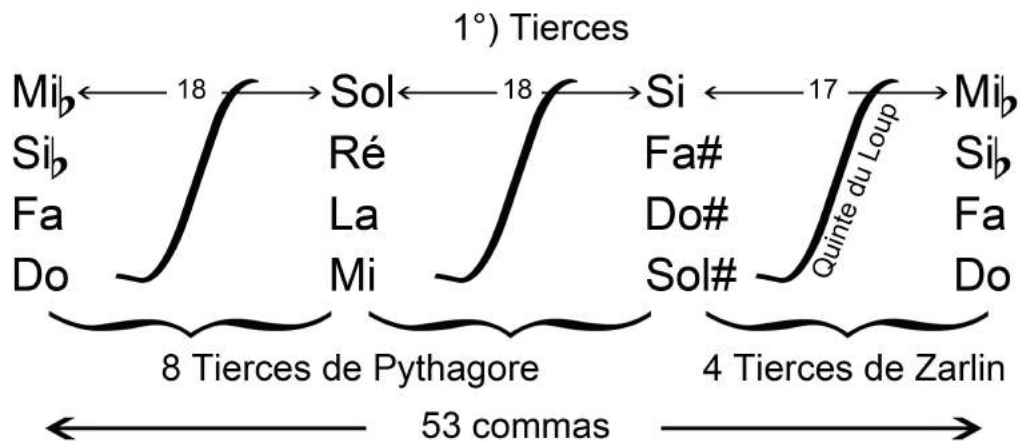
Il y a mieux encore : Si, sur un clavier « de PYTHAGORE », on commence une gamme par *fa $\#$* :

<i>fa$\#$</i>	<i>sol$\#$</i>	<i>sib</i>	<i>si</i>	<i>do$\#$</i>	<i>mib</i>	<i>fa</i>	<i>fa$\#$</i>
9	8	5	9	8	9	5	

C'est une gamme de ZARLIN. La gamme de ZARLIN existait donc, et a dû être effectivement jouée, avant ZARLIN !

fig. 10

Accordage pythagorien chromatique



2°) Gamme de Fa# Majeur

Fa# Sol# Si_b Si Do# Mi_b Fa Fa#
 9 8 5 9 8 9 5 = 53 commas

Je reviens maintenant, avant de passer à un autre tempérament, qui sera dû à l'utilisation des lois de la résonance par ZARLIN, à une nouvelle raison de préférer PYTHAGORE à ZARLIN : PYTHAGORE offre des $\frac{1}{2}$ tons diatoniques courts : 4 commas, et des $\frac{1}{2}$ tons chromatiques grands : 5 commas (**fig. 5**) : ce qui correspond exactement à ce que font les musiciens, quand par exemple, ils font monter la sensible vers la tonique. Pour ZARLIN, hélas, c'est le contraire !

D'autre part la définition, telle qu'on la donne dans les Conservatoires, de la justesse dite *expressive*, correspond elle aussi à la justesse de PYTHAGORE. (C'est DUSSAULT, un ancien Directeur du Conservatoire de Paris, qui l'a défini – sans savoir, ou du moins sans dire explicitement – qu'il redéfinissait la justesse pythagoricienne). En effet on enseigne dans les Conservatoires qu'il faut que les intervalles majeurs et surtout augmentés soient grands, et qu'il faut restreindre les intervalles mineurs et diminués. Et on dit cela aux instrumentistes parce qu'ils prennent trop l'habitude de la gamme bien tempérée, et qu'ils ne distinguent pas, justement, le do# du ré_b. Mais cette définition du $\frac{1}{2}$ ton chromatique plus grand que celui de la gamme bien tempérée, et du $\frac{1}{2}$ ton diatonique plus petit, nous fait retrouver quelque chose qui n'est pas la gamme de PYTHAGORE, mais qui outrepassa la gamme de PYTHAGORE ! Si donc il y a une gamme juste, qui correspond à ce que font vraiment les musiciens, c'est la gamme de PYTHAGORE.

Je dois faire une autre remarque. Dans certains livres de « théorie musicale » toujours en usage, on trouve quelque chose de tout à fait abracadabrant : une définition de la gamme de ZARLIN, par la théorie des accords générateurs, qui devrait donner des ½ tons diatoniques grands, et des ½ tons chromatiques petits, et un peu plus loin, dans la définition des demi-tons chromatiques et diatoniques, on trouve la définition contraire. Il y a là une incohérence qui n'a pas été suffisamment relevée.

TEMPÉRAMENT MÉSOTONIQUE

Il est impossible de faire une gamme de ZARLIN sur un clavier puisqu'on ne peut pas moduler. On a donc été obligé de faire autre chose. Mais ce qu'on voulait protéger à tout prix, c'était la tierce de ZARLIN. En effet ce qui semblait le summum de la justesse - pour les physiciens – c'était que la tierce ne batte pas.

(fig. 1) On voit que 4 quintes donnent une 17^{ème} de PYTHAGORE trop grande, et qui, par conséquent, bat. Il faudrait, pour qu'elle ne batte pas, qu'elle soit 1 comma plus bas. On va donc imaginer de restreindre toutes les quintes d'1/4 de comma. Alors le mi sera bien l'harmonique de do. Un système va donc être inventé, qui part de l'accordage pythagoricien chromatique et qui consistera à prendre 11 quintes comme au début, mais à les raccourcir toutes d'1/4 de comma. Toutes les tierces seront naturelles, c'est l'accordage mésotonique (fig. 11).

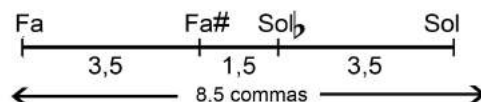
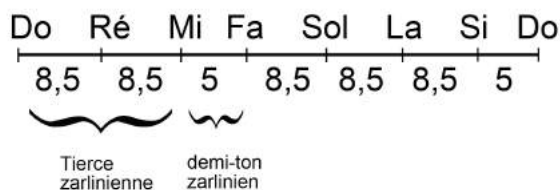
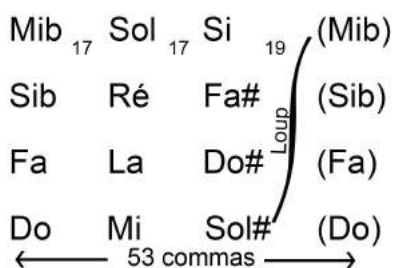
fig. 11

