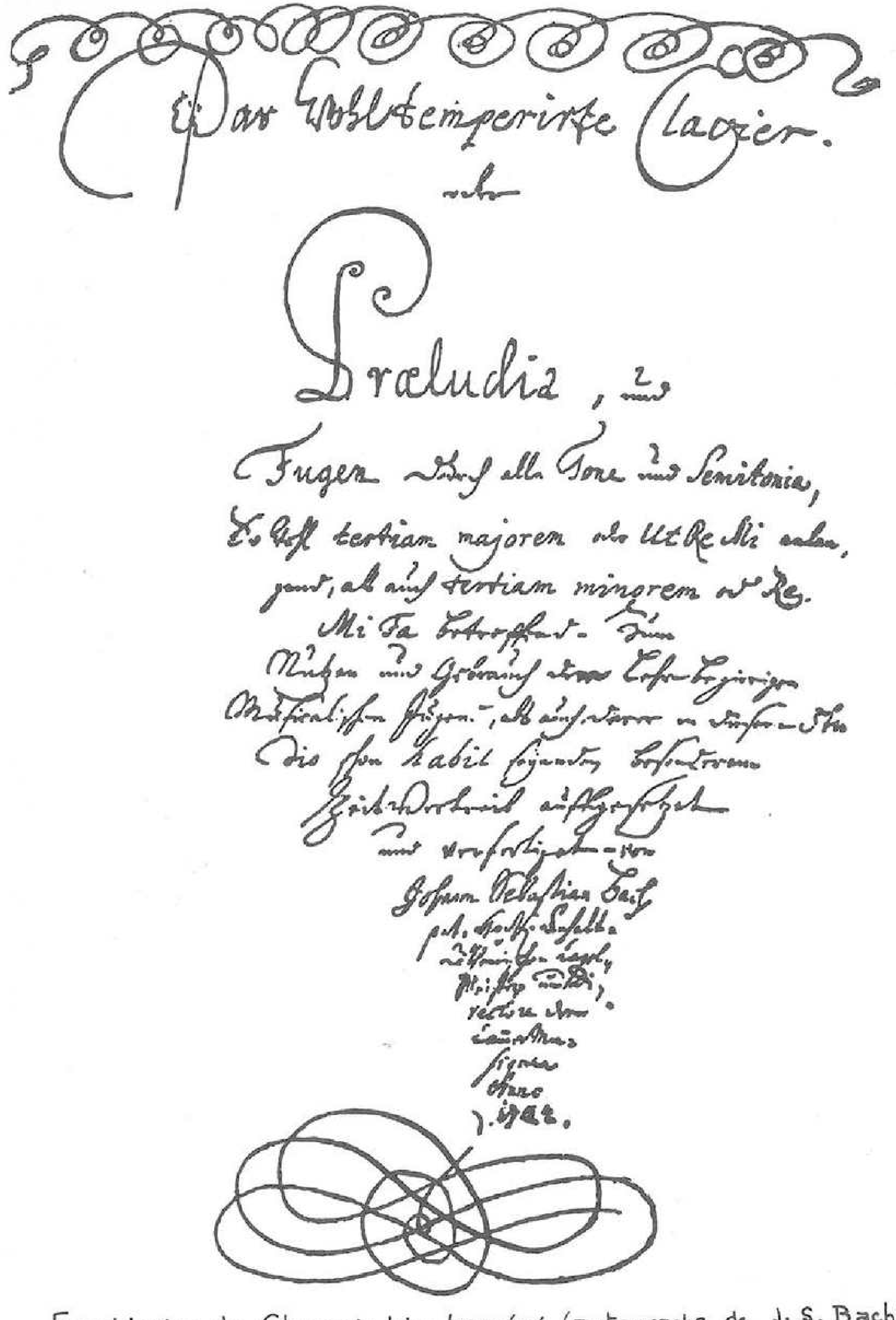
SERGE CORDIER

PIANO bien tempéré

et JUSTESSE orchestrale

préfaces de Paul Badura-Skoda & Jean Guillou

BUCHET / CHASTEL



Das Wohltemperirte Clavier.
oder
Præludia, und
Fugen durch alle Tone und Semitonia,
So wohl tertiam majorem oder Ut Re Mi anlangend,
als auch tertiam minorem oder Re
Mi Fa betreffend. Zum
Nutzen und Gebrauch der Lehr-begierigen
Musicalischen Jugend, als auch derer in diesem studio
schon habil seyenden besonderem
Zeitvertreib auffgesetzet
und verfertiget von
Johann Sebastian Bach.
p.t. Hochfürstl. Anhalt-
Cöthenischen Capel-
Meistern und Di-
rectore derer
Camer Mu-
siquen.
Anno
1722.

Frontispice du Clavecin bien tempéré (autographe de J. S. Bach)

PIANO BIEN TEMPÉRÉ
ET
JUSTESSE ORCHESTRALE

DANS LA COLLECTION « MUSIQUE »
dirigée par E. Buchet

La Petite Chronique d'Anna Magdalena BACH.

Éva et Paul BADURA SKODA,
L'art de jouer Mozart au piano.

Ludwig VAN BEETHOVEN,
Carnets intimes.

Hector BERLIOZ,
Beethoven.

Pierre BERNAC,
Francis Poulenc et ses mélodies.

David BLUM,
Pablo Casals et l'art de l'interprétation.

Alfred BRENDEL,
Réflexions faites.

Edmond BUCHET,
Beethoven. Légendes et vérités.
J.-S. Bach.
Nouvelle connaissance de la musique.

Jacques CHAILLEY,
Parsifal, un opéra initiatique.

Hans FANTEL,
Les Strauss, rois de la valse.

James GALWAY,
Ma vie de flûtiste.

Bernard GAVOTY,
Reynaldo Hahn.
Alfred Cortot.
Anicroches.
Louis Vierne.

Jean GUILLOU,
L'orgue souvenir et avenir.

Franz LISZT,
Chopin.

Yehudi MENUHIN,
L'Art de jouer du violon.
Variations sans thème.

Arnold SCHOENBERG,
Le style et l'idée.

Robert et Clara SCHUMANN,
Lettres d'amour.
Journal intime.

Richard WAGNER,
Ma vie.

Daniel SNOWMAN,
Le Quatuor Amadeus.

SERGE CORDIER

PIANO BIEN TEMPÉRÉ ET JUSTESSE ORCHESTRALE

Le tempérament égal à quintes justes

Préfaces de
Paul Badura-Skoda et Jean Guillou

ÉDITIONS BUCHET/CHASTEL
18, rue de Condé – 75006 PARIS

Si cet ouvrage vous a intéressé, il vous suffira d'envoyer votre carte de visite aux Éditions BUCHET/CHASTEL, 18 rue de Condé, 75006 PARIS, pour recevoir gratuitement nos bulletins illustrés par lesquels vous serez informé de nos dernières publications.

A Yehudi Menuhin
et à la mémoire d'Hephzibah Menuhin
en reconnaissance des encouragements précieux
qu'ils m'ont prodigués

A mon cher Maître Simon Debonne
à qui je dois, en cherchant à m'expliquer
sa façon intuitive d'accorder les pianos,
d'être arrivé à la théorie
du Tempérament égal à quintes justes

Je n'avais jamais entendu un piano sonner si librement, avec un ton si riche.

Yehudi MENUHIN.

SOMMAIRE

PRÉFACE DE PAUL BADURA-SKODA

« Tout ce qui est grand est simple. »

Cette vérité fondamentale vaut aussi pour le nouveau système d'accordage de Serge Cordier, qui obtient au moyen de quintes justes et d'octaves imperceptiblement agrandies d'étonnants résultats.

Théoricien, musicien et technicien du piano, Serge Cordier a créé, en partant de la pratique, un système qui satisfait à toutes les exigences théoriques. Il a démontré que l'axiome admis jusqu'à présent : « Les quintes doivent être *tempérées* pour que les octaves puissent être absolument justes » reposait sur un préjugé. Dans la réalité, en effet, l'oreille réagit à des quintes trop petites avec plus de sensibilité qu'à des octaves trop grandes. Les violonistes savent par expérience, par exemple quand ils font des notes harmoniques, que les octaves justes sont souvent perçues à l'audition comme trop petites, c'est-à-dire comme fausses.

A partir de cette constatation, on peut dire dès aujourd'hui que ce nouveau système, qui fut certes déjà employé dans la pratique par quelques très bons accordeurs – mais sans fondement théorique – s'affirmera, au moins à égalité de droits, à côté des méthodes d'accordage connues jusqu'à présent. Car ici aussi il s'agit d'un tempérament égal qui permet de jouer avec la même justesse dans tous les tons.

Le livre de Serge Cordier atteindra sans doute aussi un autre but, à savoir que le métier d'accordeur ou de facteur de pianos, souvent mésestimé jusqu'à ce jour, devrait bénéficier de l'estime générale à laquelle il a droit. Il s'agit en effet d'un métier hautement spécialisé – comparable, par exemple, à celui de joaillier, de mécanicien de précision, de restaurateur de tableaux, – professions qui exigent des connaissances théoriques, des sens bien éveillés, une main habile, et de longues années de pratique. Et c'est ce métier qui permet d'obtenir ces hautes performances sans lesquelles il ne serait tout simplement pas possible de faire de la bonne musique.

Paul BADURA-SKODA.

PRÉFACE DE JEAN GUILLOU

Un des éléments d'exécution de la musique occidentale les moins discutés, le plus généralement admis et pourtant les plus arbitraires et discutables, est bien le tempérament des instruments à claviers. Si cette question fut l'objet de longs débats, de longues discussions théoriques aux XVII^e^ et XVIII^e^ siècles, notamment depuis l'universalisation du tempérament actuellement pratiqué, celui-ci fut admis et l'est encore comme la solution la plus satisfaisante et la plus rationnelle. Seuls, certains cercles de musicologues, experts, organistes et clavecinistes remettent en question ce principe, mais c'est alors en faveur d'un retour en arrière dont l'une des caractéristiques les plus apparentes et les plus significatives est d'éliminer toute possibilité d'exécution de l'œuvre de J.-S. Bach et de toute la musique qui fut écrite jusqu'à nos jours. C'est toujours en faveur des tempéraments inégaux, ceux-là mêmes que J.-S. Bach avait tant combattus pour favoriser l'exécution de son œuvre (nouvelle par l'utilisation de toutes les tonalités) et pour permettre en même temps l'évolution de toute la musique à venir, que ces différents cercles tendent à faire évoluer l'accord des instruments à clavier. On prétend ainsi rendre plus fidèlement la musique d'autrefois, ce que tout musicien attentif ne manquera pas de considérer comme un leurre s'il veut bien admettre que ces tempéraments inégaux étaient aussi différents que les diapasons eux-mêmes, selon les pays, les régions et les époques, et que cela ne peut être qu'un pur hasard, presque jamais rencontré, si telle musique s'adapte au tempérament pour lequel elle fut conçue.

Cette question doit surtout retenir notre attention pour déplorer que, principalement en matière de facture d'orgue, des sommes d'argent et d'énergie considérables se trouvent ensevelies dans la construction d'instruments que l'oreille d'un musicien inspiré ne saurait supporter. La seule réflexion que l'on pourrait ajouter est celle-ci : imaginons l'ouverture de Tristan et par conséquent les œuvres de Reubke, Reber et Schoenberg jouées sur un orgue à tempérament inégal! Dieu merci, pour ce qui est du piano, si l'on n'en est pas encore venu à l'idée d'accorder le piano inégalement, c'est que le piano est ignoré et méprisé par ces archaïsants.

Mais la remise en question proposée par les thuriféraires d'un historicisme mal pensé ne doit pas fermer le dossier concernant le tempérament. Elle doit au moins laisser entendre qu'effectivement le tempérament pratiqué aujourd'hui ne doit pas être considéré comme un idéal absolu et qu'il serait peut-être intéressant de chercher une solution meilleure. Nous savons, et Serge Cordier nous le démontre de façon troublante, que la justesse n'est pas mathématique mais psychologique. Deux grands violonistes jouant juste jouent de manière différente, et l'on pourrait dire que le meilleur orchestre à cordes est celui qui a tant travaillé, que chaque instrumentiste est parvenu à adopter une justesse convenue et assimilée par tous ses confrères. Si un orchestre nouvellement constitué d'instrumentistes de haut niveau ne peut jamais être excellent tout de suite, dès les premières exécutions, c'est précisément, et en grande partie, parce que tous ces musiciens parfaits n'auront pas encore convenu d'une justesse commune.

Ainsi cette remise en question du tempérament du piano est-elle justifiée, mais elle devra passer par une solution d'autant plus difficile que l'on est convaincu de l'impossibilité d'une justesse absolue pour la raison toute simple que le RÉ ♯ et le MI ♭ devront être la même note. C'est ce que Serge Cordier a tenté de reconsidérer, à la grande surprise et au grand désappointement de tous ceux qui trouvent si facile et tellement plus confortable de continuer à faire ce qui a été fixé depuis deux siècles et qu'ils croyaient fixé à jamais.

Cette recherche de Serge Cordier est partie de considérations purement auditives et c'est là que je mets toute ma confiance : le musicien-accordeur Serge Cordier a écouté, puis le physicien Serge Cordier a appuyé de ses cotations techniques les conclusions suscitées par l'oreille. Il ne m'incombe pas de faire une critique technique du tempérament Cordier, ce serait au-delà de mes compétences. Il me faut simplement dire que ce tempérament me satisfait mieux que le tempérament habituel. Il me semble plus proche de ce que l'oreille entend des instruments de l'orchestre et, par là même, le piano ainsi accordé sera plus apte à accompagner un violoniste ou un violoncelliste et plus apte à être confronté, en tant qu'instrument concertant, à l'orchestre. En outre, les harmonies les plus complexes me semblent plus claires, plus lisibles, si l'on veut bien ne plus être esclave de la première surprise qui fera s'étonner l'oreille de ne plus entendre ce à quoi elle était accoutumée : des septièmes plus neutres, des tierces pâles, plus grises. Les tierces majeures de Cordier sont plus proches des tierces du violoniste. Ajoutons que même les octaves-Cordier vont rejoindre les octaves du violoniste dans la mesure où celui-ci les « écarte » sensiblement, ce qu'un bon accordeur traditionnel avait tendance à faire en les agrandissant progressivement dans sa montée vers l'aigu du clavier. Ceci est une des observations qui avaient conduit Serge Cordier à ses investigations si fructueuses, et si nécessaires.

On peut imaginer que ma première réflexion, en entendant le tempérament Cordier, me conduisit vers l'orgue et que mon désir le plus vif fut aussitôt de savoir si ce tempérament serait applicable à cet instrument. Je n'eus pas de cesse que je n'eusse entrepris les expérimentations nécessaires, d'abord sur un jeu, puis sur un orgue complet. Je fus servi par l'intérêt du facteur d'orgues Detlef Kleuker et de son harmoniste Hans Bloningen qui entreprirent les études nécessaires pour mener à bien mes projets et accorder un orgue de construction nouvelle selon ce nouveau tempérament. Ce qu'ils purent réaliser grâce à la curiosité éclairée d'un amateur d'orgue qui fit construire un instrument selon mes plans et accepta cette innovation.

Les résultats obtenus furent à la fois concluants et enrichissants. Ils conduisirent en outre à un certain nombre de constatations qui, elles-mêmes, appelleraient de nouvelles études. Par exemple celle de la mouvance tonale de tous les jeux d'orgue dont il serait bon de faire une étude approfondie. Celle aussi de l'influence tonale d'un jeu sur un autre, influence dont les raisons demeurent encore inexpliquées. Enfin cette constatation un peu douloureuse à laquelle j'ai toujours été sensible qu'il est virtuellement impossible de maintenir à l'orgue un accord absolu, que ce soit celui de Cordier ou un autre, et que tel tuyau bien accordé, une minute plus tard aura légèrement changé, qu'enfin l'absolu, en ce domaine, est irréalisable à l'orgue, au moins dans l'état actuel des techniques de facture d'orgues. Il est bien triste de penser que jamais l'orgue le mieux construit, le plus finement accordé ne sera absolument juste, – triste surtout lorsque l'on pense à la complexité harmonique de cet instrument, laquelle exigerait précisément une justesse d'autant plus réelle.

Un dernier mot, lié à mon activité personnelle : le tempérament Cordier trouve en moi d'autant plus d'adhésion théorique pour le domaine de l'orgue que celui-ci comporte des jeux de mixtures qui eux-mêmes donnent les quintes justes des sons harmoniques, lesquelles se trouvent ainsi en meilleur accord avec cette gamme.

C'est en reconnaissant les qualités et l'importance de ce courageux travail et de cette courageuse initiative (on sait qu'il est toujours dangereux de vouloir ouvrir des chemins nouveaux et que l'on rencontre alors toujours d'infatigables détracteurs) que je joins ces observations à ce bel ouvrage. Ayant moi-même cherché dans le domaine de la facture d'orgue à ouvrir quelques fenêtres et connaissant les difficultés et les dangers d'une telle entreprise, je souhaite que tous les vrais musiciens, compositeurs et interprètes, rendent hommage à une telle innovation, riche en heureuses conséquences et susceptible de servir leur idéal et leur œuvre.

Jean GUILLOU.

INTRODUCTION

« Qu'est-ce qu'un instrument bien tempéré? »

L'expression est bien connue de tous les musiciens, mais pour nombre d'entre eux, la signification en est vague et incertaine, pour ne pas dire mystérieuse.

Si la formule est familière à tous, c'est certainement à cause de l'admirable ouvrage de Jean-Sébastien Bach, *Das wohltemperierte Clavier*, titre traduit habituellement en français par *Le Clavecin bien tempéré*. La page de titre du premier livre porte la mention suivante : *« Préludes et fugues dans tous les tons et demi-tons, aussi bien tierce majeure UT, RÉ, MI que tierce mineure RÉ, MI, FA »* (ce qui veut dire tout simplement : dans toutes les tonalités majeures et mineures) *« pour les besoins et l'usage de la jeunesse avide de connaître la musique comme pour le passe-temps de ceux qui sont déjà habiles dans cet art... »*.

Malgré ses préoccupations modestement didactiques, *Le Clavecin bien tempéré* est l'un des plus grands chefs-d'œuvre de l'esprit humain, l'un de ceux qui allient le plus heureusement la perfection de la forme et la profondeur de la pensée, la rigueur de l'architecture et la fantaisie de l'imagination, l'intensité dramatique et la poésie intérieure. Chacun des deux livres du *Clavecin bien tempéré* contient vingt-quatre préludes et vingt-quatre fugues, à raison d'un prélude et d'une fugue pour chaque tonalité majeure et mineure. L'influence de ce travail a été considérable sur toute la musique qui a suivi, y compris celle de notre époque. En démontrant par l'exemple qu'il était possible de faire usage de toutes les tonalités sur un instrument à clavier, à condition qu'il soit convenablement accordé, Bach a libéré les instrumentistes des contraintes que leur imposaient les systèmes d'accord précédents, et il a ouvert aux compositeurs un domaine illimité : celui de la liberté totale de modulation.

Il n'est pas étonnant dans ces conditions qu'à propos de système « bien tempéré », les musiciens s'accordent au moins sur un point :

c'est un système permettant de jouer dans toutes les tonalités avec seulement douze notes par octave. On pourrait donc s'attendre à ce que l'expression corresponde à une façon bien déterminée d'accorder les instruments. Il n'en est rien, et sans entrer pour l'instant dans les détails techniques ou les subtilités théoriques, il n'est peut-être pas inutile que nous énumérions dès maintenant les divers systèmes qui, à des titres différents, se réclament de la qualification de « bien tempéré ». Pour les mathématiciens et les physiciens, la chose est claire : un système bien tempéré ne peut être qu'un tempérament *égal*, c'est-à-dire divisant l'octave juste, au sens physique du terme [1], en douze demi-tons rigoureusement égaux. Telle est la définition traditionnelle de la gamme bien tempérée, celle qu'on trouve dans les ouvrages d'acoustique et les encyclopédies de la musique.

Mais quel était le tempérament de Bach ? Selon certains musicologues modernes, il s'agissait sans doute de l'un des trois systèmes successivement inventés au XVIIe siècle par Werckmeister. Mais il se peut aussi que Bach, dont l'oreille devait être d'une finesse extraordinaire [2], ait eu sa façon bien à lui d'accorder son clavecin. On en est réduit aux conjectures. Ce qui est certain, c'est qu'il ne l'accordait pas selon le tempérament égal des physiciens, car si on réalise un tel système de façon extrêmement précise, en contrôlant les fréquences par des procédés électroniques, on obtient un accord qui « sonne tout à fait faux [3] ».

Mais il existe d'autres gammes bien tempérées, par exemple les diverses gammes réalisées par tous les bons accordeurs : toutes s'écartent très sensiblement du tempérament égal théorique, même quand ils croient l'appliquer très rigoureusement.

Pour notre part, nous avons élaboré un nouveau système, fondé sur la division de la quinte juste en parties égales, que nous exposerons plus loin.

Enfin de nombreux autres tempéraments pourraient être conçus et réalisés de façon à permettre de jouer dans toutes les tonalités.

Ainsi l'expression de « gamme bien tempérée » recouvre en fait des réalités bien distinctes. Or ce n'est pas par des mots qu'on résout les problèmes, quand chacun leur donne un sens différent. La question de la justesse tempérée, c'est-à-dire celle des instruments à clavier, est donc fort complexe, et nous avons pensé qu'elle méritait un examen approfondi.

Celle de la justesse musicale en générale n'est pas moins compliquée. Depuis des siècles, en effet, de nombreux observateurs et chercheurs de toute sorte, fort différents par l'origine, la formation, et la culture, se

---

[1] Autrement dit, correspondant à un rapport de fréquences égal à 2/1 (voir « Acoustique des hauteurs », p. 183).

[2] Bach, « la parfaite oreille », comme disait le philosophe Alain.

[3] Cf. E. Leipp, *Acoustique et Musique*, Ed. Masson, p. 134.

sont intéressés à cette question et continuent de nos jours à en être curieux.

Or le musicien, professionnel ou amateur, le physicien et le mathématicien, le musicologue et l'historien, le facteur de pianos et d'orgues, l'ingénieur électronicien, le physiologiste de l'oreille, le philosophe platonicien et le philosophe pythagoricien, le spécialiste de la musique ancienne, de la musique sérielle ou de la musique électro-acoustique, le violoniste, le chanteur ou le pianiste, le mélomane éclairé, le professeur de solfège ou de formation musicale, et enfin l'accordeur, ce technicien de la justesse, tous ces intéressants personnages abordent ces problèmes avec des connaissances très diverses et des préoccupations fort variées. Leurs points de vue sont très éloignés, leurs optiques – si nous osons employer ce mot dans le domaine des sons – sont tout à fait dissemblables. Ils n'utilisent pas les mêmes unités de mesure, ils ne parlent pas le même langage, ils n'emploient pas le même vocabulaire, et quand ils se servent du même mot, ce n'est pas toujours avec la même acception! La plupart du temps d'ailleurs, chaque spécialiste ignore superbement les recherches effectuées dans les disciplines voisines.

Rien de surprenant, dès lors, à ce que le moindre problème provoque souvent des réponses contradictoires et des discussions passionnées, dont certaines durent depuis des siècles! C'est la bouteille à l'encre... quand ce n'est pas le panier de crabes!!

Veut-on un exemple du désordre anarchique présenté par l'acoustique musicale quand il s'agit de justesse? Il suffit de poser la question suivante, en apparence des plus simples :

– *De DO♯ ou de RÉ♭, quelle est la note la plus haute?*

– *C'est DO♯,* affirment la plupart des musiciens, bien assurés de ce que leur dicte leur instinct.

– *Pas du tout, c'est RÉ♭,* répondent généralement les physiciens, qui s'appuient depuis quatre siècles sur les lois de la résonance naturelle.

– *Mais,* s'exclame le pianiste, *DO♯ et RÉ♭, c'est la même chose, puisque je les joue avec la même touche!*

Et en effet, si on voulait sur un piano distinguer les notes enharmoniques, il faudrait que le clavier comporte DO♭, DO, DO♯; RÉ♭, RÉ, RÉ♯, etc., et il faudrait donc par octave trois fois plus de touches qu'il n'y a de notes dans la gamme diatonique, soit 3 × 7 = 21 touches par octave... et ce serait demander beaucoup au malheureux pianiste, lequel doué ou non, ne possède jamais que dix doigts!

Ainsi c'est faute de pouvoir faire autrement que le piano identifie DO♯ et RÉ♭. 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 apparaissent donc comme des compromis, des cotes mal taillées, des pis-aller; aucune n'est théoriquement satisfaisante.

Pourtant, que le musicien ne s'épouvante pas et que le futur accordeur ne se décourage pas : malgré toutes les difficultés théoriques, la justesse existe! Les meilleurs musiciens et les meilleurs accordeurs en donnent à chaque instant la preuve : eux et eux seuls connaissent bien le problème de la justesse, mais ils le connaissent d'une manière presque toujours empirique. Si les idées généralement admises sur la justesse semblent aboutir à des contradictions, c'est qu'elles ont perdu le contact avec la réalité et avec le fait musical pour se réfugier dans l'abstraction théorique ou mathématique. Il faut donc reprendre le problème en partant de l'observation de ce que font les meilleurs instrumentistes et les meilleurs accordeurs, afin de dégager les principes qui les guident et les lois sous-jacentes auxquelles ils obéissent, et recourir à la méthode expérimentale, la seule véritablement scientifique.

Arrivé à ce point de l'exposé du problème, il est sans doute utile de définir exactement ce que nous entendons par justesse musicale et par justesse tempérée afin de voir ce qui distingue mais également ce qui lie obligatoirement ces deux formes de justesse.

La justesse musicale est celle des instruments libres de leurs fréquences, qui peuvent émettre une infinité de sons de hauteurs différentes à l'intérieur d'une octave : c'est donc celle des instruments à cordes, par exemple, mais aussi celle de la voix humaine et de la plupart des instruments de l'orchestre qui, contrairement à ce qu'on pense généralement, ne sont pas du tout des instruments à sons fixes mais possèdent presque tous la faculté de pouvoir très sensiblement modifier la hauteur de chacun des sons qu'ils émettent : c'est ainsi qu'une flûte ou une clarinette, par exemple, peuvent tout comme un violon, émettre une infinité de sons de hauteurs différentes à l'intérieur d'une octave.

La justesse tempérée, c'est au contraire celle des instruments à sons fixes qui ne peuvent fournir qu'un nombre limité de sons par octave : c'est, en particulier, celle des instruments à clavier, généralement limités à douze sons par octave.

La justesse musicale ne semble pas affaire de calcul mais de perception ou de sentiment musical : on a ou on n'a pas d'oreille, comme on dit. Celui qui ne possède pas cette faculté n'a aucune chance de devenir un jour bon violoniste; celui qui la possède jouera juste dès qu'il aura acquis une maîtrise de son instrument suffisante pour émettre des sons correspondant à son audition intérieure : simple question de travail et d'habileté. L'expérience montre que ce sentiment « naturel » de la justesse conduit effectivement l'instrumentiste à utiliser une grande variété de hauteurs à l'intérieur d'une octave, bien supérieure aux douze sons traditionnels des instruments à clavier : ainsi un violoniste ne jouera pas toujours un DO♯ comme un RÉ♭; mais il ne jouera pas non plus un DO♯, 5^e degré du ton de FA♯ comme un DO♯, 7^e degré du ton de RÉ; dans ce dernier cas, l'attraction de la tonique RÉ l'amènera souvent à jouer un DO♯ sensiblement plus haut. Telle est la raison principale pour laquelle un musicien, même pourvu d'une excellente oreille, ne risque pas de parvenir à accorder son piano ou son clavecin s'il n'a pas appris à « tempérer » les intervalles, c'est-à-dire à les réaliser conformément à une théorie établie appelée « tempérament »[1] : c'est dire que toute justesse tempérée apparaît, à première vue, comme une justesse imparfaite, artificielle, fruit d'un difficile compromis entre, d'une part, l'idée qu'on se fait à une époque déterminée de la justesse musicale, d'autre part, le souci de répondre à l'évolution de l'écriture musicale (possibilité de moduler, par exemple), et enfin la nécessité de limiter le nombre des touches par octave.

On peut même parler ici de « compromis historique » en ce sens que si les claviers chromatiques ont presque toujours été limités à douze touches par octave, le choix de ces douze hauteurs a beaucoup varié dans le temps en fonction de l'évolution de l'écriture et de l'idée que les théoriciens et les acousticiens se faisaient de la justesse à une époque donnée. En ce sens, le tempérament égal à quintes justes que nous proposons dans cet ouvrage est au moins le 6ᵉ ou le 7ᵉ en date depuis qu'il existe des claviers chromatiques dodécaphoniques. La gamme bien tempérée traditionnelle, qu'il serait plus précis d'appeler le tempérament égal à octaves justes, ne s'est guère généralisée sur les claviers qu'à la fin du XVIIIᵉ siècle et au début du XIXᵉ. Nous avons déjà vu, en effet, que ce que Bach entendait sous le nom de gamme bien tempérée, n'était peut-être pas un tempérament égal mais seulement un tempérament qui permettait de jouer dans tous les tons, contrairement aux tempéraments en usage auparavant.

Voilà de quoi dissiper toute illusion chez le lecteur s'il croyait qu'un piano ne peut être que juste ou faux! Certes, c'est une vérité d'expérience, un piano peut être parfaitement faux... mais il semble qu'il ne puisse être en aucun cas parfaitement juste, même après le passage du plus merveilleux des accordeurs : toute justesse tempérée ne privilégie-t-elle pas fatalement certains intervalles au détriment d'autres?

La question se pose alors de savoir s'il existe une justesse tempérée plus juste que les autres, c'est-à-dire plus proche de la justesse musicale, celle des grands violonistes ou des meilleurs ensembles vocaux ou instrumentaux, par exemple. Mais une question se pose aussitôt après : qu'est-ce donc que la justesse musicale?

Une chose est certaine : les théories encore couramment admises tant dans le domaine de la justesse musicale que dans celui de la justesse tempérée, ne correspondent pas (ou ne correspondent plus?) à la pratique des musiciens et des accordeurs, et ne se maintiennent que par la force de l'inertie; on se contente de répéter ce qu'on a appris ou entendu dire, sans rien vérifier, et sans tenir compte des travaux réalisés depuis une vingtaine d'années dans les laboratoires d'acoustique. C'est

---

[1] On appelle « tempérament » toute division de l'octave en un certain nombre de parties *égales ou inégales*. Le mot « tempérament » ne s'applique donc pas, comme on le croit trop souvent, à la seule gamme bien tempérée traditionnelle.

dans ces conditions que peut se maintenir une théorie aussi surannée et aussi étrangère à la pratique des musiciens que celle de la justesse dite « naturelle », chère aux physiciens et aux partisans de Zarlin et d'Helmholtz, mais abusivement confondue avec la justesse musicale.

Selon cette théorie, qui remonte au XVIe siècle, est considéré comme idéalement juste, tout intervalle « naturel » correspondant à un rapport de fréquences simple conformément aux lois de la résonance et qui n'émet donc aucun battement.

Cette théorie séduisante mais par trop simplificatrice se retrouve dans bien des dictionnaires ou encyclopédies de la musique qui définissent la fausseté ou la « dureté » d'un intervalle par l'écart qui le sépare de l'intervalle « naturel » le plus voisin.

On retrouve la même théorie sous une autre forme dans bien des théories musicales en usage dans les conservatoires et écoles de musique : la gamme diatonique majeure y est « justifiée » par trois accords parfaits majeurs dits « générateurs », construits sur les trois notes « tonales » en utilisant les harmoniques de rang trois (la quinte) et cinq (la tierce) de ces trois notes. C'est la définition même de la gamme de Zarlin (voir, Appendice p. 249).

Or les musiciens d'orchestre – les relevés de fréquences qu'on a pu faire dans les laboratoires d'acoustique en France et dans le monde le montrent à l'évidence – ne respectent presque jamais la justesse « naturelle ». Doit-on en déduire que les meilleurs violonistes jouent faux? C'est ce que prétendait Helmholtz, mais nous ne pouvons plus le suivre dans cette voie. Certes, le grand savant allemand eut l'immense mérite de jeter le premier des ponts entre la musique, la physique et la physiologie de l'oreille. Certes, ses travaux sur la résonance naturelle ont été décisifs dans le domaine des sciences physiques; mais définir la justesse musicale à partir de la seule résonance naturelle est une erreur lourde de conséquences, d'où procèdent la plupart des contradictions dont nous avons fait état. C'est cette théorie qui conduit notamment à placer, en règle générale, DO♯ plus bas que RÉ♭, ce qui est totalement incompréhensible pour un musicien actuel et de plus parfaitement impraticable!

La théorie traditionnelle de la gamme bien tempérée qu'on trouve également dans la plupart des encyclopédies musicales, des « théories », et des méthodes d'accord, ne vaut guère mieux. C'est qu'elle a sans doute été elle-même élaborée par des théoriciens ou des physiciens influencés par les thèses de Zarlin et d'Helmholtz. Appliquée à la lettre, avec une précision électronique, elle donne, nous l'avons vu, un accord « tout à fait faux », pour reprendre l'expression d'E. Leipp, directeur du Laboratoire d'Acoustique de l'université Paris-VI. Appliquée par un bon accordeur, elle semble donner, il est vrai, de bien meilleurs résultats. Mais qu'on fasse alors un relevé des fréquences d'un piano ainsi accordé, et on s'apercevra avec surprise que la courbe obtenue, appelée « diagramme d'accord » s'éloigne sensiblement de la courbe idéale correspondant à la gamme bien tempérée théorique; les meilleurs accords, c'est-à-dire ceux qui, d'après les musiciens, sont les plus justes et les plus musicaux, ne sont pas d'ailleurs ceux qui s'en écartent le moins. Quoi qu'ils en pensent, comme le remarque encore E. Leipp, les meilleurs accordeurs n'accordent pas du tout « bien tempéré » au sens qu'on donne traditionnellement à ces termes : ils n'appliquent pas vraiment la théorie que néanmoins ils continuent parfois de professer.

Mais alors que font les bons accordeurs et comment jouent les instrumentistes de l'orchestre? à quelles lois obéissent-ils? en un mot, qu'est-ce que la justesse, ce sentiment à la fois mystérieux et évident qu'une note est ou n'est pas « juste » à la hauteur où on l'attendait?

A toutes ces questions, nous apporterons ici des réponses inédites qui débouchent, pour ce qui est de la justesse tempérée, vers une méthode d'accord entièrement nouvelle : le tempérament égal à quintes justes, solution en apparence paradoxale puisqu'*on a toujours cru que le tempérament égal, appelé généralement gamme bien tempérée, supposait obligatoirement le raccourcissement de la quinte;* or, non seulement ce n'est pas exact, mais nous croyons pouvoir affirmer qu'on peut obtenir un tempérament parfaitement égal en maintenant la quinte juste et qu'un tel tempérament est à la fois plus juste, plus musical et plus facile à réaliser que celui qui est traditionnellement fondé sur le raccourcissement de la quinte. Ce n'est pas d'ailleurs en partant de considérations théoriques que nous avons imaginé ce nouveau tempérament mais en réfléchissant sur les anomalies apparentes du comportement des meilleurs accordeurs, à commencer par celui de notre Maître à accorder, Simon Debonne : celui-ci, sans le savoir, tendait déjà dans sa pratique de l'accord à réaliser ce tempérament. Réciproquement, un relevé ou diagramme d'accord établi par E. Leipp d'après un piano accordé par nos soins selon ce tempérament s'est révélé parfaitement identique, dans son allure générale, aux diagrammes d'accord établis à partir d'accords réalisés par des accordeurs réputés.

Dès lors, il nous parut évident que les meilleurs accordeurs, ceux dont l'instinct musical les conduisait à s'écarter empiriquement de l'enseignement reçu en École d'accord, cherchaient tout bonnement à se rapprocher de la justesse musicale orchestrale qui s'inscrit, comme on le sait, dans un cycle de quintes justes : celui que forme l'accord des cordes à vide des instruments à cordes. Deux faits confirmèrent ce point de vue : d'une part, l'accueil presque unanimement favorable, voire enthousiaste fait par les pianistes et les musiciens en général, au tempérament égal à quintes justes qui, loin de les surprendre, semble seulement les combler et dont l'intérêt essentiel paraît résider bien plus dans la perfection que dans la nouveauté! L'autre fut la découverte de *Qu'est-ce que jouer juste?* remarquable ouvrage sur la justesse musicale de Van Esbroeck et Monfort qui confirmait dans ce domaine bien des points que nous avions nous-même pu mettre en lumière dans celui de la justesse tempérée. Comme R. Dussaut et E. Ansermet, ces deux chercheurs pensaient que la gamme de notre musique occidentale était celle de Pythagore construite à partir d'un cycle de quintes justes. Dès lors, il paraissait logique que le tempérament égal à quintes justes semblât plus juste que la gamme bien tempérée traditionnelle : il se rapprochait davantage de la gamme de Pythagore, non seulement par ses quintes justes mais également par ces intervalles que les bons accordeurs qualifient de « chantants », comme les tierces et leurs redoublements, et les sixtes : ces intervalles sont en effet animés d'une sorte de vibrato rapide dû aux battements d'harmoniques et ils jouent de ce fait, comme nous aurons l'occasion de l'expliquer, un rôle essentiel dans la justesse et la sonorité des instruments à clavier. Or le « vibrato » du tempérament égal à quintes justes se rapproche très sensiblement du « vibrato » pythagoricien.

Cependant une analyse plus poussée des résultats obtenus à la suite des expériences de Van Esbroeck et Monfort d'une part, de nos propres recherches d'autre part, nous a amené à formuler sur la justesse musicale une autre hypothèse qui semble mieux tenir compte à la fois des expériences des acousticiens et du point de vue de nombreux musicologues contemporains concernant l'évolution de l'écriture musicale et de la pratique instrumentale depuis deux siècles[1].

Ainsi, c'est la remise en cause des idées reçues portant sur la justesse tempérée ainsi que la mise au point d'un nouveau tempérament égal inspiré par la pratique des meilleurs accordeurs qui nous a amené à contester également les idées généralement admises sur la justesse musicale. Il faut dire que dans ce dernier domaine, la tâche du chercheur n'est guère facile : les laboratoires d'acoustique avec l'équipement électronique de haute précision dont ils disposent maintenant, ont certes établis de nombreux diagrammes ou relevés de fréquences d'après le jeu des instrumentistes d'orchestre. Mais la difficulté est de savoir les interpréter; la complexité du problème tient à ce que le musicien d'orchestre n'utilise pas, comme le pianiste, seulement 12 sons différents par octave mais une infinité! Certains sons correspondant à des notes bien définies se répètent au cours d'une exécution sans jamais présenter exactement la même hauteur. Il en résulte qu'à côté d'intervalles fixes, on en trouve qui semblent variables et qui, selon le contexte se dilatent ou se rétrécissent : nous touchons là sans doute au mystère même de l'expression et de l'interprétation. Toute démarche prétendant fournir une justification purement physique ou mathématique au langage musical est donc manifestement inadéquate; la justesse relève tout autant ici de la physiologie ou de la psychologie que des sciences exactes car les données physiques et mathématiques sont choisies et interprétées différemment selon les époques et les traditions culturelles. En dépit des théories surannées qu'on trouve encore sous

---

[1] Voir la seconde partie de cet ouvrage : « Qu'est-ce que la justesse? »

la plume de physiciens attardés ou de musiciens abusés, c'est dans cette nouvelle optique que se situent les recherches actuelles. Mais ici encore, les thèses divergent : pour certains, la justesse serait un phénomène purement subjectif et il y aurait pour ainsi dire autant de conceptions de la justesse que d'individus; d'autres, dont nous sommes, se situent plutôt dans la ligne tracée par Van Esbroeck et Monfort et pensent, au contraire, qu'il existe sinon un sentiment objectif de la justesse, du moins une sorte de consensus dans le cadre d'une culture musicale déterminée.

Il reste que toutes ces considérations n'atteindraient pas leur but si elles ne retenaient l'attention que des seuls spécialistes : physiciens, acousticiens ou musicologues avertis : c'est également et principalement aux musiciens, aux pianistes et aux accordeurs que cet ouvrage est destiné. En ce sens, il répond, croyons-nous, à un souci nouveau chez les musiciens : celui de mieux comprendre tous les problèmes concernant la justesse, l'accord ou la facture instrumentale, souci particulièrement manifeste chez les pianistes. C'était aussi celui des musiciens du XVIIIe siècle tels que Bach et Rameau, mais le Romantisme avait balayé les préoccupations de ce genre en faisant de l'artiste un être passionné ou rêveur, parfaitement incapable de se pencher sur ces problèmes ou les niant. Certes il existe et il existera toujours des musiciens pour dire que la justesse n'est qu'une question d'oreille, des violonistes même réputés pour déclarer « Que diable les accordeurs ont-ils besoin de tempérer les intervalles du piano, ils n'ont qu'à les faire justes comme nous »! et des pianistes pour trouver que l'aigu du piano n'est jamais assez haut en jeu arpégé mais qui ignorent qu'on ne peut complètement céder à cette exigence d'ordre physiologique sans rendre les accords plaqués impraticables, ce qu'ils seraient sans doute les premiers à vous reprocher si vous leur présentiez un piano ainsi accordé!

Mais la plupart des grands pianistes et interprètes actuels n'ont heureusement plus cette attitude; ils savent confusément que la justesse tempérée est le fruit de multiples compromis et que la justesse musicale elle-même pose parfois des problèmes épineux. Loin d'être péremptoires, ils paraissent au contraire désireux d'en connaître davantage sur un sujet qui souvent les préoccupe. Ce qui les arrête souvent, c'est qu'ils sont persuadés que tout cela suppose des connaissances approfondies en mathématiques et en acoustique. Pour notre part, nous ne le pensons pas et nous croyons qu'on peut déjà aller fort loin avec des notions relativement faciles à assimiler, pas plus complexes, par exemple, que la connaissance des lois qui régissent la transposition en musique, au piano en particulier! Aussi avons-nous consacré toute une partie de cet ouvrage, intitulée « Acoustique des hauteurs », à l'initiation du musicien, du pianiste et de l'accordeur aux principes et lois élémentaires de l'acoustique musicale[1].

---

[1] On peut cependant comprendre tout ce qui concerne le tempérament égal à quintes

Pourvus de ces connaissances, les musiciens et les accordeurs pourront sans doute contribuer, à côté des chercheurs ou en collaboration avec eux, à résoudre ces problèmes, car ils possèdent quant à eux, une oreille irremplaçable. Si en effet l'appareillage complexe utilisé dans les laboratoires permet de mieux connaître les caractéristiques objectives du son et s'avère en ce sens indispensable, il n'en reste pas moins que les problèmes posés ici concernent l'oreille humaine et plus précisément l'oreille des musiciens. Or celle-ci traite les informations reçues selon ses caractéristiques propres et n'en retient que ce qui répond à ses exigences esthétiques. Il y a déjà depuis peu des acousticiens musiciens, il serait sans doute utile qu'il y ait aussi, toujours plus nombreux, des musiciens et des accordeurs acousticiens. La musique a tout à y gagner, qu'il s'agisse de l'approfondissement du langage traditionnel ou de son renouvellement.