Tempérament Mésotonique

11 Quintes mésotoniques (trop petites d'1/4 comma)



Quinte du Loup
trop grande de 2 commas



Cette fois le sol#, au contraire du sol# du système de PYTHAGORE, va être trop bas, et trop loin du mi \flat . La « quinte » sol# mi \flat va être fautive, mais trop grande cette fois de 2 commas. Elle sera donc impraticable et vous allez voir que les tierces autres que celles « de ZARLIN » sont elles aussi impraticables. En effet, mi \flat mi \flat = 1 Octave = 53 commas ; mi \flat sol et sol si sont par construction des tierces de ZARLIN : 17 + 17 = 34. La dernière tierce si mi \flat vaut 19 commas ; elle est beaucoup trop grande et impraticable. On ne pourra donc jouer que dans 6 tonalités. Les 6 autres tonalités seront inutilisables : tierces fautes et « quinte du loup » horrible. Ce tempérament mésotonique, qui va exister sur les claviers au XVI^{ème} et au XVII^{ème} siècle, et un peu encore au XVIII^{ème} siècle, ne permet de jouer strictement que dans 6 tonalités, alors que le tempérament pythagoricien, nous l'avons vu, permet à la rigueur de jouer dans toutes les tonalités, moyennant quelques précautions d'écriture sur la fautive quinte, qui est vraiment fautive puisqu'elle a un comma de moins.

(fig. 11) Voici la composition de la gamme mésotonique du point de vue mélodique :

8,5 - 8,5 - 5 - 8,5 - 8,5 - 8,5 - 5

↓
½ ton grand
(comme dans ZARLIN)

On trouve évidemment, puisque les 5^{tes} sont trop petites, le contraire de ce qui se trouvait dans l'accordage pythagoricien, c'est à dire que fa# sol, ½ ton chromatique, ne vaut que 3,5 commas, alors que fa# sol, ½ ton diatonique, vaut 5 commas. Le ½ ton chromatique se trouve, comme dans ZARLIN, plus petit que le ½ ton diatonique.

fig. 12

“Fausseté” des intervalles, comparés à ceux du système de Pythagore (en savarts)

	1/2 ton diat.	1/2 ton chro.	ton	3 ^{ce} m	3 ^{ce} M	4 ^{te}	5 ^{te}	6 ^{te}	7 ^{ème}	8 ^{ve}	10 ^{ème}	17 ^{ème}
Zarlin	+ 5,5	- 10,5	0 ou -5	+ 5,5	+ 5,5	0	0 ou 5,5	- 5,5	- 5	0	- 5,5	- 5,5
Mésotonique	+ 7,5	- 9	- 2,5	+ 3	- 5,5	+ 2	- 2	- 4	- 7	0	- 5,5	- 5,5
Gamme bien tempérée	+ 2,5	- 3,5	- 1	+ 1,5	- 2	+ 0,5	- 0,5	- 1,5	- 2,5	0	- 2	- 2
Tempérament égal à Quintes justes	+ 2,5	- 3,5	- 0,9	+ 1,7	- 1,7	+ 0,8	0	- 0,9	- 0,7	+ 0,8	- 0,7	0

Valeur des Intervalles pythagoriens

22,5	28,5	51	73,5	102	124,5	175,5	226,5	277,5	301	403	504
------	------	----	------	-----	-------	-------	-------	-------	-----	-----	-----

(**fig. 12**) Ce tableau juge la gamme de ZARLIN et la gamme mésotonique par rapport à la justesse définie par VAN ESBROECK et MONFORT, c'est à dire à celle de PYTHAGORE. Les intervalles sont comparés en savarts à ceux de PYTHAGORE. Dans la gamme de ZARLIN le ½ ton diatonique est de 5,5 savarts trop grand. C'est énorme = 1 comma ! Le ½ ton chromatique est de 10 savarts trop petit, par rapport à ce que souhaite l'oreille !

UN AUDITEUR : Excusez-moi, mais je ne comprends pas ce que vous voulez dire quand vous dites : par rapport à l'oreille...

S. CORDIER : Eh bien, par rapport à la justesse pythagoricienne !

L'AUDITEUR : C'est celle-là que vous acceptez comme norme ?

E. LEIPP : Mais oui, Monsieur Cordier l'a dit.

S. CORDIER : Dans le système mésotonique, vous avez pour le ½ ton chromatique – 9, et + 7,5 pour le ½ ton diatonique. Ce sont d'énormes écarts.

* * * * *

Je passe maintenant à l'audition de ces différents intervalles.
(Audition de 4 quintes justes superposées (17^{ème} de PYTHAGORE) ; 17^{ème} de ZARLIN ; mi de ZARLIN ; mi de PYTHAGORE.

Gamme de PYTHAGORE : quintes, tierces (elles battent rapidement).

Gamme de ZARLIN : tierces zarliniennes. Fausse quinte.

Intervalles de l'accordage chromatique pythagoricien.

Gamme de fa# Majeur dans l'accordage pythagoricien (c'est une gamme de ZARLIN!)

Gamme mésotonique

Quintes. Quartes

Une Gavotte de BACH en mésotonique.

La même dans le système de PYTHAGORE.

* * * * *

Faute de temps, je passe sur ce qu'on appelle les tempéraments de transition, pour en arriver aux tempéraments modernes.

LA GAMME BIEN TEMPÉRÉE

Vers la fin du XVIII^{ème} siècle, les musiciens veulent pouvoir jouer dans tous les tons. Il n'y a qu'une solution, c'est de distendre les quintes de cette gamme mésotonique, puisque le sol# se trouve trop loin du mi \flat , on ne peut vraiment pas le prendre pour un lab. On va peu à peu définir par des essais successifs la gamme bien tempérée.

Nous avons vu (**fig. 2**) que la somme de 12 quintes est égale à la somme de 7 octaves, plus 1 comma. Si on raccourcit toutes les quintes d'1/12 de comma, le mi# est à la même hauteur que le fa ; la 12^{ème} quinte n'est plus une « quinte du loup », elle est comme les autres. Par conséquent les notes enharmoniques sont confondues, et on peut jouer dans toutes les tonalités.

Pour accorder un instrument dans la gamme bien tempérée, une première méthode consiste donc à refaire ce qu'on faisait par quarts et quintes pour obtenir l'accordage pythagoricien, mais en diminuant chaque quinte d'1/12 de comma, ou en agrandissant chaque quarte d'1/12 de comma. Si l'opération est bien faite, on doit retomber sur une note qui est à l'unisson – ou à l'octave – de la note du début.

LA MÉTHODE PLEYEL

Mais cet accordage s'est vu préférer depuis longtemps déjà une autre sorte d'accordage, sans doute plus précise, par tierces et sixtes, qu'on appelle méthode PLEYEL. Cette méthode m'a été transmise par Monsieur Simon DEBONNE, organiste, premier accordeur d'une grande maison de Paris, actuellement en retraite, qui la tenait lui-même par tradition orale, selon l'usage, d'autres accordeurs, et à qui je suis heureux de pouvoir rendre ici l'hommage de ma reconnaissance.