AVERTISSEMENT

A qui s'adresse ce livre

La première partie, « le tempérament égal à quintes justes », présente une nouvelle forme d'accord des pianos. Si elle s'adresse d'abord aux accordeurs, elle retiendra aussi, tout au moins jusqu'à l'« Initiation à l'accord » proprement dite, l'attention des musiciens et, en particulier des pianistes : elle leur permettra, d'une part, de mieux comprendre les problèmes posés par l'accord des instruments à clavier, d'autre part, d'acquérir une formation de l'oreille qui les rendra capables de juger objectivement de la nature d'un accord et de la qualité de son exécution.

La deuxième partie, « Qu'est-ce que la justesse? », intéresse tous les musiciens mais plus particulièrement les musicologues et les acousticiens.

La troisième partie « Acoustique des hauteurs » est une initiation très progressive aux problèmes d'acoustique ayant trait à l'accord des instruments à clavier et à la justesse en général. Elle permettra aux amateurs de musique, aux musiciens et aux accordeurs d'acquérir, si besoin est, les connaissances nécessaires à une bonne compréhension de la première et de la seconde partie de cet ouvrage.

Les paragraphes écrits en petits caractères et signalés comme facultatifs, sont consacrés à l'approfondissement d'un point particulier. On peut les sauter sans que cela nuise à la compréhension du reste de l'ouvrage.

justes et on peut également s'entraîner à accorder selon ce tempérament (première partie de cet ouvrage) sans avoir lu l'« Acoustique des hauteurs ». Il suffit de se reporter aux « Notions sommaires », p. 28.

NOTIONS SOMMAIRES

Le lecteur connaît-il le sens exact des mots suivants : fréquence, hertz, son fondamental, harmonique, intervalle harmonique ou mélodique, comma, savart, cent, battements, rapidité d'un intervalle, partition d'un intervalle, gamme bien tempérée, etc.? sait-il comment on désigne les notes en acoustique musicale, ce que signifie DO_3 ou LA_4?

Si la réponse à ces questions est affirmative, il n'est nul besoin de lire ces notions sommaires destinées seulement à rappeler des connaissances élémentaires et à donner des définitions indispensables à l'intelligence de la première partie : « Le tempérament égal à quintes justes » en abrégé (TÉQJ). Nous reviendrons d'ailleurs dans la troisième partie, « Acoustique des hauteurs », avec toute la précision voulue, sur toutes les difficultés posées par ces questions dans leur rapport avec l'accordage.

Fréquence — Hertz

C'est le nombre de vibrations par seconde. La fréquence du diapason qui donne le LA_3 est officiellement 440. Nous symboliserons la fréquence par la lettre N. Exemple : $N\ LA_3 = 440$. Le hertz est une mesure de fréquence qui correspond à 1 vibration à la seconde. Exemple : le LA_3 a 440 hertz (en abrégé hz), ce qui signifie qu'il vibre 440 fois en une seconde.

Son fondamental et harmoniques

Un son émis par une corde vibrante n'est jamais « simple », il contient toujours un son fondamental, correspondant à la note la plus grave que peut émettre cette corde, et des harmoniques dont la fréquence est multiple de celle du son fondamental : 2N, 3N, 4N, 5N, etc.

Intervalles musicaux — Unisson

La distance entre deux sons s'appelle intervalle. Si 2 sons sont émis successivement, l'intervalle est dit *« mélodique »*, s'ils sont émis simultanément, il est dit *« harmonique »*. Pour apprendre l'accordage, il est nécessaire de savoir désigner instantanément un intervalle quelconque. Nous renvoyons le lecteur à n'importe quel bon traité de « théorie musicale ». Par exemple, à celui de J. Chailley et H. Challan (éd. Leduc).

Lorsque 2 notes sont à la même hauteur, on dit qu'elles sont *« à l'unisson »*.

Dans le cas d'un tempérament égal, que ce soit la gamme bien tempérée ou le tempérament égal à quintes justes, un intervalle correspond à un nombre entier de demi-tons égaux.

Intervalles utilisés en accordage

	Nombre de demi-tons
Tierce mineure	3
— majeure	4
Quarte	5
Quinte	7
Sixte mineure	8
— majeure	9
Octave	12
Dixième (ou tierce redoublée)	16 (4 + 12)
Quinzième (double-octave)	24 (12 + 12)
Dix-septième (tierce + 2 octaves)	28 (4 + 24)

Mesure précise des intervalles

Un intervalle peut être considéré :

1) *comme une différence de hauteur entre 2 sons*

Dans ce cas, on le mesure en commas, en savarts ou en cents.

- *le comma* que nous utiliserons est celui dont on parle dans les théories musicales (comma de Holder ou « comma des musiciens »). Il correspond à 1/53^e d'octave, c'est-à-dire en gros à 1/9^e de ton. Un ton de la gamme bien tempérée, appelé généralement, ton tempéré, correspond à 8,8 de ces commas.
- *le savart :* il correspond à 1/300^e d'octave.
  1 octave = 300 savarts, 1 ton tempéré = 50 savarts
  1 demi-ton tempéré = 25 savarts, 1 comma = 5,6 savarts
- *le cent :* il correspond à 1/1200^e d'octave.
  1 octave = 1200 cents, 1 ton = 200 cents
  1 demi-ton = 100 cents, 1 comma = 23 cents
  1 savart = 4 cents

2) *comme un rapport de fréquences*

Dans un intervalle, nous désignerons toujours par N_2 la fréquence du son le plus aigu et par N_1, celle du son le plus grave. Le rapport d'intervalle est donc $\frac{N_2}{N_1}$. Exemples : entre un son de 200 hz et un son de 100 hz, il y a un rapport $\frac{N_2}{N_1} = \frac{200}{100} = \frac{2}{1} = 2$, c'est le rapport d'octave.

Entre un son de 300 hz et un son de 200 hz, il y a le rapport $\frac{N_2}{N_1} = \frac{300}{200} = \frac{3}{2}$, c'est le rapport de quinte, etc.

Battements

1) *Battements entre sons fondamentaux*

Si deux sons de fréquences voisines N_2 et N_1 sont entendus simultanément, on perçoit alors des battements, c'est-à-dire des variations périodiques de l'intensité. La fréquence des battements est égale à la différence des deux sons. Exemple :

$N_2 = 440$ hz et $N_1 = 435$ hz donc la fréquence des battements est :

$$N_2 - N_1 = 440 - 435 = 5$$

Les battements entre sons fondamentaux ne doivent pas exister sur un piano bien accordé : ils caractérisent en effet un unisson défectueux où les trois cordes d'une même note ne sont pas exactement à la même hauteur. Le rôle de l'accordeur est alors de supprimer ces battements.

2) *Battements entre harmoniques – Rapidité d'un intervalle*

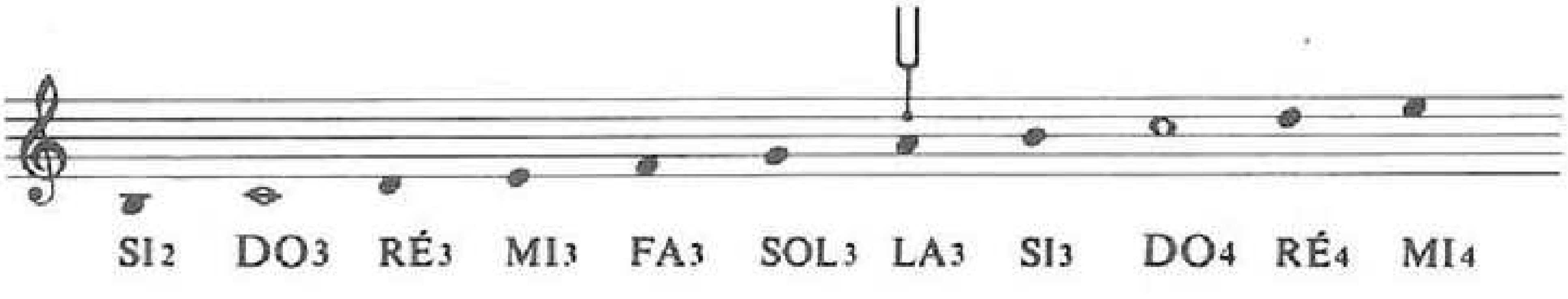
Si deux sons de fréquences non voisines N_2 et N_1 sont entendus simultanément, il ne se produit pas de battements entre les sons fondamentaux de fréquences N_2 et N_1, mais on perçoit fréquemment des battements qui ont lieu soit entre l'un des deux sons fondamentaux et un harmonique de l'autre son, soit entre un harmonique de l'un des deux sons et un harmonique de l'autre.

On appelle alors rapidité de l'intervalle la fréquence de ces battements où interviennent les harmoniques. La « couleur » sonore d'un intervalle et par suite, la sonorité tout entière d'un instrument dépendent beaucoup du choix de ces rapidités. L'essentiel de l'art d'un accordeur consiste donc à donner à chaque intervalle la rapidité qui convient. Nous désignerons la rapidité d'un intervalle tantôt par la lettre R, ex. $R = 8$, tantôt par un chiffre entre parenthèses placé à la suite d'un intervalle, ex. : SOL_2 SI_2 (8).

NOMENCLATURE

Désignation des notes

1) *En acoustique musicale*



Le DO situé sur la première ligne supplémentaire en dessous de la clé de SOL, s'appelle DO_3. De LA $-_1$, la note la plus grave du piano au DO_7, la note la plus aiguë, nous avons donc successivement :

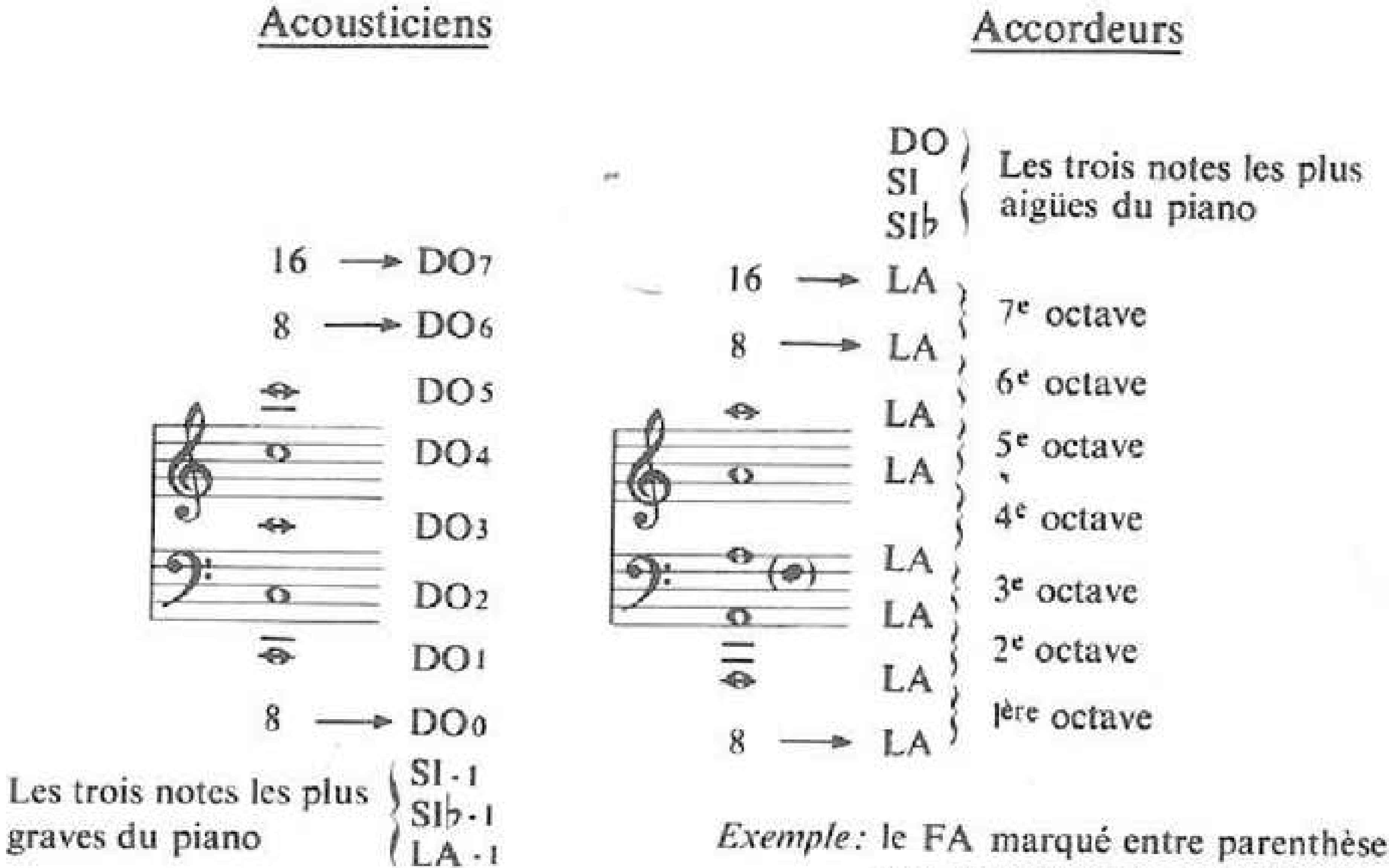
les 3 notes les plus graves d'indice $-_1$: $LA-_1$, $SI\flat-_1$, $SI-_1$
la 1^{re} octave d'indice 0 : de DO_0 à DO_1 (DO_0, $DO\sharp_0$, $RÉ_0$, $RÉ\sharp_0$ etc.)
la 2^e octave – 1 : de DO_1 à DO_2
la 3^e octave – 2 : de DO_2 à DO_3
la 4^e octave – 3 : de DO_3 à DO_4 (voir figure ci-dessus)
la 5^e octave – 4 : de DO_4 à DO_5
la 6^e octave – 5 : de DO_5 à DO_6

la 7ᵉ octave — 6 : de DO_6 à DO_7
soit au total 88 notes, certains pianos ne montent que jusqu'au LA_6 et ne possèdent donc que 85 notes.

2) *Chez les accordeurs*

Les accordeurs numérotent les octaves à partir du LA le plus grave, la première octave va donc du LA_{-1} au LA_0, la seconde du LA_0 au LA_1, etc. En langage d'accordeur, par exemple, le DO_3 sera appelé DO de la quatrième octave.

COMPARAISON ENTRE LES DEUX NOMENCLATURES



Exemple: le FA marqué entre parenthèses sera appelé par les accordeurs FA de la 3ᵉ octave.

Désignation des tempéraments ou systèmes d'accord (GBTT, TEQJ)

Nous appellerons l'accord traditionnel fondé sur le partage de l'octave juste (correspondant au rapport 2/1) en 12 demi-tons égaux, gamme bien tempérée théorique (GBTT en abrégé). Le mot théorique indique qu'il s'agit là d'une conception purement mathématique puisque la réalisation rigoureuse sur un piano d'un tel accord contrôlé à l'aide d'appareils électroniques montre que ce système ne paraît à peu près juste pour l'oreille que dans le medium. Par gamme bien tempérée (en abrégé GBT), nous désignons les diverses gammes tempérées réalisées « à l'oreille » par les bons accordeurs : elles s'éloignent toutes plus ou moins de la gamme bien tempérée théorique (GBTT).

Nous appelons tempérament égal à quintes justes (en abrégé TEQJ) le nouveau système d'accord qui fait l'objet du présent ouvrage.

Partition

Avant d'accorder l'ensemble des notes que présente un instrument, un accordeur commence par accorder avec soin toutes les notes que comprend une octave du medium en partageant cette octave en 12 demi-tons égaux : c'est ce qu'on appelle « faire la partition ». La partition désigne donc l'ensemble de ces 12 notes de référence à partir desquelles on accorde le reste de l'instrument.

1^re^ PARTIE

LE TEMPÉRAMENT ÉGAL A QUINTES JUSTES (TEQJ)

THÉORIE
ET
PRATIQUE

LE PIANISTE ET L'ACCORD DE SON PIANO

Les pianistes savent à quel point l'accord d'un piano joue un rôle, non seulement sur la justesse, mais aussi sur la sonorité de cet instrument. Aussi cherchent-ils, chaque fois que c'est possible, à s'attacher le concours d'un accordeur qui leur donne satisfaction.

C'est dire que, contrairement à ce que laissent entendre les ouvrages sur la musique et les méthodes d'accord, il n'existe pas une façon unique d'accorder un piano en tempérament égal qui serait fondée sur le raccourcissement des quintes (quintes « tempérées ») et le maintien des octaves justes : la GBTT[1]. Non seulement il n'existe pas une façon unique d'accorder un piano en tempérament égal, mais la GBTT, qui est considérée en théorie comme la seule possible, est sans doute une des solutions les moins satisfaisantes, du moins lorsqu'on l'applique en toute rigueur sur toute l'étendue d'un instrument à clavier. (Voir « Introduction générale », p. 19).

L'accord selon le TEQJ, que nous présentons dans cet ouvrage et qui maintient les quintes rigoureusement justes, est-il alors la meilleure des solutions possibles?

Il ne nous appartient pas de l'affirmer. Aux musiciens, aux pianistes, aux musicologues et aux accordeurs de se faire une opinion! Ce que nous pouvons par contre avancer en toute certitude, c'est qu'il donne d'excellents résultats[2], bien meilleurs à coup sûr que ceux qui résultent de l'application stricte de la théorie traditionnelle.

Par ailleurs, c'est le système qui se rapproche le plus de celui dans

---

[1] GBTT : rappelons que nous utiliserons désormais cette abréviation pour désigner la gamme bien tempérée théorique à quintes raccourcies. Rappelons également que TEQJ signifie : tempérament égal à quintes justes : il fait l'objet du présent ouvrage (voir « Notions sommaires », p. 31).

[2] Consulter à la p. 263 de l'appendice, les appréciations portées sur ce tempérament par des musiciens, des pianistes, des musicologues, des compositeurs, des acousticiens, etc.

lequel évoluent les musiciens d'orchestre, dont il constitue, en quelque sorte l'épine dorsale[1].

Étant donnée la multiplicité des solutions apportées empiriquement par les accordeurs eux-mêmes au problème du tempérament, il serait sans doute intéressant que le pianiste ou le musicien confronté à l'accord d'un piano ou d'un instrument à clavier quelconque, sache aller au-delà d'une première appréciation purement subjective et puisse, en connaissance de cause, déterminer la nature et la qualité d'un accord. Il pourrait alors savoir, par exemple, si l'accord en question, présente vraiment un tempérament égal (ce qui est à notre avis indispensable pour interpréter de la musique allant de J.-S. Bach à nos jours, à l'exception, bien sûr, de certaines créations contemporaines qui rejettent le langage traditionnel), et, dans l'affirmative, où se situe ce tempérament par rapport à la GBTT et au TEQJ. Pour y parvenir, il lui suffirait d'apprendre à écouter et à apprécier, comme le font les bons accordeurs, les jeux et les battements d'harmoniques qu'émettent les intervalles et les agrégations harmoniques[2]. Il constaterait alors que ces jeux et battements d'harmoniques diffèrent selon la nature et la qualité de l'accord.

On peut alors savoir ce qui dans la sonorité d'un instrument est imputable à sa facture, à l'état des feutres, des marteaux (plus ou moins piqués), ou à l'accord lui-même. Bien des pianistes seront sans doute très étonnés de voir à quel point l'accord joue un rôle de tout premier plan dans la sonorité. Nous sommes de ce point de vue, bien placé pour le savoir : c'est ainsi qu'ayant été nommé accordeur dans une salle de concert, nous fûmes prévenus par les organisateurs que le piano qui nous était confié, bien que de grande marque, présentait une mauvaise sonorité et manquait de musicalité, ce dont se plaignaient à la fois les concertistes et les auditeurs. C'est bien en effet ainsi que nous apparut cet instrument, lorsque, avant de l'accorder pour la première fois, nous l'essayâmes en y interprétant de la musique. Pourtant le réglage[3] avait tenu et les feutres des marteaux étaient encore en bon état. Il a suffi de trois accords sucessifs en TEQJ et d'un léger piquage pour que le piano soit transformé : depuis ce jour, non seulement les pianistes trouvent ce piano très bon, mais ils le trouvent même en général meilleur que la plupart des pianos de même marque sur lesquels ils sont appelés à jouer.

Une telle formation d'oreille permettrait à la plupart des pianistes de mieux maîtriser certains problèmes ayant trait à la justesse ou à la sonorité d'un instrument, au lieu de s'en remettre uniquement à l'accordeur. Une collaboration fructueuse pourrait alors s'établir entre le

---

[1] Voir la seconde partie de cet ouvrage : « Qu'est-ce que la justesse? »

[2] Voir « Formation de l'oreille à l'écoute des battements d'harmoniques », p. 53.

[3] La qualité du fonctionnement mécanique d'un piano dépend de l'observation de normes de réglage très précises concernant, par exemple, l'enfoncement des touches, l'échappement des marteaux, le double-échappement, ou plus exactement le mécanisme de répétition, la force des différents ressorts, etc.

pianiste et l'accordeur. Elle exigerait en contrepartie que ce dernier soit plus musicien qu'il ne l'est en général, qu'il sache si possible jouer du piano, et qu'il soit capable dans le domaine de l'accord de réaliser aussi bien un accord traditionnel de type GBT que le TEQJ si, comme nous le pensons, cette forme d'accord est appelée à rencontrer de plus en plus l'adhésion des pianistes et des musiciens. Mais l'accordeur-musicien devrait également être capable, si tel est le désir de l'interprète, d'accorder un instrument ancien (ou copie d'ancien) dans un des tempéraments inégaux en vigueur au Moyen Age ou aux XVIIᵉ et XVIIIᵉ siècles, pour redonner à certaines œuvres leur couleur originale[1].

C'est dans cet esprit que nous comptons aborder la rédaction d'un futur traité d'accord consacré à toutes les gammes et tempéraments qui se sont succédé sur les instruments à clavier en en dégageant l'intérêt esthétique et l'importance historique, traité d'accord dont le début de l'appendice consacré aux gammes de Zarlin et Pythagore constitue en quelque sorte l'amorce.

---

[1] Bien que, comme Jean Guillou, nous pensions que l'intérêt esthétique présenté par ces tempéraments n'aille pas toujours de pair avec leur intérêt historique : tout semble dépendre des œuvres interprétées. Certaines pièces du XVIIᵉ siècle, par exemple, conçues pour le tempérament mésotonique, perdent à coup sûr à être jouées en tempérament égal. D'autres, pourtant contemporaines, semblent mal s'accommoder du mésotonique et sonnent mieux en GBT ou en TEQJ. C'est sans doute que l'inégalité des tempéraments en vigueur aux XVIIᵉ et XVIIIᵉ siècles et leur variété entraînaient pour les compositeurs des servitudes d'écriture telles qu'ils cherchaient parfois sans doute à s'en échapper, pensant déjà alors la musique de clavier avec la même absence de contrainte tonale ou expressive que s'ils avaient composé pour l'orchestre.

A) THÉORIE DU TEQJ

Un problème mal posé : celui du tempérament égal

On sait que les instruments à clavier possèdent 12 touches par octave : 7 touches blanches correspondant aux sons dits « naturels »[1] et 5 touches noires correspondant aux sons altérés. Il n'y a que 5 touches noires parce que les sons enharmoniques, comme par exemple DO♯ et RÉ♭ sont confondus et s'obtiennent en appuyant sur la même touche noire qui émet un son dont la hauteur se trouve exactement au milieu de l'intervalle qu'il y a de DO à RÉ si le tempérament est égal.

Pour pouvoir en effet aborder avec seulement 12 sons par octave, tous les tons majeurs et mineurs, sans en privilégier certains au détriment d'autres, il est nécessaire que le tempérament soit égal, c'est-à-dire que les demi-tons soient tous égaux et les notes enharmoniques confondues. Or, selon la tradition, on ne peut obtenir un tempérament égal que si on fausse très légèrement les quintes en les raccourcissant : c'est le principe même de la GBTT et il n'y a pas une seule encyclopédie de la musique, pas un seul ouvrage d'acoustique, pas une seule méthode d'accord qui n'aborde le problème sous cet angle et ne définisse ainsi le tempérament égal.

Un calcul simple semble bien confirmer ce point de vue : une octave juste comprend 53 commas[2]. Si on la partage en 12 demi-tons égaux, chaque demi-ton vaut 53 : 12 = 4,416... commas. Une quinte de la GBTT comprend toujours 7 demi-tons et vaut donc 4,416 × 7 = 30,91 commas. Or une quinte juste vaut, quant à elle, 31 commas. On voit qu'une quinte de la GBTT est de 1/12^e^ de comma ou, si on préfère, de 1/100^e^ de ton environ plus courte qu'une quinte

---

[1] L'adjectif « naturel » désigne ici les sons non altérés.

[2] Le comma dont il est question ici est le comma des musiciens ou comma holdérien (voir « Notions sommaires », p. 29 et « Acoustiques des hauteurs », p. 194).

juste. Il est évident qu'une quarte de ce tempérament qui en est le renversement, est au contraire agrandie de cette même quantité.

Devant de tels chiffres, on est bien tenté de penser que les théoriciens du tempérament égal et les accordeurs eux-mêmes exagèrent un peu lorsqu'ils prétendent qu'on ne peut parvenir à réaliser un tempérament égal sans « tempérer », c'est-à-dire sans raccourcir les quintes [1] : ne s'agit-il pas là de différences si infimes qu'elles sont certainement inaudibles et donc tout à fait négligeables?

On aurait cependant tort de le penser : on sait en effet qu'on peut relier entre elles par un cycle de quintes ou de quartes (cela revient au même puisque la quarte est le renversement de la quinte) toutes les notes de notre musique. La quinte est d'ailleurs le seul intervalle à présenter cette étonnante propriété qui tient sans doute à l'origine même de notre musique (voir gamme de Pythagore, p. 238). Les 12 notes qui partagent une octave d'un DO à un autre DO peuvent donc être considérées comme se succédant selon un cycle de 12 quintes (ou quartes) dans l'ordre suivant :
DO SOL RÉ LA MI SI FA♯ (SOL♭) DO♯ (RÉ♭) SOL♯ (LA♭) RÉ♯ (MI♭) LA♯ (SI♭) MI♯ (FA) DO

On voit que le cycle semble se refermer sur lui-même puisque, parti d'un DO nous aboutissons à un autre DO. Mais, si en partant du premier DO, nous accordons toutes ces quartes et quintes justes de façon rigoureuse, il sera en réalité impossible de fermer le cycle : le SOL à une quinte juste de DO va se trouver en effet 1/12^e de comma plus haut que celui correspondant au partage de l'octave en 12 parties égales (GBTT) puisque ce partage fournit une quinte trop courte d'1/12^e de comma. Le RÉ qui vient ensuite se trouvera 2/12^e de comma plus haut que le RÉ de la GBTT, le LA 3/12^e de comma plus haut, etc. Lorsque nous parviendrons à l'avant-dernière note du cycle, MI♯ (FA), cette note se trouvera 11/12^e de comma plus haut que le MI♯ (FA) correspondant de la GBTT et la quinte restante MI♯ (FA) DO, va donc se trouver raccourcie de 12/12^e de comma, soit 1 comma, ce qui cette fois est non seulement perceptible, mais encore parfaitement insupportable pour toute personne non atteinte de surdité musicale : d'où le nom de « quinte du loup » donné à cet intervalle tout à fait faux : la quinte qui hurle!

Pour éviter le « loup », l'accordeur paraît bien n'avoir effectivement d'autre solution que celle qui consiste à raccourcir toutes les quintes d'1/12^e de comma, c'est-à-dire d'1/100^e de ton, ce qui, on s'en doute, n'est pas facile à réaliser. Ici apparaît déjà bien en évidence le rôle des micro-intervalles dans l'accord des instruments à clavier : tout écart minime, fût-il peu perceptible, voire imperceptible, peut

---

[1] Il en résulte que dans la bouche des accordeurs, l'expression « quinte tempérée » est devenue synonyme de quinte raccourcie, en raison de l'usage exclusif de laGBTT où les quintes sont effectivement raccourcies, alors que le mot *tempéré* signifie seulement *appartenant à un tempérament.*

entraîner insensiblement des décalages capables de déformer de façon brutale et spectaculaire un intervalle par accumulation sur cet intervalle des écarts minimes réalisés en cours de route[1]. Voilà pourquoi aucun musicien, même pourvu d'une excellente oreille ne risque de parvenir à accorder correctement son piano s'il n'a pas reçu une formation d'accordeur, pourquoi aussi l'étude de l'accord est longue et difficile et les bons accordeurs si rares.

Pourtant, dès le début de notre apprentissage, nous avons remarqué que notre Maître à accorder, Simon Debonne, ne semblait pas raccourcir les quintes. Divers calculs effectués à partir de battements d'harmoniques qu'il nous conseillait de réaliser nous prouvèrent que, sans en être d'ailleurs parfaitement conscient, il réalisait bien des quintes pratiquement justes. Le piano ainsi accordé sonnait magnifiquement dans tous les tons. En dépit de la justesse des quintes, le tempérament ainsi réalisé était parfaitement égal et ne présentait en particulier aucune « quinte du loup », ce qui était en pleine contradiction avec la théorie habituellement admise, puisque l'utilisation de quintes justes aboutit en principe, nous l'avons vu ci-dessus, à une quinte du loup : il devait donc exister une solution qui permette de sauvegarder la justesse intégrale des quintes dans le cadre d'un tempérament égal. Cette solution, certains excellents accordeurs l'avaient pressentie et la réalisaient presque dans la pratique; mais, faute de connaissances en matière d'acoustique musicale, ils en étaient restés à une démarche empirique et étaient incapables de formuler et de justifier ce qu'un instinct musical très sûr leur dictait.

Quant aux physiciens et aux théoriciens de la musique, ils étaient passés à côté de la question parce qu'ils ne possédaient pas l'oreille d'un bon accordeur ou d'un bon musicien mais surtout parce qu'ils avaient toujours mal posé le problème.

C'est en effet mal poser le problème que d'affirmer, comme on l'a toujours fait, qu'il est impossible de parvenir à un tempérament égal en conservant les quintes justes : on est alors acculé à une seule solution : raccourcir les quintes. C'est au contraire bien le poser que de dire qu'il est impossible de parvenir à un tempérament égal en conservant *à la fois* toutes les quintes et toutes les octaves justes. Deux solutions apparaissent alors immédiatement :

---

[1] Un autre exemple des conséquences importantes de l'accumulation de petits écarts imperceptibles nous est donné lorsque nous solfions sans accompagnement une phrase musicale ou la jouons à l'aide d'un instrument à sons variables comme le violon, par exemple : on peut avoir l'impression de chanter ou de jouer juste tous les intervalles rencontrés mais se retrouver à un certain moment nettement décalé par rapport à la note de départ ou par rapport aux cordes à vide. Mais alors que dans le cas de l'accordage par quintes tempérées, il s'agit d'un dérapage « contrôlé » pour éviter un « loup »... dans le cas du solfieur ou du violoniste débutant, il s'agit d'un dérapage involontaire qui risque, au contraire, de susciter un « loup » en cas de rentrée intempestive de l'accompagnement ou de l'utilisation d'une corde à vide qui forme alors un intervalle faux avec l'avant-dernière note jouée sur laquelle se sont accumulés les dérapages.

– ou bien on conserve les octaves physiquement justes et on est alors obligatoirement amené à raccourcir les quintes : c'est le principe même de la GBTT. Nous l'avons exposé ci-dessus,

– ou bien, on part d'une quinte juste qu'on partage en 7 demi-tons égaux. Chaque demi-ton vaut alors 31 : 7 = 4,428... commas; l'octave de ce tempérament qui comprend 12 demi-tons égaux de ce type vaut, quant à elle 4,428 ... × 12 = 53,143... commas : elle est donc de 1/7^e de comma plus grande que l'octave physiquement juste qui vaut, rappelons-le, 53 commas. C'est la solution que nous proposons[1] et que nous avons appelée *tempérament égal à quintes justes*, en abrégé TEQJ. On peut remarquer que l'octave se trouve ici faussée exactement dans les mêmes proportions que la quinte l'est elle-même dans la GBTT, puisque 1/7^e de comma est à 53 commas ce que 1/12^e de comma est à 30,9 commas.

Dans les deux cas, cela représente 1/371^e de l'intervalle; mais alors que la quinte de la GBTT est raccourcie, l'octave du TEQJ est agrandie.

On peut évidemment se demander pourquoi le problème a toujours été aussi mal posé : c'est sans doute là encore une des conséquences de la théorie de la justesse « naturelle » ou plus exactement physique, qui veut qu'un intervalle juste soit un intervalle qui n'émette pas de battements parce qu'il correspond à un rapport simple de fréquences[2].

Dans cette optique, 2/1 ou 2 représente l'octave juste : c'est de tous les rapports d'intervalle, le plus simple possible, 3/2 représente la quinte juste, 4/3 la quarte juste, 5/4 la tierce majeure naturelle, etc. Le rapport le plus simple étant celui d'octave 2/1, cet intervalle est considéré comme le plus parfait de tous les intervalles et par conséquent le plus intouchable.

Cette théorie est cependant contredite par la pratique quotidienne des musiciens et des bons accordeurs, car l'octave musicalement satisfaisante ne correspond jamais au rapport 2/1, mais à un rapport *toujours légèrement supérieur* particulièrement dans le cas du piano, et cela même lorsque l'octave semble parfaitement juste à l'oreille!

Une preuve éclatante de cet état de fait nous a été apportée par l'utilisation d'accordeurs électroniques fournissant des octaves correspondant rigoureusement au rapport 2/1, donc en principe rigoureusement justes, mais en réalité rigoureusement fausses pour les oreilles d'un musicien qui les trouvent toujours trop courtes. Deux explications ont été apportées à ce phénomène : pour les physiciens, il s'agit là d'une des conséquences d'un phénomène récemment étudié par le

---

[1] Voir également, p. 260, « Les multiples solutions au problème du tempérament égal. ».

[2] Voir dans la troisième partie de cet ouvrage, l'« Acoustique des hauteurs », ce qui concerne les intervalles naturels, p. 178 et la gamme « naturelle » ou gamme de Zarlin, p. 249. Voir également la seconde partie « Qu'est-ce que la justesse? »

physicien et électronicien américain R.W. Young : l'inharmonicité des cordes vibrantes du piano, inharmonicité qui s'accroît lorsqu'on se dirige vers l'aigu[1]. Pour les physiologues, il s'agit là essentiellement d'un phénomène perceptif : le raccourcissement subjectif de tous les intervalles, raccourcissement d'autant plus marqué qu'on se dirige vers l'aigu et que le son perçu est pauvre en harmoniques.

Quelle que soit l'explication retenue, le fait est là, qui montre que le respect quasi fétichiste du nombre 2 comme associé au rapport d'octave, respect commun à tous les systèmes connus (que ce soit le système zarlinien, le système pythagoricien ou la GBTT) est tout à fait superflu. Mais les conséquences de cette conception purement mathématique de l'octave n'ont pas pour autant été toutes remises en question et, en particulier, la conception traditionnelle de la GBTT. Dans ces conditions, on comprend mieux pourquoi la solution que nous proposons n'a jamais été envisagée, ni même soupçonnée (sur le plan théorique du moins) : elle n'était même pas pensable tant qu'on ne songeait pas à mettre l'octave en cause, ce que, pour notre part, nous n'avons pas hésité à faire, réconciliant ainsi la théorie avec le fait musical.

Les avantages de la solution que nous proposons, le TEQJ, sont d'abord et surtout d'ordre esthétique.

Certains lecteurs pourraient en effet peut-être penser, qu'en dehors de sa nouveauté théorique, l'avantage essentiel du TEQJ se situe beaucoup plus sur le plan des techniques d'accordage que sur celui de la justesse elle-même. Certes le TEQJ a, comme nous le verrons, l'intérêt de simplifier notablement la procédure habituelle de l'accordage en n'obligeant plus l'accordeur à raccourcir en principe les quintes d'1/100ᵉ de ton, différence théorique bien difficile à réaliser dans la pratique. Mais en raison même de cette différence infime qui sépare une quinte juste d'une quinte tempérée, un piano accordé en TEQJ sonne-t-il vraiment différemment d'un piano accordé en GBTT?

Il convient de distinguer deux cas :

– si le piano est accordé strictement selon la GBTT en considérant les octaves comme correspondant au rapport 2/1 comme dans certains accordages électroniques, la différence entre un tel accord et celui d'un piano accordé « à l'oreille » selon le TEQJ sera spectaculaire puisque le piano accordé selon la GBTT sonnera faux!

– si le piano est accordé selon la GBTT, mais « à l'oreille », les différences avec un piano accordé selon le TEQJ ne seront effectivement pas perceptibles sur le plan mélodique dans le medium, mais elles se manifesteront vers l'aigu, notamment en jeu arpégé : l'aigu semblera terne, déprimé, trop bas, en raison de la justesse physique des octaves, et des quintes raccourcies. Mais c'est essentiellement sur le plan harmonique que les différences seront le plus évidentes : des notes entendues

---

[1] Voir « Acoustique des hauteurs », p. 204.

en effet simultanément sous forme d'accord ne sonneront pas du tout de la même façon dans les deux cas, car les battements auxquels elles donneront lieu seront très différents. Prenons un exemple : il faut avoir une excellente oreille pour percevoir la différence qu'il y a entre deux diapasons dont l'un donne le LA 440 et l'autre le LA 441, lorsqu'on fait sonner ces deux diapasons l'un après l'autre. Mais si, au contraire, on fait sonner ces deux LA simultanément, la différence d'accord entre les diapasons devient évidente pour tout le monde car on perçoit nettement un battement toutes les secondes : un tel battement affectant l'unisson des trois cordes d'une même note sur un piano suffirait à faire paraître cette note désaccordée.

Les petites différences existant entre la GBTT et le TEQJ vont donc se révéler d'autant mieux que les battements ne se produisent pas, comme dans le cas des diapasons, entre les sons fondamentaux, mais entre des harmoniques. Or, on le sait, les sons harmoniques présentent des fréquences multiples de celles des sons fondamentaux : les écarts légers enregistrés au niveau des sons fondamentaux vont donc se trouver eux-mêmes multipliés au niveau des harmoniques qui se combineront de façon différente dans les deux cas; c'est pourquoi si un violoniste ou même un accordeur ne peuvent distinguer une quinte tempérée d'une quinte juste lorsqu'elles sont entendues mélodiquement, ils les distinguent par contre très bien lorsqu'elles sont plaquées, car une quinte tempérée comme LA_3 MI_4, par exemple, émettra environ 2 battements à la seconde alors qu'une quinte juste ne battra pas.

Les différences seront encore plus sensibles pour les grands intervalles : ainsi la 17ᵉ majeure ou tierce « deux fois redoublée » comme, par exemple, SOL_2 SI_4, est composée de quatre quintes successives :

Comme chaque quinte juste sera plus grande d'1/12ᵉ de comma que la quinte tempérée correspondante, la 17ᵉ SOL_2 SI_4 du TEQJ ou de l'orchestre sera 4/12ᵉ soit 1/3 de comma plus grande que la 17ᵉ correspondante de la GBTT. Le calcul comme l'expérience montre qu'en raison de cette différence, elle émettra environ 12 battements d'harmoniques à la seconde contre 8 environ pour la 17ᵉ correspondante de la GBTT, ce qui correspond à une augmentation de rapidité de 50 %. Il y aura donc une différence de sonorité très sensible entre les deux intervalles : la 17ᵉ du TEQJ paraîtra beaucoup plus brillante que celle de la GBTT.

Ainsi les équilibres harmoniques grave-medium, medium aigu et encore davantage grave-aigu, seront-ils très sensiblement modifiés dans un sens qui va vers celui de la justesse orchestrale et donc à notre avis, de la justesse tout court.

Par ailleurs, le TEQJ – et ce n'est pas l'un de ses moindres avantages – est beaucoup plus facile à réaliser que la GBTT. Nous avons déjà parlé de la difficulté évidente qu'on rencontre, au cours d'un accord selon la GBTT, pour raccourcir les quintes d'1/100^e de ton. Rien que dans la partition initiale, qui se fait généralement sur l'octave FA$_2$ FA$_3$, il faut réaliser et contrôler 6 quintes tempérées de rapidité différente. Or ces quintes sont justes dans le TEQJ et la quinte juste est un intervalle facile à réaliser et à contrôler avec une extrême précision, puisque toutes les quintes justes sont semblables et se caractérisent par une absence totale de battements, c'est-à-dire une rapidité nulle. Cette précision permet de réaliser ce que nous avons appelé une « partition à ancrage » où l'accord des différentes notes de la partition ne se fait pas « en chaîne » comme dans les partitions traditionnelles (où on repart toujours de la dernière note accordée pour accorder la suivante). Cette façon de procéder présente en effet l'inconvénient de cumuler les erreurs, chaque erreur commise sur une note se reportant fatalement sur la suivante de note en note. Avec la « partition par ancrage » au contraire, on accorde toutes les notes d'après quelques notes fixes dont on est absolument sûr comme, par exemple, le LA$_3$ du diapason ou celles qui forment un cycle de quintes avec ce LA$_3$: SOL$_2$ RÉ$_3$ LA$_3$ par exemple. Ainsi en cas d'erreur sur une note, celle-ci ne peut-elle pas se reporter sur la note suivante et ne concerne-t-elle qu'une seule note. On évite ainsi d'avoir à remonter la « chaîne » et de procéder à de fastidieuses « contre-partitions ». La stabilisation et le contrôle des intervalles de la partition est donc à la fois beaucoup plus facile et beaucoup plus rapide que lorsqu'on a affaire à des quintes tempérées. Il en va de même du reste de l'accord, car l'extension de la GBTT à l'ensemble de l'instrument pose plus de problèmes que lorsqu'on utilise le TEQJ en raison de la plus grande vulnérabilité de la GBTT à l'inharmonicité (voir p. 204). Ce phénomène a en effet pour résultat, lorsqu'on conserve les octaves physiquement justes (sans aucun battement) de créer d'un piano à l'autre des différences sensibles dans la rapidité des battements d'harmoniques, et de fausser les quintes tempérées davantage que la théorie ne le prévoit; pour éviter des quintes trop désagréables, l'accordeur est conduit obligatoirement à agrandir certaines octaves et à se rapprocher ainsi du TEQJ; mais cet agrandissement non prévu, non calculé, se fait « à vue » ou plus exactement « à l'oreille », selon les besoins et irrégulièrement. Il diffère selon les pianos. Accorder « bien tempéré » dans ces conditions ne correspond plus à rien de bien précis, mais à un compromis difficile à réaliser entre la théorie reçue et les exigences de l'oreille.

Rien de tel avec le TEQJ qui, comme nous l'a déclaré J.-P. Martel, remarquable accordeur australien, « semble absorber l'inharmonicité », s'adapter au cas particulier de chaque piano et correspondre à un accord beaucoup mieux défini.