Voici en quoi consiste cet accordage. La partition choisie va de fa₂ à fa₃. Le problème consiste donc à diviser fa₂ fa₃ en 12 demi-tons égaux. Les 12 notes de cette gamme chromatique présentent un certain nombre de tierces et de sixtes. On entend très bien les battements de tierces et de sixtes parce qu'ils sont rapides. Nous avons comme tierces majeures :

fa la , fa# la# , sol si , lab do , la do# , etc ...

et nous avons 4 sixtes majeures :

fa ré , fa# ré# , sol mi et lab fa

Toutes ces tierces ont des rapidités de plus en plus grandes, car, comme nous l'avons vu, quand la fréquence de leur note de basse augmente, leur rapidité augmente proportionnellement. Les sixtes ont, elles aussi, des rapidités de plus en plus grandes. D'autre part, si le tempérament est strictement égal, le rapport des rapidités d'une sixte déterminée et de la tierce ayant la même note supérieure est constant, quelle que soit cette note supérieure.

Par exemple, dans la gamme bien tempérée, la sixte fa ré est un peu plus rapide que la tierce sib ré, la sixte sol mi est un peu plus rapide que la tierce do mi. Mais le rapport des rapidités de fa ré et de sib ré est le même que le rapport des rapidités de sol mi et de do mi .

Le rôle de l'accordeur consiste, en écoutant ces battements, à rétablir d'une part les rapidités progressives de tierces et les rapidités progressives de sixtes, en maintenant d'autre part constant le rapport des rapidités de la sixte et de la tierce ayant la même note supérieure.

Ce travail peut se faire avec une très grande précision puisque 1 savart de plus sur une note entraîne 4 battements de plus à la seconde. Un accordeur l'entend très facilement.

Mais, et c'est ce qui m'a mis sur la voie d'un nouveau tempérament, les accordeurs ont constaté, dans cette tradition PLEYEL, que si on faisait l'octave parfaitement juste, la sixte lab fa battait nettement moins rapidement que la tierce réb fa. Or ils ont constaté que si on parvenait à égaliser la rapidité de la sixte lab fa et celle de la tierce réb fa, etc..., on obtenait un bien meilleur accord. Les quintes étaient magnifiques, les 10^{èmes} et les 17^{èmes} également, tout devenait beaucoup plus joli.

J'ai donc appris à accorder dans ce système, mais je me suis demandé ce que cela voulait dire. Dans ce cas les accordeurs prétendent que pour obtenir cette égalité il faut partir d'une octave un peu grande. Comme je suis soucieux de précision, je me suis demandé de combien cette octave devait être trop grande. J'ai fait des calculs pour savoir ce qui se passait lorsque, effectivement, réb fa avait la même rapidité que la sixte lab fa. Et je me suis aperçu que dans ce cas-là, la quinte fa do (qui normalement, dans la gamme bien tempérée à octave juste, est petite, puisqu'elle a 1/12 de comma de moins que la quinte juste) devenait un tout petit peu plus grande que la quinte juste. Au lieu de valoir 1,495... comme dans la gamme bien tempérée, j'ai calculé que la quinte était alors égale à 1,50051... c'est-à-dire que, pratiquement, c'est une quinte parfaitement juste.

LE TEMPÉRAMENT ÉGAL A QUINTES JUSTES

Ainsi, quand est réalisée l'égalisation des rapidités des tierces et des sixtes, on obtient une quinte juste. Et c'est ce qui m'a donné l'idée de définir un nouveau tempérament égal.

Nous savons que, pour des raisons d'ordre mathématique la somme de 12 quintes justes n'est pas rigoureusement égale à celle de 7 octaves justes, mais à 7 octaves justes et un comma puisque $\frac{3}{2}^{12} \neq 2^7$. Ceci apparaît très nettement quand on ramène toutes les notes de la succession des quintes, par le procédé indiqué tout à l'heure de l'alternance des quartes et des quintes, à l'intérieur d'une même octave : quand on arrive à la note qui devrait être à l'octave de celle du début, on s'aperçoit qu'elle est fautive d'1 comma.

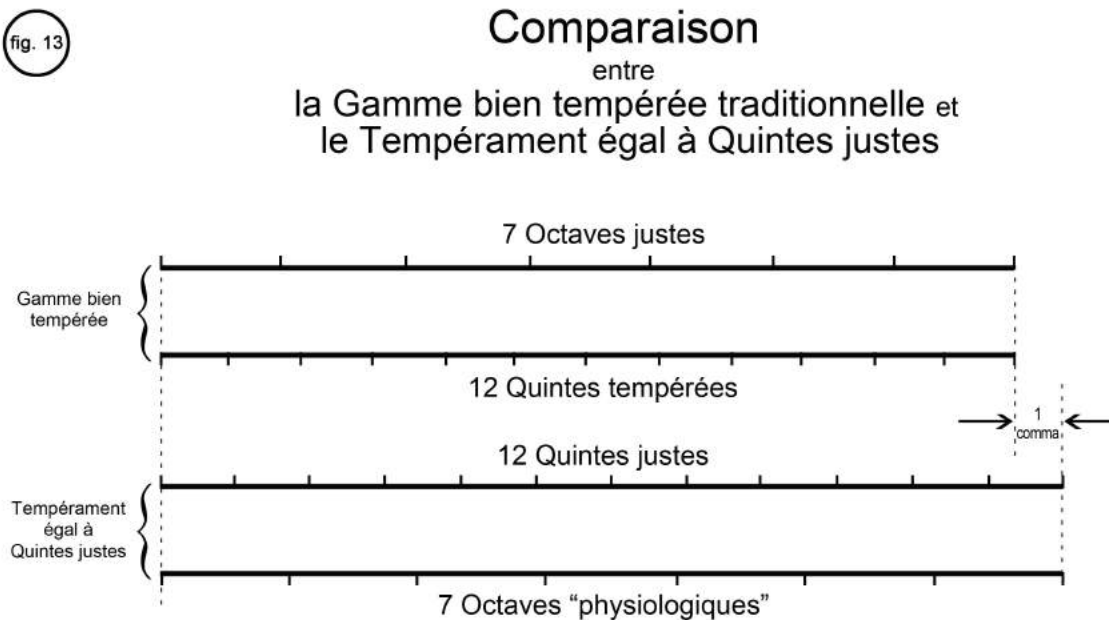
Mais si on espace véritablement les 12 quintes :

fa do sol ré la mi si fa# do# sol# ré# la# mi#

et si on fait entendre simultanément le fa et le mi#, le mi# ne paraît pas trop haut, à cette distance de 7 octaves, il paraît juste !