C'est le divorce patent entre la théorie classique de la GBTT et sa réalisation pratique qui a eu pour résultat de limiter le nombre des bons accordeurs. Seuls parviennent en effet à un très bon résultat, ceux qui arrivent à s'émanciper de la théorie admise, guidés en cela par un sens très musical de la justesse. Mais une telle démarche est bien difficile et ne peut aboutir qu'après de multiples tâtonnements, ce qui exige beaucoup de patience, de persévérance et de temps. De plus, une pratique empirique est par nature difficile à transmettre, surtout lorsque la théorie admise la contredit.

L'intérêt du TEQJ semble donc à la fois d'ordre musical et pratique; loin d'être prospectif ou révolutionnaire, il tend au contraire à réconcilier la théorie de l'accord avec sa pratique, et l'accord du piano avec la justesse des musiciens. Il devrait donc ouvrir la voie à une pédagogie nouvelle et efficace de l'accord, et contribuer ainsi à pallier la carence, partout constatée, en accordeurs réellement compétents.

Les battements d'harmoniques dans le tempérament égal à quintes justes

Nous abordons ici un domaine technique qui intéresse en principe essentiellement l'accordeur. Cependant nous pensons que sa lecture, tout au moins les généralités du début, jusqu'à l'initiation pratique proprement dite, peut présenter un intérêt pour le pianiste ou le musicien même s'ils n'ont nullement l'intention de s'initier à l'accord du piano. Ce n'est d'ailleurs pas à cela que nous les convions.

Ce n'est pas qu'ils ne puissent y parvenir; au contraire, le fait d'être musicien ou pianiste ou les deux à la fois, ce qui est encore préférable, facilite dans des proportions considérables l'étude de l'accordage et en raccourcit notablement la durée.

Être musicien, cela signifie en effet, avoir l'oreille juste et déjà éduquée à la reconnaissance rapide et précise des intervalles et cela permet de gagner beaucoup de temps; si, de plus, on possède une parfaite connaissance du clavier, on aura toutes les chances de devenir dans les meilleurs délais un excellent accordeur car on pourra vérifier rapidement tous les rapports mélodiques ou harmoniques d'intervalles en multipliant les contrôles par accords plaqués, gammes et arpèges, ce qui est toujours très utile surtout dans l'aigu du piano.

Cependant il faut se rappeler que l'accord du piano se fait essentiellement en appréciant et en réglant la « rapidité » des intervalles, c'est-à-dire la fréquence des battements d'harmoniques qu'émet un intervalle quelconque lorsque les deux notes formant cet intervalle sont entendues simultanément (intervalle harmonique); il y a donc là toute une éducation harmonique de l'oreille qu'ignore en général le musicien.

Celui-ci n'est-il pas souvent très étonné d'entendre l'accordeur déclarer que telle tierce ou telle sixte est plus ou moins rapide que telle autre tierce ou telle autre sixte, ou encore, que telle tierce bat à 6 ou à 10 à la seconde? Ce n'est pas que le musicien, surtout s'il a une bonne oreille [1], n'entende pas ces battements d'harmoniques; mais il les entend de façon synthétique, globale sous la forme d'une certaine couleur sonore : or, l'aspect plat, chantant, clair ou brillant d'une tierce, par exemple, sera directement en rapport avec la rapidité de ses battements d'harmoniques; c'est cette rapidité que devra apprécier avec précision l'accordeur car, s'il veut réussir cette sorte de puzzle sonore qui consiste à « faire la partition », il ne pourra se contenter de l'impression globale et toute subjective du musicien.

Même si son éducation musicale lui sert incontestablement et lui permet de brûler les étapes, tout musicien, s'il veut devenir accordeur devra donc s'initier à cette écoute harmonique et analytique des intervalles et des agrégats sonores, écoute toute nouvelle pour lui et à laquelle les dictées musicales classiques des conservatoires ne l'ont nullement préparé. Mais, de plus, il devra apprendre à manipuler la clé d'accord et il y a là aussi toute une longue éducation qui lie le mouvement du bras et de la main à l'appréciation de l'oreille et qui ne s'acquiert qu'avec l'étude et la répétition : ici encore, il faut « faire ses gammes », « bien tempérées » ou non! Quand bien même, il parviendrait rapidement à cette écoute analytique dont nous parlions ci-dessus, il resterait au musicien à acquérir le « coup de clé » permettant d'atteindre avec précision la hauteur ou la rapidité voulues tout en « calant la cheville » afin que l'accord « tienne »; tout cela ne s'improvise pas et demande du travail et du temps, quelque disposition d'oreille qu'on ait par ailleurs, temps que bien des musiciens préféreront sans doute consacrer à travailler leur instrument surtout s'ils mènent une carrière de soliste. Cependant la lecture de ce chapitre, du début tout au moins, leur sera sans doute utile pour savoir sur quelles bases objectives repose un bon accord et pour s'initier à cette écoute analytique des battements d'harmoniques.

Étude de la partition d'une quinte juste en 7 demi-tons égaux

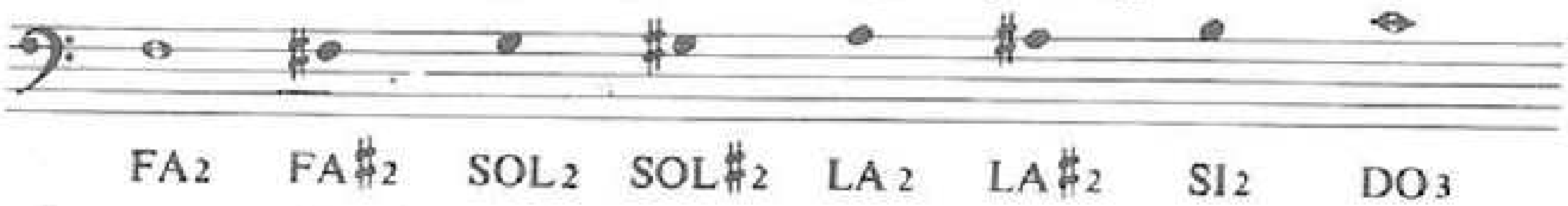
La partition de la quinte juste est différente de la partition traditionnelle puisqu'il s'agit non plus de diviser l'octave en 12 demi-tons égaux mais la quinte juste en 7 seulement, ce qui est plus rapide car il y a beaucoup moins de rapports à vérifier entre les 8 notes de cette partition qu'entre les 13 notes de la partition traditionnelle.

---

[1] C'est le cas de la plupart des musiciens qui sont responsables de leur justesse comme tous les violonistes, par exemple, beaucoup plus que les pianistes en général à l'exception des pianistes concertistes dont la finesse d'oreille n'a quelquefois rien à envier à celle de leurs confrères violonistes.

Faire la partition de la quinte juste en 7 demi-tons égaux, c'est déterminer avec la plus grande précision un fragment de gamme chromatique inclus dans une quinte juste. Dans la pratique, nous prenons le suivant :

FA$_2$, FA♯$_2$ (ou SOL♭$_2$), SOL$_2$, SOL♯$_2$ (ou LA♭$_2$),
LA$_2$, LA♯$_2$ (ou SI♭$_2$), SI$_2$, DO$_3$



On pourrait alors objecter que, la partition une fois terminée, on ne dispose que de 8 notes alors que la partition de l'octave en fournit 13; il reste encore 5 notes à accorder; dans ces conditions, on pourrait penser qu'il n'y a aucun avantage sur le plan de la rapidité à utiliser la partition de la quinte. C'est oublier que la partition constitue pour l'accordeur une opération délicate et relativement longue, surtout dans le cas de la partition de l'octave avec ses 13 notes : il faut en effet obtenir des demi-tons parfaitement égaux; de la qualité de la partition dépend tout le reste de l'accord. Une fois la partition terminée, on va beaucoup plus vite car on accorde les notes les unes après les autres dans l'ordre chromatique où elles se présentent par octaves ou par quintes à partir des notes de la partition.

Le lecteur musicien ou pianiste peut sans doute se demander pourquoi il est si difficile de partager l'octave (dans le cas de la GBT) ou la quinte (TEQJ) en demi-tons égaux, ce que les accordeurs appellent « faire la partition ». La difficulté tient au fait qu'il est très difficile d'apprécier directement la grandeur exacte d'un demi-ton et donc de réaliser des demi-tons parfaitement égaux : si, en effet, on accordait les notes les unes après les autres de demi-ton en demi-ton, sans faire de partition on obtiendrait à coup sûr des tierces, des quartes, des quintes et des sixtes très inégales et mêmes fausses sur le plan harmonique! C'est que le demi-ton est de tous les intervalles, l'un des moins définis et des plus malléables : dans la musique d'orchestre, par exemple, où les musiciens sont libres de leurs fréquences, le demi-ton est susceptible de prendre des valeurs très diverses allant de 2 à 5 commas environ selon le jeu des attractions ou répulsions tonales et cela sans jamais paraître faux pour autant[1]! Par ailleurs le demi-ton est également un des intervalles les plus difficiles à évaluer sur le plan harmonique; ainsi que nous l'avons expliqué ci-dessus, la plupart des intervalles émettent lorsqu'ils sont joués harmoniquement (c'est-à-dire plaqués) des battements qu'il est possible, grâce à un entraînement progressif et régulier, d'évaluer avec précision. Or ce n'est pas les cas des secondes mineures (demi-tons), ni d'ailleurs des secondes majeures (tons) qui donnent des harmonies dissonantes parce que les battements

---

[1] Voir dans la seconde partie de cet ouvrage « Qu'est-ce que la justesse? », p. 151 à 156.

qu'elles émettent sont stridents, c'est-à-dire trop rapides pour qu'on puisse les évaluer avec précision.

Pour « faire la partition », il faut donc se servir des intervalles qui donnent des battements bien perceptibles et très sensibles aux moindres variations de ces intervalles. Si on est alors capable d'évaluer la rapidité des battements émis par ces intervalles, on pourra apprécier avec une extrême précision leur grandeur; toute modification de celle-ci, fût-elle de l'ordre du 200^e de ton (1/24^e de comma) entraînera en effet une accélération ou une décélération perceptible de la rapidité des battements d'harmoniques. Cela ne veut pas dire qu'on sera capable en entendant une tierce, par exemple, d'indiquer avec précision le nombre de commas qu'elle contient; mais cela signifie qu'on pourra distinguer deux tierces dont l'une ne différerait de l'autre que de 1/200^e de ton (1 cent)!!

Voyons donc quels intervalles émettant des battements bien perceptibles présente la partition de la quinte juste FA_3 DO_3 en 7 demi-tons égaux :

Nous aurons donc :

4 tierces majeures égales composées de 4 demi-tons égaux :
FA LA – FA♯(SOL♭) LA♯(SI♭) – SOL SI – LA♭(SOL♯) DO
5 tierces mineures égales composées de 3 demi-tons égaux :
FA LA♭ (SOL♯) – FA♯ (SOL♭) LA – SOL SI♭(LA♯) –
SOL♯ (LA♭) SI – LA DO
3 quartes composées de 5 demi-tons égaux :
FA SI♭ (LA♯) – FA♯ (SOL♭) SI – SOL DO

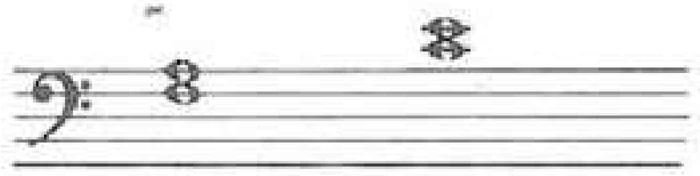
Un calcul élémentaire montre que si nous parvenons à rendre égales les quatre tierces majeures d'une part et les 5 tierces mineures d'autre part, nous aurons réussi la partition de la quinte juste FA_2 DO_3 en 7 demi-tons égaux; en effet un demi-ton correspond toujours dans un tempérament égal à la différence entre une tierce majeure et une tierce mineure; si toutes les tierces majeures d'une part, et toutes les tierces mineures d'autre part sont égales entre elles, leurs différences, c'est-à-dire les demi-tons, seront tous égaux. Or, grâce aux battements d'harmoniques, il est possible d'apprécier avec précision l'égalité d'intervalles de même nature : le calcul comme l'expérience montrent en effet que si deux intervalles sont égaux et se situent à la même hauteur, ils présentent la même rapidité : ainsi deux tierces majeures dont la note grave est un FA_2 et la note aiguë un LA_2 :

R : 7,5

jouées sur deux pianos différents sont égales si elles présentent exactement la même rapidité, soit *7,5 battements à la seconde dans le TEQJ*.

Si des intervalles *égaux* se situent à des hauteurs différentes – et c'est ici le cas qui nous intéresse puisque les quatre tierces majeures égales de la partition, par exemple, se succèdent de demi-ton en demi-ton – le calcul comme l'expérience montrent que la rapidité de chaque intervalle est d'autant plus grande que l'intervalle est plus aigu. Ainsi la tierce FA$_3$ LA$_3$ qui se situe une octave au-dessus de la tierce de la partition FA$_2$ LA$_2$ battra dans le TEQJ non plus à *7,5 battements à la seconde mais à 15, soit deux fois plus vite :*

Un saut de quinte, quant à lui, correspondrait à une multiplication du nombre de battements à la seconde par 1,5 : ainsi une tierce comme DO$_3$ MI$_3$ qui se situe une quinte au-dessus de FA$_2$ LA$_2$ présente dans le TEQJ une rapidité de R DO$_3$ MI$_3$ = 7,5 × 1,5 = 11,25 soit, en arrondissant, environ 11 battements à la seconde :



Dans le cadre de la partition de la quinte juste FA$_2$ DO$_3$ dont nous avons parlé ci-dessus, tous les intervalles égaux et de même nature présentent donc des rapidités qui croissent régulièrement de demi-ton en demi-ton, conformément au tableau suivant :

Tierces majeures	FA LA	FA♯ LA♯	SOL SI	LA♭ DO	
Rapidités	7,5	8	8,5	9	
Tierces mineures	FA LA♭	FA♯ LA	SOL SI♭	SOL♯ SI	LA DO
Rapidités	9	9,5	10	10,5	11
Quartes	FA SI♭	FA♯ SI	SOL DO		
Rapidités	1,3	1,4	1,5		

N.B. – Dans ce tableau les rapidités sont arrondies à 1/2 battement près pour les tierces majeures et mineures. Voir ci-dessous le paragraphe « Aspect théorique du problème ». En ce qui concerne le calcul des intervalles et des rapidités présentées par le TEQJ, voir « Acoustique des hauteurs », p. 201 et 220.

Conclusion

Nous venons ainsi de mettre en lumière une des caractéristiques essentielles d'un tempérament égal[1], à savoir que *les rapidités de tous*

---

[1] Qui ne réside pas forcément dans le raccourcissement des quintes, ce qui n'est vrai que dans le cas de l'accord théorique traditionnel (GBTT).

les intervalles de même nature forment, du grave à l'aigu, une progression régulière, la rapidité d'un intervalle quelconque étant le double de l'intervalle de même nature qui se trouve une octave plus bas et une fois et demie plus grande que celle de l'intervalle de même nature qui se trouve une quinte juste en dessous.

Toutes ces remarques serviront de base à l'élaboration de la partition : le rôle de l'accordeur consistera, en partant du LA_2 (obtenu d'après le LA_3 du diapason), à rétablir la quinte juste FA_2 DO_3 et les autres intervalles (tierces majeures, tierces mineures et quartes) conformément aux rapidités théoriques, ou, plus exactement, conformément aux progressions et aux rapports des rapidités théoriques (voir p. 54 et 55).

Cette loi de progression régulière des battements d'harmoniques que nous venons de mettre en lumière au travers d'une étude de la partition du TEQJ ne vaut pas pour la seule partition mais pour l'ensemble d'un accord au tempérament égal : *de son observation rigoureuse dépend la qualité d'un accord;* tout manquement manifeste à cette loi aboutit nécessairement à une mauvaise égalisation des demi-tons et des autres intervalles qui se traduit, soit par une impression de fausseté, soit par une impression de déséquilibre, d'hétérogénéité dans la sonorité des intervalles harmoniques et des accords : sans être alors vraiment faux, le piano sonnera mal ou, comme on dit « ne sonnera pas ». C'est ce qui arrive, par exemple, lorsqu'on accorde par quintes et quartes sans se soucier suffisamment de L'augmentation très progressive des rapidités des tierces majeures et mineures, des sixtes et surtout des 10^e et des 17^e. Ces deux derniers intervalles jouent en effet un rôle de tout premier plan dans la justesse et la sonorité d'un instrument.

Aspect théorique du problème (facultatif)

C'est à l'intention des accordeurs, pianistes ou musiciens non acousticiens que nous avons volontairement simplifié la question en arrondissant, en particulier, les rapidités à un demi-battement près. Cette évaluation est en effet largement suffisante pour comprendre et percevoir les phénomènes que nous décrirons au chapitre suivant, consacré à la formation de l'oreille à l'écoute des battements d'harmoniques. Si nous avions indiqué avec précision et chiffres après la virgule les rapidités exactes que présenterait un piano accordé strictement (et idéalement) selon le TEQJ, certains accordeurs n'auraient pas manqué de nous faire remarquer que cette précision était purement théorique et que, ce qui importait, c'était que *les rapidités paraissent bien progressives à l'oreille;* ce qui est parfaitement exact. Cependant les chiffres des rapidités arrondis à un demi-battement près risquent de tromper le lecteur et particulièrement le lecteur physicien et acousticien sur la véritable nature de ces progressions de rapidités. Aussi tenons-nous à donner maintenant les chiffres exacts des rapidités théoriques ainsi que quelques précisions sur la nature des progressions de rapidités. Nous le ferons d'ailleurs de telle sorte que le lecteur rebelle au langage des chiffres (et c'est en général le cas des musiciens et des accordeurs!!) puisse suivre ces explications sans trop de difficultés.

Nous avons dit que si deux intervalles sont égaux et décalés d'une octave, l'intervalle le plus aigu présente une rapidité double de l'intervalle le plus grave et que si deux intervalles égaux sont décalés d'une quinte, l'intervalle le plus aigu présente une rapidité 1,5 fois plus grande que celle de l'intervalle le plus grave. Or on sait que si deux sons sont à l'octave l'un de l'autre, la fréquence du son le plus aigu est le double de celle du son le plus grave et que si deux sons sont en rapport de quinte, la fréquence du son le plus aigu est 1,5 fois plus grande que celle du son le plus grave. Ce qui montre que la rapidité d'intervalles égaux varie comme la fréquence des notes de ces intervalles : si deux tierces majeures du TEQJ, par exemple, sont décalées d'une octave, les fréquences des notes de la tierce la plus aiguë sont le double des fréquences des notes respectives de la tierce la plus grave et la rapidité de la tierce la plus aiguë est également le double de celle de la tierce la plus grave. Si deux tierces majeures du TEQJ sont décalées d'une quinte, les fréquences des notes de la tierce la plus aiguë sont 1,5 fois plus élevées que celles des notes respectives de la tierce la plus grave et la rapidité de la tierce la plus aiguë est elle-même 1,5 fois plus grande que celle de la tierce la plus grave. Ce que nous pouvons résumer ainsi :

SAUTS D'OCTAVE

(multiplication par 2 des fréquences et des rapidités)

Note grave d'un intervalle	FA$_1$	FA$_2$	FA$_3$
Fréquence de cette note	87 hz	174 hz	358 hz
Rapidité de la tierce majeure (construite sur cette note)	3,75 bat/sec.	7,5 b/s	15 b/s

SAUTS DE QUINTE

(multiplication par 1,5 des fréquences et des rapidités)

Note grave d'un intervalle	SOL$_1$	RÉ$_2$	LA$_2$
Fréquence de cette note	97,7 hz	146,6 hz	220 hz
Rapidité de la tierce majeure	4,2 b/s	6,3 b/s	9,4 b/s

Comme le TEQJ présente un tempérament égal, la fréquence d'une note quelconque est toujours égale à celle de la note précédente multipliée par un facteur constant qui correspond dans ce tempérament au rapport de fréquence de 2 notes séparées par un demi-ton. Il est facile de calculer ce rapport : une quinte juste comprend 7 de ces demi-tons et correspond elle-même au rapport $3/2 = 1,5$. Il faut donc que le rapport de demi-ton multiplié 7 fois par lui-même, c'est-à-dire élevé à la puissance 7, soit égal à 1,5; c'est donc $1,5^{\frac{1}{7}}$ soit 1,0596... Comme les rapidités varient comme les fréquences, la rapidité d'un intervalle quelconque est toujours égale à la rapidité de l'intervalle de même nature situé un demi-ton en dessous multiplié par 1,0596...

Les fréquences et les rapidités de tous les intervalles de même nature formeront donc des progressions géométriques de même raison : 1,0596... exprimant la valeur du rapport de demi-ton dans le TEQJ. Voici donc avec une précision toute théorique, quelles seront les fréquences des notes et les rapidités des intervalles de la partition de la quinte juste FA$_2$ DO$_3$ du TEQJ si le diapason du LA$_3$ est fixé à 440 hz :

FRÉQUENCES THÉORIQUES DES NOTES DE LA PARTITION DU TEQJ FA$_2$ DO$_3$

Notes	FA$_2$	FA$\sharp_2$	SOL$_2$	SOL$\sharp_2$	LA$_2$	LA$\sharp_2$	SI$_2$	DO$_3$
Fréquences	174,16	184,55	195,55	207,21	219,57	232,57	256,54	261,24

RAPIDITÉS THÉORIQUES DES INTERVALLES DE LA PARTITION DU TEQJ

Tierces majeures	FA$_2$ LA$_2$	FA♯$_2$ LA♯$_2$	SOL$_2$ SI$_2$	LA♭$_2$ DO$_3$	
Rapidités	7,47	7,92	8,39	8,89	
Tierces mineures	FA$_2$ LA♭$_2$	FA♯$_2$ LA$_2$	SOL$_2$ SI♭$_2$	SOL♯$_2$ SI$_2$	LA$_2$ DO$_3$
Rapidités	8,89	9,42	9,98	10,58	11,21
Quartes	FA$_2$ SI♭$_2$	FA♯$_2$ SI$_2$	SOL$_2$ DO$_3$		
Rapidités	1,35	1,43	1,52		

B) PRATIQUE DU TEQJ

Formation de l'oreille à l'écoute des battements d'harmoniques

Il ne suffit pas de connaître les lois auxquelles obéissent les battements d'harmoniques pour pouvoir juger de la qualité d'un accord ou être capable d'accorder un piano ou tout autre instrument à clavier que ce soit dans le TEQJ, dans le GBT ou dans tout autre tempérament. Il faut également entendre ces battements et savoir en évaluer la rapidité avec une précision suffisante!

En général, ainsi que nous avons déjà eu l'occasion de le signaler, les musiciens perçoivent bien ces phénomènes; mais ils ne les perçoivent que globalement sous la forme d'une certaine couleur sonore et sans entendre distinctement chaque battement[1]. Comme les battements d'harmoniques ont une incidence directe sur la sonorité d'un instrument, bien des pianistes et des musiciens attribuent à un piano des qualités ou des défauts qui tiennent en fait à la qualité de son accord. Le rôle d'un bon équilibrage des battements d'harmoniques est en effet tel qu'un piano de seconde marque très bien accordé peut mieux sonner qu'un excellent piano ou l'accord des harmoniques aurait été négligé. C'est en ce sens qu'on a pu dire que le choix d'un bon accordeur passe avant le choix du piano lui-même. Mais, à tout prendre, il vaut mieux disposer à la fois d'un excellent accordeur et d'un excellent piano!!

---

[1] Il s'agit là d'un phénomène de « fusion », de synthèse sonore assez comparable à celui qu'on peut constater dans la synthèse des timbres. On sait qu'un DO_3 de clarinette, par exemple, est un son complexe comprenant un son fondamental à la hauteur de DO_3 et une série de sons harmoniques qui fusionnent avec le son fondamental DO_3, si bien que l'oreille ne perçoit qu'un seul son à la hauteur de DO_3. Cependant ce DO_3 de clarinette ne ressemble nullement à un DO_3 de hautbois : cette différence de timbre tient précisément à ce que les composants harmoniques sont différents dans les deux cas. Alors que le DO_3 de la clarinette ne présente pour ainsi-dire que des harmoniques de rang impair, le DO_3 du hautbois présente au contraire des harmoniques de rang pair très intenses.

Si la plupart des musiciens et pianistes ne perçoivent donc les battements d'harmoniques que par les incidences qu'ils ont sur la justesse et la sonorité d'un instrument, quelques-uns, des solistes en particulier, saisissent cependant très bien la nature discontinue et périodique du phénomène comme l'attestent les termes qu'ils emploient pour le désigner : « vibrato », « vibrations », « scintillements », « grains du son », etc.

Mais pour pouvoir réaliser avec toute la précision souhaitable un accord égal comme celui que présente le TEQJ ou la GBT, un accordeur ne peut se contenter de ces appréciations musicales et qualitatives. Faire la partition de la quinte juste du TEQJ consiste en effet pour l'accordeur à rétablir les tierces majeures et mineures ainsi que les quartes conformément aux rapidités calculées ci-dessus ou, plus exactement conformément aux progressions de rapidités; il convient en effet de redire que c'est la progression des rapidités qui est importante et non la valeur absolue de ces rapidités; nous n'avons d'ailleurs donné ces rapidités qu'à titre indicatif et pour en donner une idée; que le musicien désirant se former l'oreille à l'écoute des battements d'harmoniques ou l'accordeur débutant ne se décourage donc pas en pensant qu'il ne parviendra jamais à entendre 12 ou 14 battements à la seconde! L'accordeur ne compte pas vraiment les battements : *il compare bien plus qu'il ne mesure* pour parvenir à réaliser des progressions de rapidités satisfaisantes. Une connaissance précise des rapidités de tous les intervalles de la partition telles qu'elles sont indiquées au tableau de la page 52 et même à celui de la page 49 ne serait d'aucune utilité pour l'accordeur et cela pour deux raisons essentielles :
– la première tient à ce que les rapidités des intervalles dépendent du diapason choisi : ces rapidités ne seront exactement conformes à celles indiquées sur le tableau de la page 52 que si le LA_3 correspond à 440 hz; or le diapason peut varier de 435 hz à 446 hz; de plus, il n'est pas rare que, pour diverses raisons, on soit amené à accorder un piano ou un clavecin nettement en dessous du diapason. Dans de tels cas, les rapidités que nous avons indiquées ne sont plus valables,
– la seconde à ce que deux pianos accordés au même diapason et dans le même système d'accord, le TEQJ, par exemple, ne présentent pas toujours exactement les mêmes rapidités si le coefficent d'inharmonicité de leurs cordes n'est pas exactement le même; cela se produit lorsque pour une même note, les cordes correspondantes des deux pianos ont, par exemple, des grosseurs et des longueurs nettement différentes (voir p. 204).

Mais dans tous les cas, la progression régulière (de même « raison ») des rapidités de chaque catégorie d'intervalle, sera la règle et la seule marque d'une parfaite égalisation de tous les demi-tons. C'est elle et elle seule qui donnera au piano cette justesse et cette égalité de sonorité recherchée des concertistes.

Compter les battements avec précision est d'ailleurs impossible au-delà de 9 ou 10 battements à la seconde; mais, avec un peu d'habitude, on se rend très bien compte qu'une tierce qui bat, par exemple, à 10 à la seconde est plus rapide qu'une autre qui bat seulement à 9 ou encore, qu'une tierce qui bat à 8 est plus rapide qu'une autre qui bat à 7,5 : on peut ainsi obtenir des progressions de rapidités tout à fait satisfaisantes. N'avons-nous pas vu en effet qu'il suffisait de réaliser une suite de tierces majeures et une suite de tierces mineures parallèlement progressives (ou – pour employer un langage plus scientifique – dont les rapidités forment pour l'un et pour l'autre des deux intervalles, deux progressions géométriques de même raison) pour obtenir un partage égal de la quinte juste.

Mais, se récrieront peut-être le musicien de bonne volonté ou le candidat accordeur, comment un accordeur, même expérimenté parviendra-t-il à réaliser de telles progressions avec suffisamment de précision? (et, en effet, entendre que d'une tierce à la suivante la rapidité a été multiplié par 1,0596... paraît relever de l'utopie!). Nous répondrons qu'aucun accordeur ne risque d'y parvenir du premier coup et sans une longue habitude : les chiffres caractéristiques de ces progressions de rapidités ne lui servent d'ailleurs pas à grand-chose; ce qui importe, *c'est qu'il ait ces progressions « dans l'oreille »* et cela ne s'acquiert qu'avec le temps et l'étude.

Comment peut-on donc se former l'oreille à l'écoute de ces battements d'harmoniques et à en évaluer la rapidité? Il y a pour cela deux méthodes : la première consiste à écouter attentivement et, si possible, sous la conduite d'un professeur d'accord, les intervalles harmoniques d'un piano qui vient d'être accordé avec soin. Pour que les battements soient bien perceptibles et qu'on puisse en apprécier la rapidité, il est en effet nécessaire que les trois cordes d'une même note soit bien à l'unisson[1]; sur un piano un peu désaccordé, tout est flou à moins que des battements tout à fait intempestifs ne commencent à apparaître!! Cette première méthode aura certainement la préférence des musiciens et des pianistes qui veulent acquérir une meilleure connaissance de ces phénomènes sans avoir à manipuler une clé d'accord. Mais elle est également utile à l'élève accordeur.

La seconde consiste à créer soi-même des battements ou à en modifier la rapidité en manipulant la clé d'accord. Nous la rattacherons donc à l'initiation à l'accord proprement dite; elle n'est cependant pas nécessairement réservée à l'élève accordeur mais est complémentaire de la première : elle permet de mieux comprendre comment se manifeste le phénomène même si on n'a nullement l'intention d'apprendre à accorder. Comme elle suppose cependant un minimum de connaissances concernant le maniement de la clé d'accord, nous conseillons

---

[1] On sait que chacun des sons du piano est émis par trois cordes à l'unisson, à l'exception des sons graves émis par seulement deux cordes filées à l'unisson (bicordes) ou par une seule (unicorde) pour les sons les plus graves.

au musicien ou au pianiste intéressé de lire auparavant ce qui concerne ce maniement (voir p. 80).

Avant d'aborder cette formation particulière de l'oreille à l'écoute des battements d'harmoniques, nous voudrions attirer l'attention sur la différence qui existe entre l'écoute analytique et objective de l'accordeur d'une part, et l'écoute musicale et subjective du musicien d'autre part. Comme cette digression n'est nullement indispensable à la formation de l'oreille à l'écoute des battements ou à l'étude pratique de l'accord au TEQJ, le lecteur peut fort bien passer outre. Les problèmes soulevés ici sont d'ailleurs complexes et se rattachent à la seconde partie de cet ouvrage : « Qu'est-ce que la justesse? »

Écoute analytique et écoute musicale

Les exercices d'écoute analytique que nous allons proposer un peu plus loin au lecteur lui permettront sans doute de percer un peu les secrets d'une certaine justesse et d'une certaine sonorité. Cette écoute est cependant assez artificielle; pour entendre distinctement les battements d'harmoniques émis par un intervalle et pour les évaluer, il faut en effet écouter cet intervalle isolément, hors de tout contexte musical[1]. Or ce n'est jamais dans de telles conditions qu'un musicien écoute et apprécie un intervalle : celui-ci est toujours replacé dans un certain contexte où il occupe une certaine place et joue une certaine fonction tonale et harmonique. L'expérience montre que placés dans un tel contexte, de nombreux intervalles ont tendance à se déformer en fonction d'attractions tonales, harmoniques ou rythmiques auxquelles cède généralement un musicien libre de ses fréquences comme un instrumentiste à cordes, par exemple. L'ensemble de ces déviations constituent ce qu'on a parfois appelé la « justesse expressive ». C'est la raison pour laquelle un musicien ne joue jamais vraiment selon un tempérament égal. Il s'en écarte souvent :

– soit pour répondre à des attractions d'ordre mélodique ou tonal (cas très fréquent). Il tend alors vers une justesse pythagoricienne avec une tendance à agrandir les demi-tons chromatiques ainsi que les intervalles majeurs et augmentés et à raccourcir, au contraire les demi-tons diatoniques ainsi que les intervalles mineurs et diminués. Dans un tel cas, les intervalles harmoniques et les accords présentent toujours des rapidités plus accusées que dans le tempérament égal, ce qui a pour effet d'accroître les tensions mélodiques,

– soit pour répondre à des attractions verticales d'ordre harmonique : cas d'accords isolés et prolongés où la dimension mélodique et rythmique de la musique passe au second plan. Dans ce cas beaucoup plus rare, le musicien tend vers la justesse naturelle caractérisée par des tendances opposées à celles décrites ci-dessus et par une suppression plus ou moins totale des battements d'harmoniques.

On voit donc qu'une note comme DO♯, par exemple, n'occupe pas toujours le milieu du ton DO RÉ comme c'est le cas dans un tempérament égal. Tantôt DO♯ tendra à se rapprocher de RÉ, si, par exemple, le passage exécuté est dans le ton de RÉ (fonction de sensible); tantôt, il tendra effectivement à occuper le milieu du ton, en l'absence, d'une attraction caractérisée, dans l'accord du 4ᵉ degré du ton de MI, par exemple, ou encore lors d'une modulation enharmonique ou DO♯ prend soudain le sens de RÉ♭; tantôt enfin, il pourra se trouver en deçà de cette position moyenne :

---

[1] C'est ce qu'E. Leipp appelle un « artefact »; voir p. 146, n. 2.

en LA majeur, par exemple, sur un accord de tonique prolongé dans la nuance pianissimo; il tendra alors à se confondre avec l'harmonique de rang 5 du LA fondamental résonnant aux basses afin que des battements ne troublent pas la sérénité de l'accord.

La question de savoir si DO♯ se trouve plus haut ou plus bas que RÉ♭ qui a alimenté pendant des siècles des querelles entre pythagoriciens et zarliniens ou entre certains musiciens et certains physiciens apparaît donc comme tout à fait vaine : tout dépend du contexte!! La rigidité des systèmes théoriques n'existe guère dans la musique vivante. Les seules règles intangibles résultent des nécessités de la pratique instrumentale telle que celle de la fixité moyenne de l'intonation qu'entraîne l'existence de notes absolument fixes : la hauteur du LA_3 correspondant au diapason choisi et celles des notes des cordes à vide des instruments à cordes accordés par quintes justes à partir de ce LA_3 par exemple. Dans le cadre de ces quintes justes qui délimitent avec précision l'espace tonal, chaque note oscille nécessairement autour d'une position moyenne où elle occupe le milieu d'un ton et se trouve confondue avec la note enharmonique qui lui correspond. Mais selon le jeu des attractions, le musicien peut à tout moment s'écarter dans un sens ou dans l'autre de cette position moyenne. Toutefois, comme les attractions mélodiques et tonales l'emportent généralement sur les attractions harmoniques, les notes diésées se trouvent souvent plus haut que les notes bémolisées enharmoniques.

Cette explication montre bien pourquoi un musicien, même pourvu d'une excellente oreille, ne peut accorder convenablement un piano s'il n'a pas acquis cette oreille analytique et parfaitement neutre de l'accordeur : son sentiment musical l'entraîne en effet à penser des sons et des intervalles qui peuvent varier en fonction du contexte.

Mais sur un instrument à clavier qui ne possède que 12 notes par octave, il importe que les demi-tons soient tous rigoureusement égaux afin qu'une note partageant un ton, le ton DO RÉ, par exemple, puisse aussi bien être prise pour un DO♯ que pour un RÉ♭ : la note partageant un ton doit en effet pouvoir être interprétée dans tous les sens et seule la stricte égalité des demi-tons garantit un système absolument neutre. La moindre inégalité dans le partage d'un ton a pour effet de donner à la note intermédiaire une certaine polarisation qui ne peut correspondre qu'à une utilisation dans un contexte attractif précis. Dans tous les autres cas ou ce contexte attractif est absent, cette note ne peut qu'apparaître comme plus ou moins fausse. C'est bien ce qui arrive lorsqu'un piano n'est pas rigoureusement accordé au tempérament égal. C'est aussi une des raisons pour lesquelles un piano accordé dans la gamme de Pythagore ou dans celle de Zarlin[1] (ou dans un tempérament inégal quelconque), ne peut donner entièrement satisfaction à un musicien : certains passages paraîtront très justes; d'autres, au contraire sonneront plus ou moins faux, chaque fois que les inégalités iront dans un sens contraire à celui réclamé par le contexte! C'est pourquoi, pour les instruments à clavier, justesse est donc synonyme de stricte égalité des demi-tons et donc progression rigoureuse des rapidités de battements d'harmoniques.

Écoute des battements d'harmoniques d'un piano accordé au TEQJ

Avant d'aborder cette formation de l'oreille, rappelons qu'il existe deux sortes de battements[2] : la première, les battements entre sons

---

[1] Voir expériences de Van Esbroeck et Monfort, p. 141.

[2] Pour plus de détails, voir « Acoustique des hauteurs », p. 209.

fondamentaux qui sont très marqués et considérés généralement comme peu esthétiques : ils se produisent, par exemple, lorsque les trois cordes d'une même note ne sont plus à l'unisson. Autant dire qu'à moins d'être amateur de piano « bastringue », on cherche plutôt à les éviter et qu'en principe, un piano bien accordé ne devrait pas en présenter ! Cependant lors de l'étude du maniement de la clé d'accord, nous en créerons quelques-uns pour bien nous rendre compte en quoi ils se distinguent de la seconde sorte de battements : les battements d'harmoniques. Il serait sans doute préférable d'appeler ces derniers « jeux d'harmoniques » pour souligner leur caractère subtil et musical qui les oppose au caractère brutal et bruyant des battements entre sons fondamentaux.

Comme nous l'avons déjà dit, la plupart des intervalles donnent naissance à ces battements ou jeux d'harmoniques, mais certains sont plus audibles et distincts que d'autres; ce sont naturellement les plus audibles qui retiendront notre attention et cela, à un double titre : d'abord parce que ce sont ceux qui nous permettront de réaliser un accord avec un maximum de précision et surtout parce qu'ils ont une influence directe sur la sonorité d'un instrument.

Pour que des jeux d'harmoniques soient bien audibles, il est nécessaire qu'ils soient produits par des harmoniques suffisamment intenses et donc de rang inférieur (de 1 à 8); il faut aussi que leurs rapidités soient suffisantes : ni trop lentes, ni trop élevées, c'est-à-dire qu'elles soient comprises entre 3 ou 4 battements à la seconde au minimum et environ 15 au maximum; dans ces conditions, les intervalles qui présentent les jeux d'harmoniques les plus audibles nous paraissent être dans l'ordre : les 17^e majeures, les 10^e majeures, les sixtes majeures, les tierces majeures, les tierces mineures et les sixtes mineures. Les battements de quartes, de quintes et d'octaves sont également audibles mais ne sont pas toujours faciles à percevoir en raison de leur lenteur : leur rapidité est en effet toujours inférieure à 3 à la seconde dans le medium et au niveau de la partition.

Ces diverses remarques sur l'audibilité des jeux d'harmoniques nous ont amené à penser qu'il fallait commencer la formation de l'oreille par l'écoute des rapidités des 17^e et des 10^e et finir par celle des tierces, quartes et octaves d'un abord plus difficile. C'est dire que nous adoptons là un ordre inverse à celui qu'on suit généralement. Nous avons vu en effet, qu'avant d'accorder l'ensemble d'un instrument, on « fait la partition ». Il en résulte qu'on commence l'étude de l'accord par la partition; or celle-ci comporte précisément des intervalles de tierces, de quartes et de quintes dont les battements d'harmoniques sont nettement plus difficiles à percevoir et à évaluer que ceux des 17^e, des 10^e et des sixtes. L'élève accordeur a alors bien du mal à entendre ces mystérieux battements et, rebuté par cette difficulté de départ, il lui arrive d'être vite découragé au point de renoncer définitivement à l'accordage.

Ce sont, à notre avis, les battements les plus évidents que présente un instrument à clavier comme le piano : c'est dire l'importance qu'ils ont sur la sonorité de cet instrument. Pas un piano qui ne chante ou qui ne « sonne » sans une maîtrise parfaite de la rapidité de ces intervalles.