Or si on veut obtenir un tempérament égal, c'est-à-dire dont tous les $\frac{1}{2}$ tons soient égaux entre eux, afin de pouvoir jouer dans toutes les tonalités, il faut faire en sorte que la somme de 12 quintes soit égale à celle de 7 octaves. Il y a 2 solutions (**fig. 13**) :

fig. 13



NB : Le comma qui marque la différence entre 7 Octaves justes et 12 Quintes justes n'est pas à l'échelle, il a fallu l'agrandir pour le rendre distinct sur la figure.

La solution de la gamme bien tempérée traditionnelle consiste à maintenir les 7 octaves physiquement justes, ce qui oblige à raccourcir la quinte. Il en résulte des quintes légèrement fausses et des octaves entraînant un accordage des aigus et des graves physiologiquement peu satisfaisant : par rapport au médium les notes aiguës paraissent légèrement trop basses et les notes graves légèrement trop hautes.

Je pense au contraire que, puisque le $mi\#$, extrémité du cycle des 12 quintes, va sonner à l'oreille comme un fa , il est nécessaire de conserver le comma en trop, ce qui amène à conserver également les quintes justes comme dans le système de PYTHAGORE, et à agrandir très légèrement – d' $\frac{1}{7}$ de comma – les octaves.

C'est ce que font, consciemment ou non, les accordeurs qui utilisent la méthode PLEYEL. C'est ce tempérament que j'ai appelé Tempérament égal à quintes justes, et c'est sur lui que j'ai fondé une technique d'accordage dont le point de départ est une partition tout à fait nouvelle, puisque c'est une partition, non pas de l'octave mais de la quinte juste.

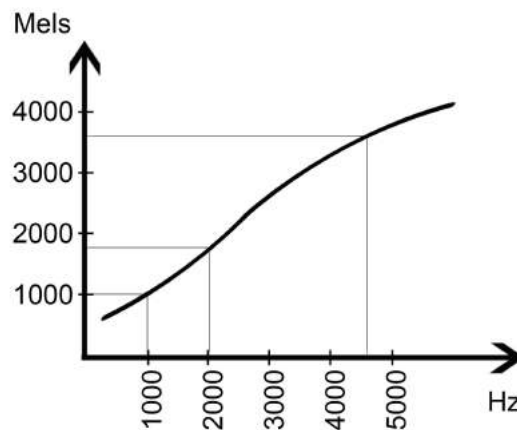
Ce choix est justifié par plusieurs observations.

1°) Quand ils s'écartent du médium, la plupart des accordeurs, font, consciemment ou non, des octaves légèrement trop grandes (1). Ceci s'explique par le fait que l'oreille humaine ne peut être assimilée, sans simplification abusive, à un appareil de mesures des fréquences : au-dessus et au-dessous du médium une octave physiquement juste est physiologiquement fautive. Elle paraît légèrement trop petite. Par suite, si on veut qu'une octave paraisse, au-dessus et au-dessous du médium, physiologiquement juste, il faut qu'elle soit physiquement trop grande (Cf. Echelle des Mels, **fig. 14**).

On objectera à cette méthode de faire des octaves trop grandes même dans le médium. Mais la différence sur une octave est de $1/7$ de comma, donc inférieure à 1 savart, et par conséquent tout à fait impossible à déceler. Elle l'est par contre parfaitement, et dans le sens souhaité par la physiologie de l'oreille, lorsque l'intervalle est de plusieurs octaves. Quant aux battements d'octave, l'expérience montre qu'ils restent imperceptibles.

fig. 14

Echelle des Mels



“ Pour entendre l’octave d’un son de 2000 Hz (= 1800 Mels), il faut un son de 3600 Mels, c’est-à-dire de 4600 Hz environ ”

(E.LEIPP, Acoustique et Musique, Masson & Cie.,1971)

(1) Cf. E. LEIPP : *Acoustique et musique* (MASSON – Paris – 1971) P. 141 : « Lorsqu'on observe les courbes d'accord réelles déduites de la pratique d'accordeurs habiles, on observe que ces courbes présentent une allure apparemment anormale. Les sons graves sont théoriquement trop bas, souvent de plus d'un quart de ton ; les aigus sont trop hauts d'autant... L'expérience montre que les praticiens ont raison : ce qu'ils font correspond aux propriétés de l'oreille ». On voit que les bons accordeurs n'ont nullement le respect des vertus magiques du nombre 2 si vantées par les théoriciens de la musique !

2°) Une quinte ou une octave légèrement trop petite sonne vite faux ; les mêmes intervalles légèrement trop grands sont entendus comme justes.(2)

J'ai lu cette remarque dans VAN ESBROECK et MONFORT longtemps après avoir trouvé ce système, et cela m'a confirmé dans la justesse de mes vues. On a donc intérêt à agrandir l'octave et conserver la quinte juste. Si on fait le contraire, on va vers la fausseté.

3°) Le fait de conserver des quintes justes rapproche le tempérament égal à quintes justes du tempérament pythagoricien, fondé lui aussi sur une succession de quintes justes. Or, on le sait maintenant, si l'on en croit VAN ESBROECK et MONFORT les artistes utilisant la voix ou les instruments à sons variables jouent – ou du moins pensent les sons – dans le système de PYTHAGORE, et la quinte juste est la base de notre musique harmonique. Avec le tempérament égal à quintes justes nous n'atteignons pas la justesse des violonistes – car c'est impossible avec 12 notes par octave – mais nous nous en rapprochons.

(2) D'une façon beaucoup plus générale, quand on joue simultanément dans le grave et dans l'aigu du piano – ce qui est fréquemment le cas puisqu'on se sert de ses deux mains – si on veut que les intervalles entre grave et aigu soient perçus comme justes, il est nécessaire qu'ils soient très légèrement trop grands par rapport aux intervalles correspondants théoriquement justes.

* * * * *

MARCHE A SUIVRE

A) PARTITION (fig.15)

La partition est très différente de la partition traditionnelle puisque nous n'avons plus à diviser l'octave en 12 mais la quinte en 7 parties seulement, ce qui sera beaucoup plus rapide. Car le travail qui demande le plus de soin et de précision à l'accordeur est la partition. Il faut établir entre 12 notes, habituellement, des rapports convenables, et c'est très long, parce qu'on est obligé de voir les différentes relations qu'il y a entre chaque note, et, je ne dis pas les 11 autres notes car ce serait par trop long, mais au moins 4 ou 5 autres notes. Par conséquent le nombre des rapports entre 7 notes est beaucoup plus petit que celui des rapports entre 12 notes. Il est donc beaucoup plus rapide de diviser la quinte en 7 que de diviser l'octave en 12. Une fois que, dans la méthode traditionnelle on a fait la partition de l'octave en 12, il ne reste plus, pour accorder les autres notes, qu'à faire des octaves justes (en principe, car en réalité c'est un peu plus difficile que cela) mais ça va tout de même assez vite, la difficulté étant de faire la partition. Avec notre méthode nous ferons la partition plus rapidement. Et ensuite comment pratiquerons-nous ? Non plus par octaves justes, mais par quintes justes.