Une 17ᵉ majeure, c'est une tierce deux fois redoublée (2 octaves + une tierce majeure) comme, par exemple DO_1 MI_3

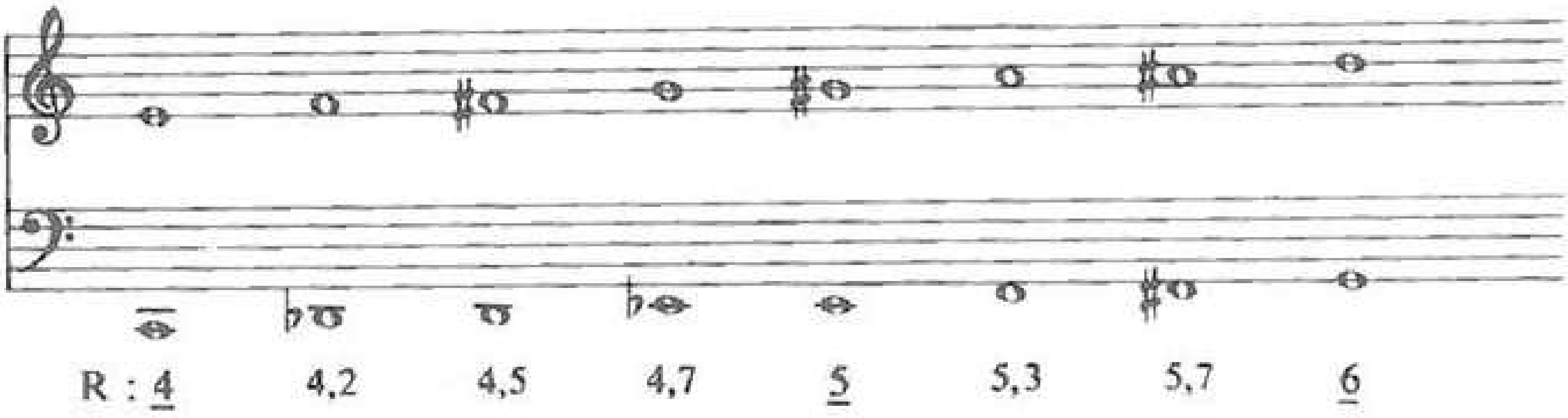
Dans le TEQJ, elle comprend donc, comme à l'orchestre à cordes, 4 quintes justes successives :

DO_1 (SOL) (RÉ) (LA) *MI_3*

Les battements de 17ᵉ majeure sont produits par la note aiguë de l'intervalle (dans notre exemple, un MI_3 à quatre quintes justes de DO_1) qui bat avec le 5ᵉ harmonique de la note de basse (ici un autre MI_3, 5ᵉ harmonique de DO_1). Le MI_3 qui se trouve à 4 quintes justes de DO_1 est en effet 1 comma plus haut que le MI_3 harmonique. On dit dans ce cas que l'intervalle bat par excès, ce qui signifie que la présence de battements est due à ce que l'intervalle est plus grand que l'intervalle naturel correspondant; en effet si l'intervalle DO_1 MI_3 était naturel, le MI_3 se trouverait juste à la hauteur du MI_3, 5ᵉ harmonique de DO_1 et il n'y aurait alors aucun battement. Dans le cas du TEQJ, il se trouve au contraire, 1 comma au-dessus : la 17ᵉ est donc plus grande que l'intervalle naturel et bat donc bien par excès. (Ce qui ne veut pas dire qu'elle soit fausse! car la justesse naturelle et la justesse musicale sont deux choses bien différentes – voir la seconde partie de cet ouvrage : « Qu'est-ce que la justesse? »)

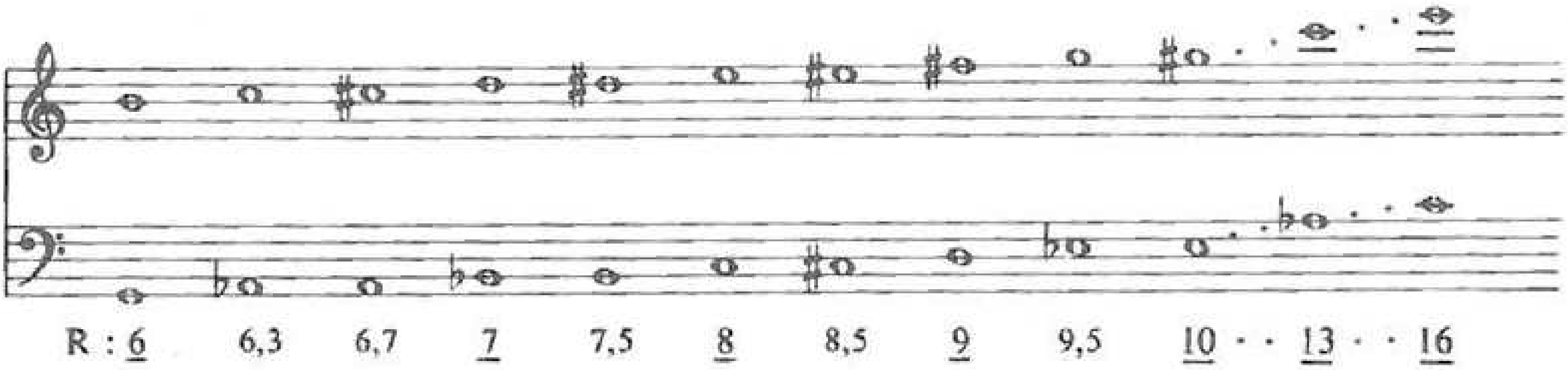
Pour bien percevoir les battements de la 17ᵉ DO_1 MI_3, jouer d'abord seul et dans la nuance « forte » le MI_3 et l'écouter s'éteindre progressivement; puis jouer ensemble DO_1 et MI_3; porter son attention sur MI_3 : on se rend alors compte que son intensité subit des fluctuations périodiques un peu comme dans un « vibrato » et que ces fluctuations se reproduisent 4 fois par seconde : c'est ce qu'on appelle la rapidité de l'intervalle. Elle est égale à la différence entre la fréquence du MI_3 réel et du MI_3 harmonique de DO_1. Si les battements de 17ᵉ comme celui-ci sont relativement puissants, c'est qu'il ne s'agit pas à proprement parler de battements d'harmoniques mais, comme on vient de le voir, de battements entre un harmonique et une note réelle : la note aiguë de l'intervalle.

Écoutons ensuite en restant longtemps sur chacune d'elles les 17e majeures harmoniques suivantes :



Nous percevons alors les rapidités indiquées ci-dessus. Une difficulté peut se présenter qu'on pourra vite surmonter avec le concours d'un bon accordeur ou d'un professeur d'accord : en même temps que les battements normaux dont nous venons de parler, on peut parfois percevoir des battements d'intensité plus faible qui battent deux fois plus vite que les battements principaux : il s'agit de battements qui se produisent entre le 10e harmonique de la note fondamentale et le 2e harmonique de la note aiguë à la hauteur de MI$_4$: ces battements dédoublés sont généralement trop faibles sur les pianos droits pour gêner la perception des battements principaux, mais sur les grands pianos à queue, ils peuvent être presque aussi puissants.

Après avoir réussi à entendre les battements des 17e graves présentées ci-dessus, on pourra poursuivre cette investigation vers l'aigu :

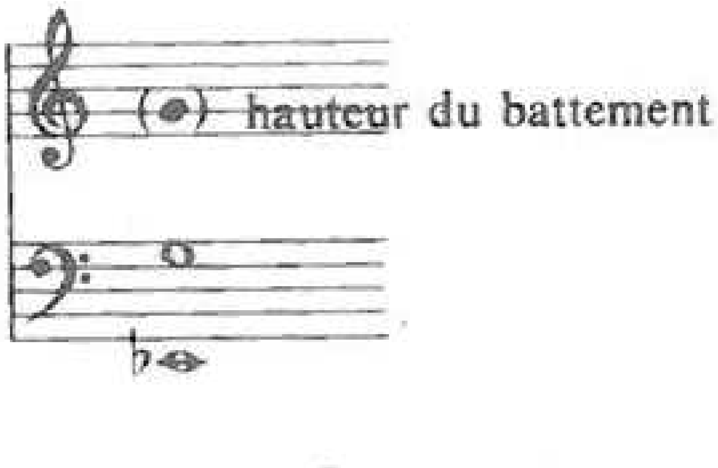


Les rapidités vont naturellement devenir de plus en plus grandes et, à partir de DO$_3$ MI$_5$ (R = 16), il est difficile de percevoir nettement les battements; on peut ensuite écouter les 17e plus graves que DO$_1$ MI$_3$; si on s'exerce sur un piano qui possède d'excellentes basses, la décroissance progressive des rapidités des 17e lorsqu'on se dirige vers le grave, se poursuivra jusqu'aux notes les plus graves; mais sur d'assez nombreux pianos, tout sombrera à un certain moment dans le flou même si par ailleurs le piano est très bien accordé : lorsqu'en effet un piano est de dimension réduite, ses cordes graves sont trop courtes pour émettre des sons purs; la corde ne produit pas alors de véritables harmoniques mais des sons inharmoniques appelés « partiels ». Plus les cordes sont longues, comme sur les grands queues de concert, par exemple, plus l'inharmonicité est réduite. Plus elles sont courtes, comme sur certains pianos droits ou sur les modèles « crapauds », plus l'inharmonicité est importante et plus il est difficile pour l'accordeur d'entendre et de maîtriser les battements d'harmoniques.

On remarquera que dans le TEQJ, les 17^e placées sur les notes DO$_1$ MI$_1$ et SOL$_1$ ont pour rapidités respectives : 4, 5 et 6; ce qui est très facile à retenir. Dès qu'on a l'oreille un peu formée, on sait très vite comment le piano est accordé, dans les basses du moins, par rapport à un accord au TEQJ. L'élève accordeur ne doit pas se contenter de remarquer ces rapidités caractéristiques : il doit les retenir afin de pouvoir par la suite les réaliser lui-même lorsqu'il s'entraînera à accorder au TEQJ : il est en effet très utile et très facile de compter ces battements de 17^e contenus un nombre entier de fois dans une seconde. Il est par contre tout à fait inutile de retenir ou d'essayer de compter des rapidités intermédiaires comme, par exemple, R RÉ$\flat_1$ FA$_3$ = 4,2; la réalisation de ces rapidités intermédiaires se fera très facilement à l'oreille et sans compter, comme nous le verrons dans la méthode d'accord.

Les battements d'harmoniques des 10^e majeures

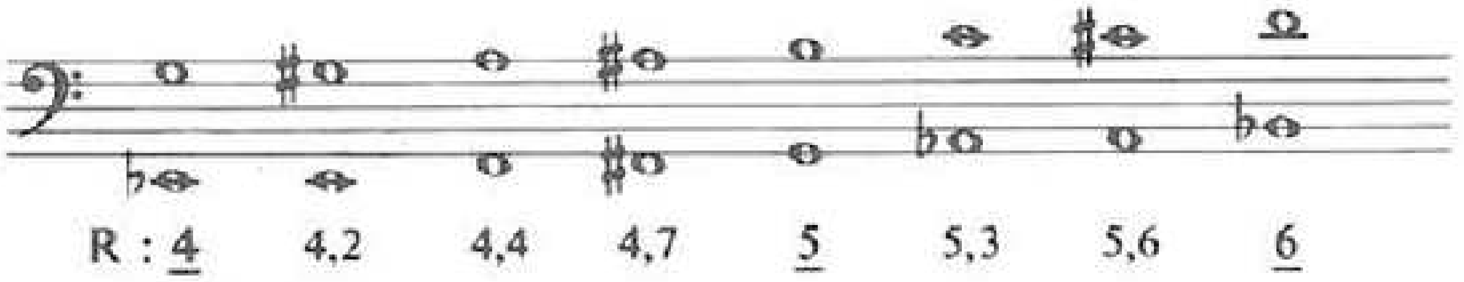
Après les 17^e majeures, ce sont certainement les 10^e majeures qui donnent les battements d'harmoniques les plus sonores. Il s'agit cette fois de tierces majeures une fois redoublées comme, par exemple :



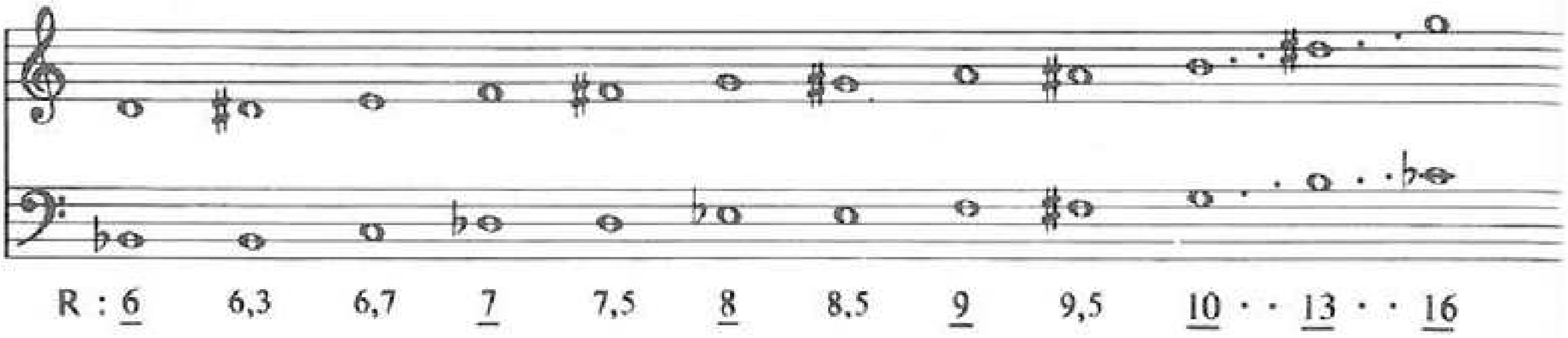
Les battements de 10^e majeures sont produits par le 5^e harmonique de la note grave de l'intervalle qui bat avec le second de la note aiguë, ce qui, dans l'exemple ci-dessus, a lieu à la hauteur de SOL$_3$. Comme les 17^e majeures, les 10^e majeures battent par excès : si en effet, une

10ᵉ était naturelle, le second harmonique de la note aiguë se trouverait juste à la hauteur du 5ᵉ harmonique de la note grave et il n'y aurait pas de battements. Mais ici, la 10ᵉ est plus grande qu'une 10ᵉ naturelle et bat donc par excès.

Écouter d'abord les battements de la 10ᵉ MI♭$_1$ SOL$_2$ qui bat à 4 à la seconde, puis écouter ensuite les 10ᵉ suivantes en notant leur rapidité :



Écouter ensuite d'autres 10ᵉ, d'abord vers l'aigu :



(On voit que leur rapidité atteint 16 aux environs de MI♭$_3$ SOL$_4$ et qu'elle sera donc très difficile à apprécier au-delà de cet intervalle.)

Puis vers le grave pour lequel nous ferons les mêmes réserves que pour les 17ᵉ en ce qui concerne la netteté des battements sur les pianos aux cordes trop courtes et présentant de ce fait une inharmonicité excessive.

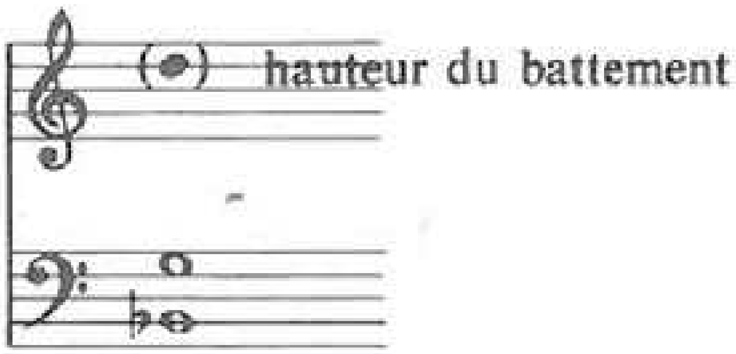
L'accordeur notera que les 10ᵉ qui présentent des rapidités de 4, 5 et 6 battements à la seconde sont placées sur les notes MI♭$_1$, SOL$_1$ et SI♭$_1$, ce qui est très facile à retenir.

Remarque

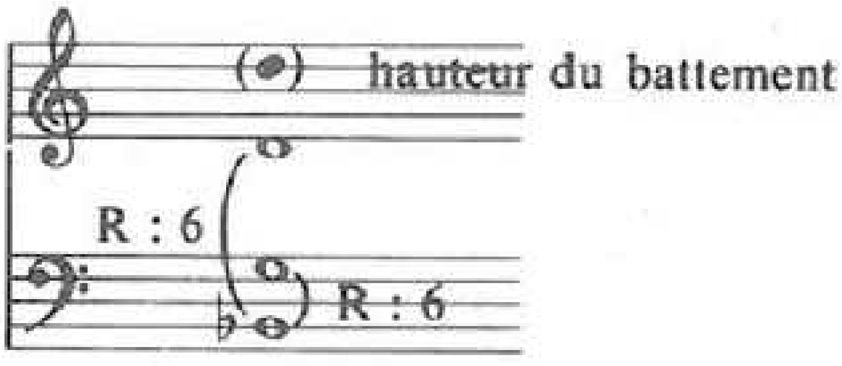
En écoutant ces battements de 10ᵉ, nous avons noté un phénomène qui nous a longtemps intrigué : les battements d'une 10ᵉ comme MI♭$_1$ SOL$_2$, par exemple, se produisent en principe à la hauteur de SOL$_3$. Or, on n'entend pas ces battements à la hauteur de SOL$_3$ mais bien à la hauteur de la note aiguë de la 10ᵉ, c'est-à-dire SOL$_2$. On trouvera l'explication de cette curieuse illusion d'acoustique à la page 207 de l'« Acoustique des hauteurs ».

Les battements d'harmoniques des sixtes majeures

Dans le cas de la sixte majeure, c'est le 5^{e} harmonique de la note grave qui bat avec le 3^{e} de la note aiguë; l'intervalle bat encore par excès : pour une sixte comme SI♭$_1$ SOL$_3$, par exemple, le RÉ$_4$, 3^{e} harmonique du SOL$_2$ bat avec le RÉ$_4$, 5^{e} harmonique du SI♭$_1$ qui se trouve légèrement plus bas; la rapidité de l'intervalle est ici de 6 battements à la seconde :



Il faut déjà s'être un peu fait l'oreille aux battements des 17^{e} et des 10^{e} majeures pour percevoir sans problèmes ceux des sixtes majeures. Cependant une sixte quelconque du TEQJ présente la caractéristique intéressante d'avoir exactement la même rapidité que la 10^{e} majeure ayant la même note de basse : c'est là une des conséquences de la justesse de la quinte qui, dans le TEQJ, sépare les notes aiguës des deux intervalles :

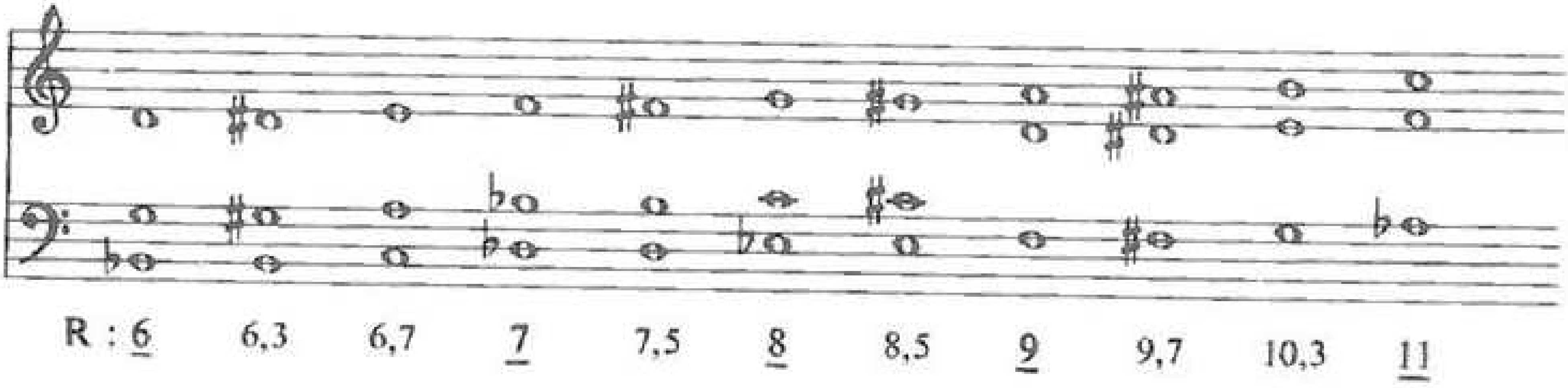


Cette isochronie des rapidités des sixtes et des 10^{e} majeures ayant la même note de basse va nous permettre d'entendre sans difficulté les battements de sixte, dès lors que nous percevons déjà bien ceux des 10^{e}. Si nous jouons, en effet, la 10^{e} SI♭$_1$ RÉ$_3$ qui bat à 6 à la seconde, et que nous écoutons immédiatement après la sixte SI♭$_1$ SOL$_2$, nous percevrons exactement la même rapidité de battements soit 6 battements à la seconde, mais les battements seront plus discrets dans le second cas et ils affecteront le SOL$_2$ au lieu du RÉ$_3$ (bien qu'en principe, ils se produisent dans les deux cas à la hauteur de RÉ$_4$! voir remarque ci-dessus).

Écouter ainsi les 10^{e} et les sixtes ci-dessous, en écoutant d'abord chaque 10^{e} puis tout de suite après la sixte correspondante :

Puis écouter les sixtes toutes seules sans s'aider des 10e.

Lorsqu'on perçoit bien les rapidités des sixtes du tableau ci-dessus, écouter les sixtes plus aiguës suivantes en s'aidant, si besoin est, des 10e correspondantes :



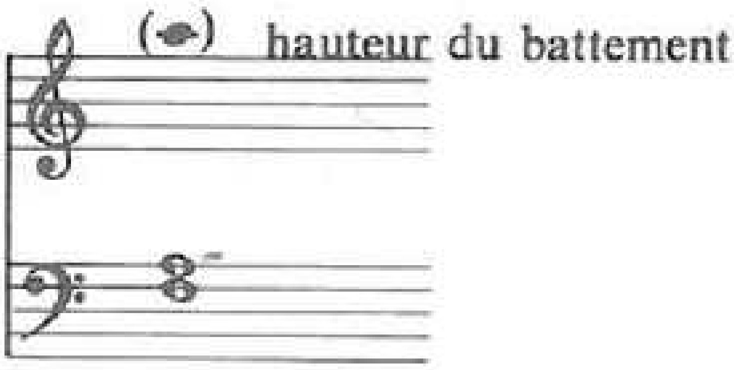
L'élève accordeur a intérêt à s'arrêter longuement sur les sixtes majeures construites sur FA$_2$, FA♯$_2$, SOL$_2$, SOL♯$_2$ qui sont celles que comporte l'octave FA$_2$ FA$_3$ et permettront de contrôler la rigueur de la partition lors d'un accord au TEQJ. Il doit donc s'efforcer d'avoir bien en mémoire les rapidités de ces quatre sixtes. Mais au niveau du medium où se situent ces quatre sixtes, il n'est plus possible, ni même utile de compter les battements devenus trop rapides : comme nous l'avons expliqué au chapitre précédent, il faut savoir les évaluer, comparer les rapidités et apprécier leurs progressions régulières : avoir bien en mémoire ces rapidités signifie donc les avoir « dans l'oreille ».

Pour en terminer avec les sixtes et les 10e majeures, on peut écouter les accords de trois sons formés par une sixte et une 10e construits sur la même note de basse comme :

L'ensemble de l'accord ainsi formé est animé d'une sorte de « vibrato » dû à ce que les battements isochrones de sixte et de 10e se renforcent mutuellement sans être troublés par des battements de quinte puisque la quinte est juste dans le TEQJ et ne bat pas. Il n'en irait pas de même dans la GBTT où la quinte n'est pas juste et où trois sortes de battements se contrarient : les battements de la quinte « tempérée », et ceux non isochrones de la sixte d'une part et de la 10^e d'autre part.

Les battements d'harmoniques des tierces majeures

Ils sont dus au 5^e harmonique de la note grave qui bat avec le 4^e de la note aiguë. Pour une tierce comme FA$_2$ LA$_2$, par exemple, ils se produisent à la hauteur de LA$_4$:



Mais on les perçoit à la hauteur du LA$_2$ (voir remarque de la p. 62). La tierce majeure du TEQJ étant plus grande que l'intervalle de tierce majeure naturelle, bat par excès comme d'ailleurs tous les autres intervalles majeurs de ce tempérament.