Je répète que si c'est vrai pour le clavecin qui est très facile à accorder parce qu'il a des sons très purs, il est beaucoup plus difficile au piano de faire des octaves justes ou des quintes justes en se fiant uniquement à l'oreille. Des contrôles utilisant les battements de tierces et de sixtes s'avèrent indispensables si on ne veut pas faire des erreurs qui se cumuleraient (1)

Je montre rapidement maintenant (**fig. 15**) comment on réalise la partition dans le tempérament égal à quintes justes.

La quinte juste $fa_2 do_3$ sur laquelle on fait la partition possède :

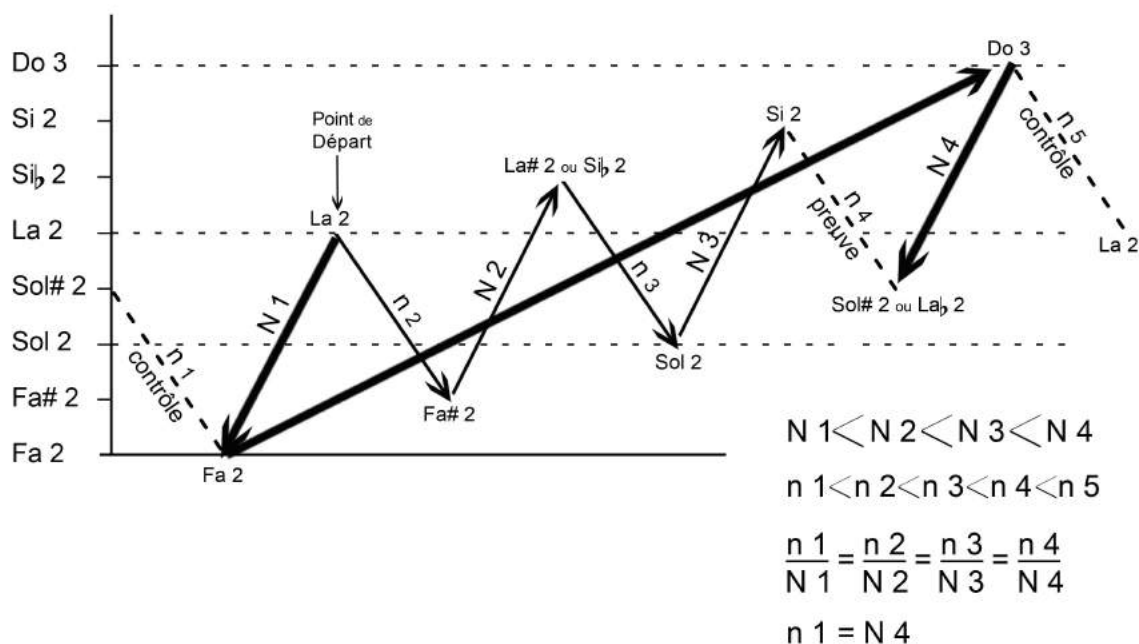
4 tierces majeures : $fa\ la$, $fa\#\ la\#$, $sol\ si$, $lab\ do$
de rapidités respectives : N 1 N 2 N 3 N 4

et 5 tierces mineures : $fa\ lab$, $fa\#\ la$, $sol\ sib$, $sol\#\ si$, $la\ do$
de rapidités respectives : n 1 n 2 n 3 n 4 n 5

(1) *L'utilisation des battements permet d'évaluer un intervalle à 1 cent près, c'est-à-dire à $\frac{1}{4}$ de savart près, tandis que l'oreille permet tout au plus, dans les meilleures conditions, d'apprécier le savart.*

fig. 15

Partition du Tempérament égal à Quintes justes



Des calculs théoriques que nous ne pouvons reproduire ici montrent que :

1°) Dans chacune de ces deux suites de tierces, quand on va vers l'aigu, les rapidités croissent de manière progressive.

$$N 1 < N 2 < N 3 < N 4 \quad \text{et} \quad n 1 < n 2 < n 3 < n 4 < n 5$$

2°) Le rapport des rapidités d'une tierce majeure et de la tierce mineure ayant la même note de basse est constant :

$$n 1 / N 1 = n 2 / N 2 = n 3 / N 3 = n 4 / N 4$$

3°) La justesse rigoureuse de la quinte fa do entraîne l'égalité rigoureuse de la tierce mineure fa lab et de la tierce majeure lab do, et ceci, chose curieuse, même si la position du lab n'est pas parfaitement exacte :

$$n 1 = N 4$$

Les deux tierces mineures et majeures ont alors la même rapidité, ce qui permet de contrôler parfaitement la justesse d'une quinte : si à l'intérieur de la quinte fa do on met un lab, et si fa lab a la même rapidité que lab do on peut être certain que la quinte fa do est rigoureusement juste. C'est un véritable vernier.

Toutes ces remarques servent de base à l'élaboration de la partition (voir graphique **fig. 15**). Le rôle de l'accordeur consiste à rétablir en partant du la_2 (obtenu avec le la_3 du diapason) les tierces et la quinte en question conformément aux rapidités théoriques, ou plus exactement aux progressions et aux rapports des rapidités théoriques, comme dans la méthode PLEYEL (1) (mais il y en a beaucoup moins à rétablir, puisqu'il y a 7 notes au lieu de 12) .

Nous ne réalisons d'abord cette partition que pour l'une des trois cordes correspondant à chaque note en utilisant un « coin multiple » (2) . Cette précaution permet, lorsque les contrôles révèlent une partition qui n'est pas absolument parfaite, de ne pas à avoir à recommencer les unissons.

B) AUTRES NOTES

L'accordage des notes qui n'appartiennent pas à la partition se fait à partir de cette partition par quintes justes qui donnera automatiquement des octaves grandes (Naturellement, plus les notes s'éloignent du médium, et plus les intervalles qu'elles forment avec les notes de la partition excèdent les intervalles justes correspondants : une octave sera trop grande mais une 15^{ème} le sera encore plus, et une 22^{ème} davantage encore, etc...). On contrôle en même temps la rapidité des sixtes, des 10^{èmes} ou des 17^{èmes} majeures (selon la distance à laquelle ils se trouvent du médium). Ces derniers intervalles ont des battements aisément perceptibles ; on dit qu'ils sont « chantants ». Leur importance est double : d'une part ils permettent une grande précision de l'accordage par l'utilisation des battements ; d'autre part, en raison même de leur caractère chantant, ils influent directement sur la qualité musicale, sur la résonance harmonique de l'instrument. De leur juste valeur, de la gradation exacte de leurs rapidités, dépendront pour une large part le timbre de celui-ci et l'impression de relief et de vie qui s'en dégagera.

(1) *Un accordeur ne compte pas vraiment les battements : il apprécie à l'oreille les rapidités relatives des différents intervalles, il compare bien plus qu'il ne mesure. Dans notre méthode comme dans les méthodes traditionnelles, la difficulté est donc d'arriver à percevoir les battements entre les harmoniques de deux sons différents et à apprécier leur rapidité avec une précision suffisante. On y parvient toutefois assez vite en s'appliquant à un entraînement progressif et régulier.*

(2) *Les accordeurs américains utilisent des coins multiples en caoutchouc qui leur permettent de ne laisser vibrer qu'une seule corde sur trois pour chacune des notes de la partition. Malgré les répugnances marquées par de nombreux accordeurs français à l'endroit de cet outil, nous pensons qu'il fait gagner beaucoup de temps et nous l'utilisons toutes les fois que l'instrument le permet.*

Pour l'accordage de l'extrême grave, ou première octave, il est commode de continuer à s'appuyer sur les battements entre la note à accorder et à la note du médium qui se trouve à la 17^{ème} au-dessus ; ceci permet de tenir compte de l'inharmonicité des cordes graves propre à chaque modèle de piano, en agrandissant les octaves en fonction de cette inharmonicité (cf. E. LEIPP, op. cit., p.209).

Quant à la 7^{ème} octave, la perception des battements devenant impossible, on se contente d'obtenir « à l'oreille » que les octaves qu'elle forme avec la 6^{ème} octave sonnent bien, ce qui conduit à les agrandir encore davantage, conformément d'ailleurs à la physiologie de l'oreille et à l'échelle des Mels. Il convient alors de vérifier l'égalité des demi-tons de la gamme chromatique de cette 7^{ème} octave (1).

CONCLUSION

Les avantages du tempérament égal à quintes justes sont d'ordre pratique et d'ordre esthétique.

La partition est beaucoup plus rapide à établir que traditionnellement, non seulement parce qu'il n'y a que 7 notes au lieu de 12, mais aussi parce qu'il y a pratiquement deux fois moins de relations à vérifier entre ces 7 notes qu'entre les 12 notes d'une partition traditionnelle. Cette rapidité ne nuisant aucunement à la précision.

Le gain de temps est particulièrement spectaculaire au clavecin, parce que les notes sont beaucoup plus pures qu'au piano, et qu'on y entend très bien la quinte juste facilement reconnaissable à sa couleur : il faut environ 4 fois moins de temps pour accorder l'instrument que par les méthodes traditionnelles !

Bien que je n'aie encore aucune expérience de l'enseignement en matière d'accordage, j'ai tendance à croire que le tempérament égal à quintes justes est beaucoup plus facile à enseigner et beaucoup plus rapide à apprendre, parce qu'il est beaucoup plus facile d'apprendre à faire des quintes justes que des quintes « un tout petit peu trop petites » (trop petites d'1/12 de comma pythagoricien... : cette différence théorique est bien difficile à transposer dans la pratique !).

Sur le plan musical, les quintes justes de ce système, les octaves très légèrement grandes, les harmonies pythagoriciennes ou proches de Pythagore font qu'à des aigus aux couleurs claires et éclatantes s'opposent des basses profondes et un médium animé d'un vibrato chaleureux. Ces qualités sont dues en particulier aux battements rapides des 10^{èmes}, proches des 10^{èmes} pythagoriciennes, et des 17^{èmes} pythagoriciennes du tempérament égal à quintes justes (**fig. 16**) : ceux-ci donnent aux notes aigües un aspect vibrant, scintillant, qui les met en valeur et les détache clairement : ils animent le médium de fluctuations très perceptibles dont la fréquence varie entre 4 et 8, et qui évoquent le vibrato des cordes. Pour le piano accordé « scientifiquement » selon la gamme bien tempérée traditionnelle, les mêmes intervalles sont beaucoup trop « lents » : d'où une impression de platitude de l'aigu et de manque de vie dans le médium (**fig. 16**).

(1) Une méthode pratique détaillée d'accordage par le tempérament à quintes justes sera publiée ultérieurement.

fig. 16

Rapidité dans différents systèmes des intervalles ayant pour basse Sol 2 (N = 200 Hz)

	Quinte	Octave	Sixte	Tierce	Dixième	Dix-septième
Zarlin	0*	0	0	0	0	0
Mésotonique	- 2	0	3,2	0	0	0
Gamme bien tempérée	- 0,56	0	9,9	8	8	8
Tempérament égal à Quintes justes	0	0,75	10,5	8,5	10,5	13
Pythagore	0	0	13	13	13	13

Du point de vue de la rapidité des battements, le Tempérament égal à Quintes justes est le plus proche du système pythagoricien.

* Une exception : la Quinte Ré - La, qui est trop petite d'1 comma, bat très vite (- 12).

La clarté du majeur contraste vigoureusement avec la sombre couleur du mineur, affecté lui aussi d'un intéressant vibrato. Ces qualités apparaissent surtout, non en frappant des accords isolés, mais dans un contexte musical. C'est encore une expérience de VAN ESBROECK et MONFORT : lorsqu'on entend une 17^{ème} pythagoricienne isolée, et qu'on la compare à une 17^{ème} zarlinienne, le choix peut être indécis, certains préférant la zarlinienne, d'autres la pythagoricienne. Mais le choix change immédiatement quand on les entend dans une musique. Or d'après VAN ESBROECK et MONFORT, ce qui est juste en mélodie est juste en harmonie, par conséquent la mélodie joue un rôle prépondérant dans l'élaboration de la justesse harmonique. C'est un peu la même chose que ce que CHAILLEY et CHALLAN, je crois, disent à propos des dissonances. Une dissonance n'est dissonance que quand on ne l'a pas dans l'oreille. Au bout d'un certain temps, quand on l'a acceptée « par préparation », elle devient consonance. Si réellement nous entendons la tierce pythagoricienne depuis des années par le truchement des violonistes, c'est elle que nous avons dans l'oreille. Donc elle est mieux acceptée parce que nous en avons l'habitude, tout simplement. Cela va tout à fait dans le sens de ce que disent les acousticiens actuels, qui disent qu'on trouve juste ce dont on a l'habitude.

UN AUDITEUR : Il y a quand même une chose bien réelle, ce sont les battements ; s'il y a des battements à une rapidité de 5, ça doit être assez désagréable.

S. CORDIER : Je crois qu'il ne faut pas en juger à l'avance en disant : ça doit être ; il faut écouter de la musique et se demander ce qu'on trouve juste ou faux, c'est tout. Je crois que si on se met à raisonner à priori sur la musique, on est conduit à faire des constructions qui n'ont pas de rapport direct avec la musique elle-même.

Le tempérament égal à quintes justes, étant plus proche du système de PYTHAGORE que le tempérament habituel, convient mieux que lui aux voix et aux instruments à sons variables, en particulier aux cordes (qui s'accordent généralement, elles aussi, par quintes justes). C'est là un avantage précieux quand il s'agit d'une sonate pour violon et piano, ou d'un concerto pour piano et orchestre, ou d'un lied accompagné au piano, et d'une façon générale pour toute la musique d'ensemble faisant intervenir le piano ou le clavecin.

Malgré les avantages que je viens d'exposer, je ne suis pas assez naïf pour m'imaginer que les accordeurs vont se précipiter sur cette méthode pour l'adopter avec enthousiasme. Ne parlons pas de ceux qui sont médiocres : ils ignorent le plus souvent qu'ils ne savent pas accorder, et ils ne se soucient guère de s'améliorer. Quant aux meilleurs praticiens, ce serait beaucoup leur demander que de renoncer, au prix d'un gros effort, à des habitudes patiemment acquises qui leur donnent des résultats parfaits. Je m'attendrais plutôt de leur part à des réactions de méfiance : ne risquent-ils pas de croire que cette méthode veut remettre en question les excellents principes dont ils s'inspirent ? Ce serait bien à tort. Je pense au contraire que le tempérament égal à quintes justes est celui vers lequel ils tendent sans le savoir lorsque, guidés par leur instinct musical et par des traditions empiriques mais efficaces, ils agrandissent les octaves ou recherchent des tierces « qui chantent bien ».

Cette méthode ne manquera pas de susciter de nombreuses réserves. Mais si elle possède réellement les qualités que nous lui trouvons, je crois fermement qu'elle finira à la longue par s'imposer et qu'elle contribuera, par la formation de jeunes accordeurs, à résoudre une crise préjudiciable à la musique.

Quoique les pianos accordés selon le tempérament égal à quintes justes aient emporté l'approbation totale d'artistes éminents...

Luc ETIENNE : ... parmi lesquels, je le signale, Yehudi et Hephzibah MENUHIN...

S. CORDIER : ... je suis convaincu que le compromis idéal de justesse (puisque la justesse d'un clavier ne peut être qu'un compromis) ne peut être défini que statistiquement. Comme pour la justesse idéale (celle des voix et des cordes) seule une expérimentation portant sur un très grand nombre de pianistes et d'auditeurs musicalement doués permettrait de savoir si ce tempérament peut donner toute satisfaction aux musiciens. Et je souhaite vivement que cette expérience soit faite.

Serge CORDIER

* * * * *

DISCUSSION

M. LEIPP - J'ai personnellement été très intéressé par l'exposé de votre méthode d'accordage ; je pense que cette méthode rejoint la pratique empirique statistique des accordeurs. De toutes façons, ceux-ci tentent de satisfaire tout le monde et savent bien que c'est impossible. C'est évident : depuis plusieurs années je fais passer tous les étudiants de mon cours à l'audiométrie et nous vérifions que les oreilles des uns et des autres ne sont pas identiques ! Les uns filtrent l'aigu, les autres non, et ceci avec des écarts de plus de 50 dB parfois. Or la sensation de hauteur dépend du filtrage : ceux qui filtrent l'aigu entendent le même son plus grave que les autres. Le problème n'est pas simple.

M. DERVIEUX - Y avait-il des personnes de milieux socio-culturels différents dans les expériences de VAN ESBROECK ?

M. CORDIER - Non ; c'était tous des occidentaux, qui n'entendent pas comme les orientaux. Mais il y avait des auditeurs musiciens, doués, et d'autres non ; en tout cas le résultat est assez net pour ne pas être ambigu.

M. CASTAING - Il est un argument de physique pour expliquer la montée de l'accordage vers l'aigu : c'est la raideur des cordes qui fait que l'harmonique 2 est plus haut que l'octave du fondamental.

M. CORDIER - Je connais mal cette question.

M. LEIPP - Elle a été étudiée à fond par R.W. YOUNG (Labo. NAVY ; USA) qui a publié divers papiers sur ce point et avec lequel j'ai longuement parlé de ces questions autrefois. La question est particulièrement importante pour les cordes raides, c'est-à-dire grosses et peu tendues. Il existe des formules pour calculer l'inharmonicité. Pour les cordes très graves du piano, surtout piano droit, il n'y a pratiquement aucune énergie dans le fondamental et les deux ou trois premiers partiels. On entend alors la hauteur à partir d'un « paquet » de partiels voisins qui ne sont que quasi-harmoniques ; comme ceux-ci sont nécessairement toujours de fréquence plus élevée que les harmoniques du fondamental, il est évident qu'un accordeur électronique ne peut servir à accorder les graves du piano ; je l'ai vérifié souvent autrefois chez KLEIN. D'autre part l'accordeur entend de ce fait les sons graves trop haut : d'où la baisse de la courbe d'accord vers l'octave grave.

M. CORDIER - Oui ! si on accorde un piano avec un accordeur électronique, c'est horrible.

M. X. - Pourtant dans les instruments électroniques on utilise un seul générateur et on multiplie ou divise la fréquence par 2 pour obtenir les octaves, etc...

M. LEIPP - C'est bien pourquoi ces « orgues électroniques », pour peu qu'on aille un peu trop vers le grave ou l'aigu, sont honnis par les musiciens traditionnels. A juste titre : ça sonne faux. Il est vrai que les usagers de ces instruments ne sont pas toujours des fanatiques de la justesse...

Mlle CASTELLENGO - Pensez-vous que votre méthode s'applique aux orgues à tuyaux ?

M. CORDIER - Je pense qu'il faut essayer et écouter ce que ça donne.

M. LEIPP - Que voilà donc une bonne parole...

M. LEGROS - Si un orgue donne des octaves fausses, cela va être insupportable. Si vous avez des battements trop intenses dans les tierces, comme il y a beaucoup de fondamental dans la majorité des tuyaux à bouche vous risquez d'ébranler l'orgue... Je pense de toutes façons que le problème des tierces est plus important que celui des octaves. Dans un autre ordre d'idées je signale que j'ai fait une expérience sur un accord Majeur : si vous jouez une quinte réduite d'1/4 de comma et si vous lui ajoutez une tierce juste, la quinte se met à battre plus lentement.

M. CORDIER - Elle ne devrait pas...

Mlle CASTELLENGO - On vérifie cependant qu'elle bat moins vite...

M. LEIPP - Que faut-il penser de tout cela ? N'y a-t-il pas des interférences physiques entre les tuyaux d'un orgue en jeu normal ? L'expérience montre que par accommodation, les tuyaux très voisins s'accordent les uns sur les autres... On le sait bien. Les quintes ou tierces légèrement fausses ne sonnent-elles pas alors de toutes façons « juste » ?

M. CHENAUD - Peut-on accorder la partition d'un orgue électronique ?

M. LEIPP - Bien sûr ; mais les octaves seront des multiples entiers rigoureux...

M. CHENAUD - Je confirme ce que M. LEIPP a dit tout à l'heure à propos des différences venant des oreilles individuelles. Quand j'accorde un piano pour un jeune je fais des aigus un peu plus poussés, plus relevés. Les jeunes entendent mieux les aigus et les personnes âgées, les graves : un accordeur âgé est plus sûr sur les graves qu'un jeune, et inversement.

M. LEIPP - J'ai pu l'observer autrefois chez KLEIN... La perception de la hauteur d'un son grave ou suraigu de piano varie selon l'âge.

M. Y. - Avez-vous fait des essais d'accordage avec le Cantor, qui, lui, a des harmoniques et non des partiels ?

M. CORDIER - Oui. Le défaut du Cantor est de n'avoir que 5 octaves. Le très grave et le très aigu sont absents ; alors on ne peut, là, faire des essais.

M. LEIPP - Oui, et c'est dommage car c'est justement là que gît la difficulté d'accordage ; mais on peut transposer d'une octave avec de la « cuisine » de magnétophone.

M. Y. - Avez-vous essayé avec des sons sinusoïdaux, des signaux carrés et en dents de scie ?

Mlle CASTELLENGO - Non ! mais il ne doit pas y avoir de différence si on écoute les battements.

M. LEIPP - Quelque chose me frappe . On parle de battements en pensant toujours aux battements entre fondamentaux de deux sons. Or si les fondamentaux sont légèrement désaccordés, les harmoniques corrélatifs entre ces deux sons battent de plus en plus vite quand on va vers les harmoniques de rang élevé.

Exemple : vous prenez deux sons, l'un de 103 Hz de fondamental et l'autre de 100 Hz. La suite des harmoniques respectifs sera alors :

H 1 H 2 H 3 H 4

103 - 206 - 309 - 412 etc...

100 - 200 - 300 - 400 etc.

Le fondamental battra donc 3 fois, l'harmonique 2 battra 6 fois, l'harmonique 3 battra 9 fois, etc... Deux sons à spectre harmonique riche, de ce genre, vont donc présenter des « familles » battant à des rapidités variées. Dans ce cas, lorsqu'il s'agit par exemple de deux sons d'anches graves (où le fondamental et les premiers harmoniques sont souvent inexistant) il est clair qu'on percevra les battements là où ils sont les plus sensibles, les plus intenses... non les battements lents entre fondamentaux, mais des battements rapides entre harmoniques. Bref, en accordage le timbre des sons intervient...

M. Z. - On dit que le point d'impact du marteau des pianos sur les cordes est réglé au 1/7^e de leur longueur pour éliminer le partiel 7. Est-ce exact ?

M. LEIPP - C'est une véritable plaisanterie qui se colporte depuis toujours... Ouvrez donc votre piano et faites quelques mesures... le point de frappe se place (en général...) entre 1/6^e et 1/9^e de la longueur de corde, selon les modèles, et de façon variable pour chaque corde dans un même modèle....

M. LEGROS - J'ai réussi à entendre les battements entre le 7^{ème} harmonique de do et le 6^{ème} de mi \flat ; mais il fallait baisser ce dernier de façon à arriver au rapport 7/6, ce qui donnait une tierce mineure très fausse...

Mlle Y. - Quel est le rôle de la température dans tout cela ?

M. CORDIER - Le clavecin y est beaucoup plus sensible que le piano : le grave y remonte et l'aigu baisse... Si vous accordez à mon tempérament, au bout d'un moment, vous tomberez sur la gamme tempérée...

M. LEIPP - Tout cela montre qu'il ne faut pas trop ratiociner sur la précision et voir ce qui se passe dans la pratique... De toutes façons, toute discussion est bien vaine si on n'a pas précisé le genre de musique dont il s'agit ; le problème est tout à fait différent lorsqu'il s'agit de musique mélodique ou de musique harmonique ! Nous y reviendrons bien un jour... De plus, lorsque 10 violons jouent à l'unisson, ensemble, le son perçu, unique, recouvre en fait une certaine zone fréquentielle car 10 violonistes ne réalisent pas strictement la même fréquence : il y a 10 notes voisines différentes et chacun peut y trouver celle qu'il préfère...

M. HARDOUIN - Pourquoi les accordeurs de pianos ne sont-ils jamais accordeurs d'orgues ?

M. LEIPP - Parce que la perception de la hauteur d'un son tenu n'est pas identique à celle d'un son évolutif, qui s'éteint graduellement. Je crois qu'il faut un jour reparler de tout cela : les problèmes auditifs sont à la base de complications sans fin...

M. CORDIER - Orgue, piano, harmonium posent en effet des problèmes différents. A mon avis, l'orgue est bien moins juste que le piano comme instrument, et l'harmonium est inaccordable, toujours mauvais.

Mlle CASTELLENGO - J'ai entendu dire que dans le piano, si on ne met qu'une corde par note, c'est mauvais ; si on en met deux, ça l'est aussi parce que celles-ci ne sont jamais d'accord ; si on en met trois, tout s'arrange...

M. LEIPP - Cela fait partie de ces on-dit qui se perpétuent sans que personne ne se soit donné la peine de vérifier. En fait, quand deux cordes voisines de piano sont accordées très près l'une de l'autre, elles s'accommodent par « sympathie », pour des raisons de couplage mécanique. S'il y a des battements, c'est souvent parce que les cordes sont fausses (elles battent toutes seules alors...)

Mlle CASTELLENGO - Les cordes nues, tirées à la filière, seraient-elles susceptibles d'être fausses ?

M. KLEIN - C'est certain ; et même si le diamètre est strictement constant... c'est l'irrégularité de la trempe, de l'homogénéité du métal etc. ...

M. LEIPP - Comme on le voit, la question ne sera pas vidée ce soir ; mais nous la reprendrons plus tard, en particulier en ce qui concerne les problèmes auditifs : cela en vaut la peine !

* * * * *