A ce stade de la formation de l'oreille à l'écoute des battements d'harmoniques, il devient moins utile d'écouter d'abord des intervalles graves présentant des battements suffisamment lents pour qu'on puisse les entendre distinctement et les compter. Nous commençons en effet à savoir apprécier la rapidité d'intervalles qui, comme les sixtes du medium, présentent déjà des battements trop rapides pour qu'on puisse les compter. Par ailleurs, la plupart des accordeurs, même les bons, se soucient assez peu de la bonne progression des rapidités de tierces dans le registre grave. D'assez nombreux pianos présentent en effet, dans ce registre, des phénomènes d'inharmonicité qui affectent à la fois les deux notes d'une tierce et peuvent en perturber la rapidité. Dans de tels cas, c'est peine perdue de chercher à obtenir des rapidités de tierces bien progressives; c'est d'autant plus inutile, que les tierces, comme tous les intervalles d'ambitus réduit ou les accords en position serrée, sont à peu près proscrits en harmonie dans le registre grave. Quand ils ne peuvent faire autrement, les bons accordeurs sacrifient donc un peu dans ce registre les tierces et les autres intervalles d'ambitus réduit pour porter toute leur attention sur les 10^e et les 17^e qui relient les registres graves et medium de l'instrument et dont dépend pour beaucoup sa sonorité.

Voici toutefois les rapidités théoriques des tierces graves dont la rapidité se situe entre 4 et 5 battements à la seconde dans le TEQJ, rapidité qui n'est parfaitement contrôlable que sur les grands pianos à queue qui présentent dans le grave très peu d'inharmonicité :

R : 4 4,2 4,6 4,8 5

A partir de SI$\flat_1$, la progression régulière des rapidités des tierces majeures devient possible sur la plupart des pianos. Il importe d'ailleurs qu'elle le soit dans la mesure où, à cette hauteur, les tierces commencent à être utilisées dans des accords et agrégations harmoniques et où elles le seront de plus en plus au fur et à mesure que nous nous dirigerons vers l'aigu. Cette régularité de la progression des rapidités des tierces majeures doit devenir impeccable à partir de la tierce FA$_2$ LA$_2$, 1$^{\text{re}}$ tierce de la partition :

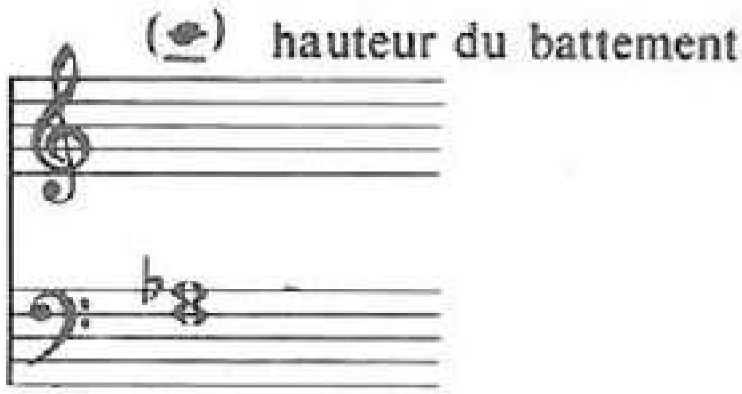
R :	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11,2	12
R (GBTT):	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11,2

Nous avons indiqué sur ce tableau les rapidités des tierces majeures du medium dans le TEQJ, mais aussi dans la GBTT. On remarquera ainsi que les différences de rapidité qui existent entre le TEQJ et la GBTT, différences qui sont très sensibles sur les 17^{e} et sur les 10^{e} sont très réduites au niveau des tierces; c'est donc lorsqu'on jouera en position large que les différences entre les deux systèmes d'accord seront les plus évidentes : c'est-à-dire dans les rapports grave-medium, medium-aigu et encore davantage grave-aigu, lorsque les deux mains sont nettement séparées l'une de l'autre. Mais ces différences vont pourtant dépendre de celles plus réduites enregistrées au niveau de la partition : apparemment négligeables sur les tierces, elles apparaîtront déjà nettement sur les quintes qui seront justes dans le TEQJ et battront dans la GBTT.

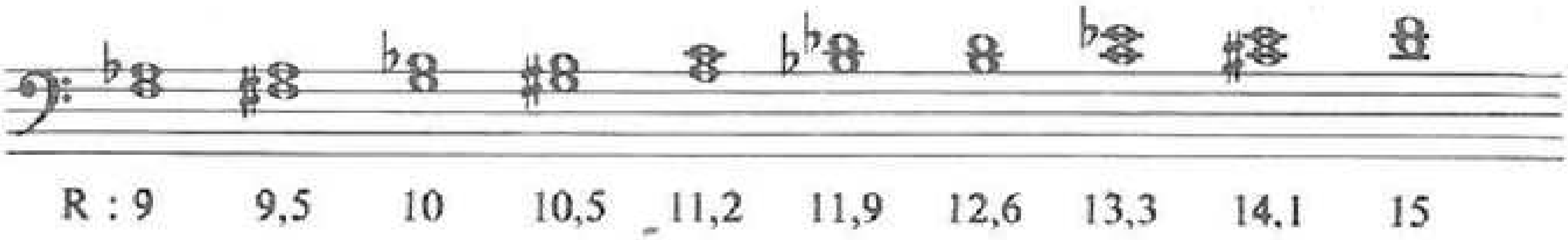
Les battements de tierces mineures

C'est ici le 6^{e} harmonique de la note de basse qui bat avec le 5^{e} de la note aiguë. Mais ici le battement a lieu par défaut et non par excès : c'est-à-dire que l'intervalle bat parce qu'il est plus petit que la tierce mineure naturelle.

Dans une tierce mineure comme FA$_2$ LA$\flat_2$, par exemple, le DO$_5$, 6^{e} harmonique du FA$_2$ est plus aigu que le DO$_5$, 5^{e} harmonique du LA$\flat_2$ note aiguë de l'intervalle :



Lorsqu'on perçoit bien les rapidités des tierces majeures de la partition, on aborde sans difficulté les tierces mineures. En voici les rapidités :



On peut remarquer que la rapidité de la tierce mineure la plus grave de la partition FA$_2$ LA♭$_2$, est égale à celle de la tierce majeure la plus aiguë LA♭$_2$ DO$_3$: soit 9 battements à la seconde (voir p. 66). C'est encore une des conséquences de la justesse de la quinte FA$_2$ DO$_3$. Comme les deux tierces sont complémentaires dans le cadre de l'accord parfait mineur FA$_2$ LA♭$_2$ DO$_3$, leur parfaite isochronie donnera à cet accord et à tous les accords de même nature un « vibrato » très chantant.

L'accordeur aura là également un moyen de contrôler la justesse rigoureuse des quintes, car si la quinte est juste, l'isochronie des deux tierces complémentaires persistera même si on monte ou si on descend un peu le LA♭$_2$. Si en effet on monte un peu le LA♭$_2$, la tierce majeure LA♭$_2$ DO$_3$ qui bat par excès va se raccourcir, et donc battre un peu moins vite puisqu'elle se rapprochera d'une tierce naturelle; quant à la tierce mineure qui battait par défaut, elle va au contraire s'agrandir et donc battre, elle aussi, un peu moins vite puisqu'elle se rapprochera également de sa valeur naturelle. Ce serait le contraire si on descendait un peu le LA♭$_2$: les deux tierces s'éloigneraient en sens contraire de leur valeur naturelle et leurs battements resteraient alors isochrones mais en s'accélérant. Dans la GBTT, les deux tierces présentent des rapidités différentes en raison du raccourcissement de la quinte.

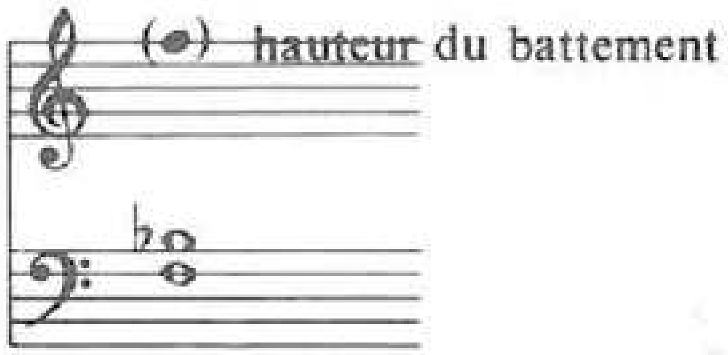
Battements de sixtes mineures

Les sixtes mineures battent par défaut comme les tierces mineures : le 8^e harmonique de la note grave d'une sixte mineure se trouve en effet légèrement plus haut que le 5^e de la note aiguë. Dans une sixte comme FA$_2$ RÉ♭$_3$, par exemple, les battements ont lieu à la hauteur de FA$_5$:

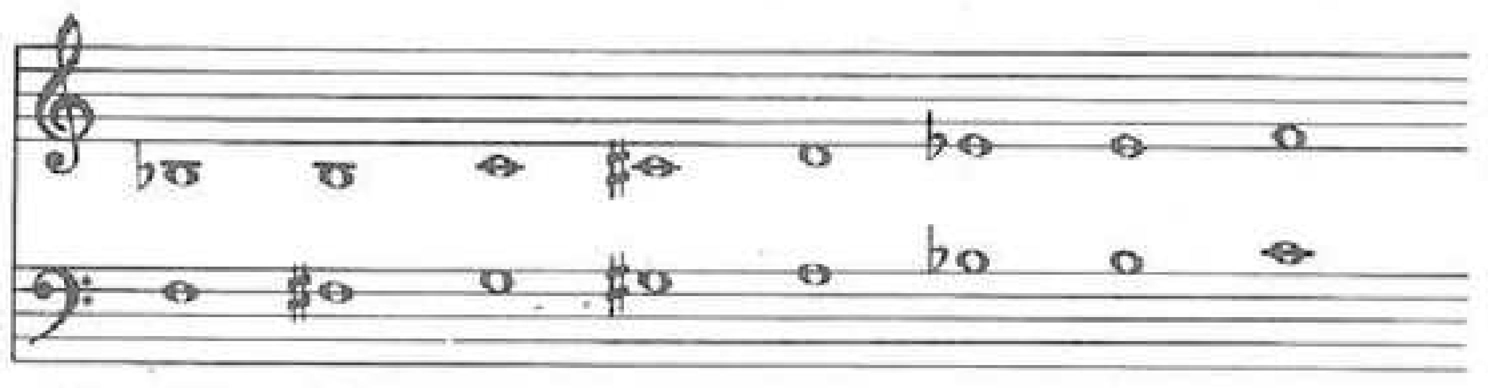
Les sixtes mineures présentent des battements déjà assez difficiles à percevoir car l'un des harmoniques à l'origine de ces battements, le 8^e de la note grave, est d'un rang assez élevé et son intensité est réduite. C'est pourquoi les rapidités des sixtes mineures ne sont généralement pas utilisées en accord. Elles peuvent pourtant s'avérer utiles lors de certains contrôles et, par ailleurs, elles influent sur la sonorité de certains accords. Nous allons donc écouter quelques-unes de ces sixtes dans le medium; si on ne perçoit pas d'emblée les battements d'une sixte mineure, on peut s'aider des battements de la sixte majeure qui a la même note de basse, car dans le TEQJ, deux sixtes, l'une majeure, l'autre mineure ayant la même note de basse présentent exactement les mêmes rapidités. Ainsi pour percevoir la rapidité de FA$_2$ RÉ$\flat_3$, on peut d'abord jouer FA$_2$ RÉ$_3$ qui bat à 9 puis, en conservant le FA$_2$ à la basse, lâcher le RÉ$_3$ et jouer le RÉ$\flat_3$: on continue alors à percevoir 9 battements à la seconde. Procéder de la même façon pour les sixtes suivantes conformément au tableau ci-dessous :

Les battements de quarte

Ils sont produits par le 3^e harmonique de la note aiguë de la quarte qui se trouve légèrement plus haut que le 4^e harmonique de la note grave :



Les quartes du TEQJ battent donc par excès. Voici les rapidités des quartes de l'octave FA$_2$ FA$_3$ du medium :



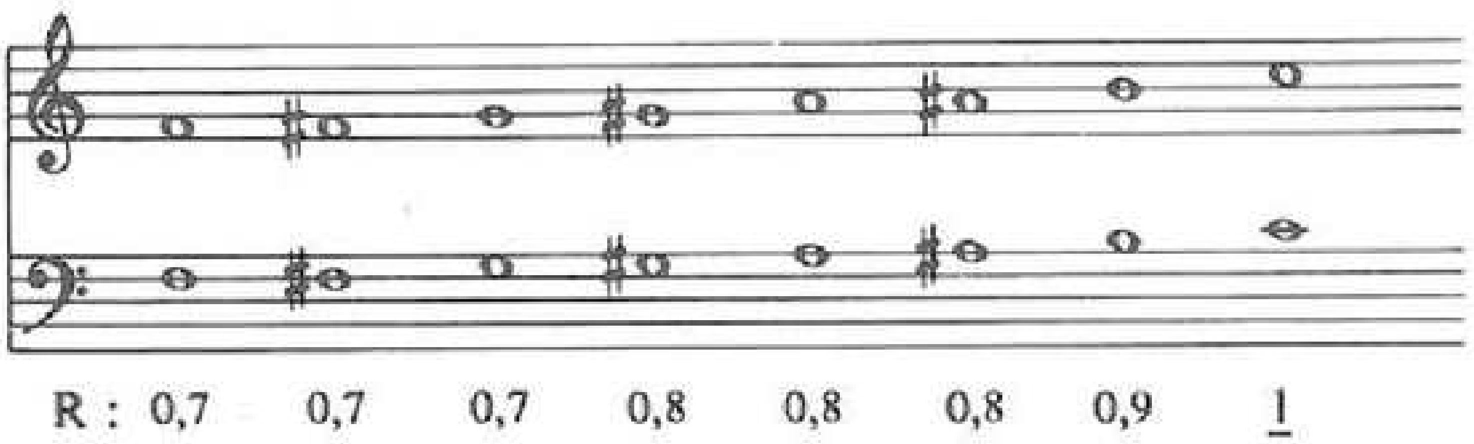
Ces rapidités ne sont pas suffisantes pour qu'on puisse percevoir facilement les battements et en évaluer la rapidité en dessous de la quarte LA$_2$ RÉ$_3$, si on n'a pas déjà une certaine expérience de l'accord. L'insuffisance de netteté des battements de quarte tient sans doute également à ce que la quarte est un intervalle renversé : dans la quarte FA$_2$ SI♭$_2$, par exemple, c'est en fait le SI♭$_2$ qui est la note fondamentale puisqu'il émet comme 3^e harmonique un FA$_4$ alors que le FA$_2$ placé à la basse, n'émet aucun SI♭ : c'est donc sur un FA, le FA$_4$ que se produisent les battements qui affectent la note FA$_2$ de l'intervalle; or le SI♭$_2$, placé au-dessus du FA$_2$, masque la netteté du phénomène dont le FA$_2$ est le siège; cet effet de masque est plus ou moins accentué selon les instruments : il y a des pianos où on entend bien les battements de quarte et d'autres où le phénomène reste très discret. Très utiles à l'accordeur expérimenté pour « faire la partition » en raison de la lenteur de leurs battements qu'on peut compter avec précision, les quartes sont souvent un sujet de découragement pour l'accordeur débutant; celui-ci doit pourtant apprendre à les utiliser mais toujours en même temps que d'autres intervalles comme les tierces et les sixtes; cela lui permet, en multipliant les contrôles, de rectifier les erreurs commises sur les quartes. L'une des plus fréquentes de ces erreurs consiste à faire battre les quartes par défaut et non par excès! Cette difficulté à « entendre les quartes » explique pourquoi certaines partitions de la GBT qui se font uniquement par quintes et quartes sans aucun contrôle rigoureux des tierces et des sixtes, aboutissent si souvent à des accords médiocres et inégaux : ce sont pourtant des partitions de ce genre que, paradoxalement on enseigne souvent aux débutants : elles ont en effet le mérite d'être faciles à expliquer; on peut en effet montrer qu'en conservant toutes les quartes et les quintes justes, il est impossible d'accorder un piano puisqu'au bout du compte, on se trouve 1 comma au-dessus de la note de départ (voir « Bases théoriques », p. 39); d'où la nécessité apparente de raccourcir toutes les quintes ascendantes (ou, ce qui revient au même d'allonger les quartes descendantes) et la conception traditionnelle (GBTT) du tempérament égal.

Les battements de quintes

Les quintes du TEQJ, étant justes, ne présentent aucun battement. La sensation de quinte juste est caractéristique et beaucoup plus précise que celle d'octave juste : pour une oreille habituée aux quintes justes, comme celle des violonistes, par exemple, une quinte un peu raccourcie paraît vite fausse; c'est ce qui explique les critiques souvent formulées par les instrumentistes à cordes à l'encontre des quintes « tempérées » du piano. Par contre une quinte un peu agrandie et qui bat très lentement par excès, peut fort bien passer pour juste! C'est pourquoi lors de l'accord, il faut vérifier la justesse rigoureuse des quintes, ce qui est très facile dans la mesure où la justesse des quintes entraîne l'isochronie de nombreux intervalles (voir p. 74).

Les battements d'octaves

Les octaves légèrement agrandies du TEQJ battent imperceptiblement dans le grave, très lentement dans le medium et assez rapidement dans l'aigu. Ces battements sont dus au second harmonique de la note grave qui bat avec la note aiguë de l'intervalle. Voici les battements des octaves du medium :



Ces battements sont assez difficiles à percevoir en raison de leur lenteur mais aussi parce qu'il existe souvent en même temps que le battement principal un battement secondaire de faible puissance mais qui suffit à donner du flou au battement principal déjà peu marqué : ce battement secondaire est produit par le 4^e harmonique de la note grave qui bat avec le second de la note aiguë. En montant vers l'aigu, à la hauteur de l'octave DO$_3$ DO$_4$ environ, ce battement secondaire, quand il existe, disparaît généralement; le battement principal devient plus net et on peut alors contrôler les battements d'octave. On remarquera une curieuse coïncidence : à la hauteur de DO$_3$, au milieu du piano, l'octave présente exactement 1 battement à la seconde; ce qui est particulièrement facile à retenir. En dessous de l'octave DO$_3$ DO$_4$ il est cependant possible d'évaluer la grandeur d'une octave avec précision en considérant toute octave comme la somme d'une quinte juste et d'une quarte légèrement agrandie : l'octave FA$_2$ FA$_3$, par exemple, bat en principe à 0,6 à la seconde, ce qui n'est guère audible ni facile à évaluer; mais cette octave se compose de la quinte juste FA$_2$ DO$_3$ et de la quarte DO$_3$ FA$_3$ qui bat exactement à 2, ce qui est très facile à entendre et à vérifier.

On remarquera enfin que dans un tempérament égal toute octave peut être considérée comme la somme de 3 tierces majeures égales et de rapidités progressives :

FA$_2$ LA$_2$ (7,5) + LA$_2$ DO♯$_3$ (9,5) + DO♯$_3$ FA$_3$ (12)

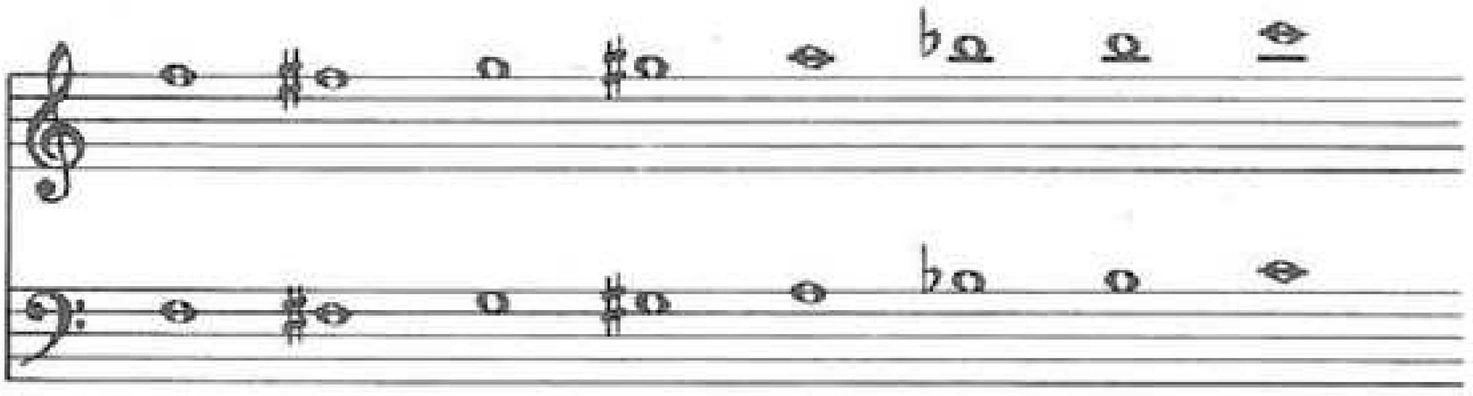
ou de 4 tierces mineures égales de rapidités progressives :

FA$_2$ LA♭$_2$ (9) + LA♭$_2$ SI$_2$ (10,5) + SI$_2$ RÉ$_3$ (12,5) + RÉ$_3$ FA$_3$ (15)

Toutes ces remarques peuvent être très utiles à l'accordeur.

Les battements de double-octave ou de 15^e

Si les battements d'octave du TEQJ sont assez souvent difficiles à percevoir, il n'en va pas de même des battements de 15^e ou doubles octaves qui, bien que peu intenses, sont très nets et très faciles à contrôler. On les perçoit particulièrement bien entre FA$_2$ FA$_4$ qui bat à 2,7 et FA$_3$ FA$_5$ qui bat à 5,5. Notons que ces rapidités passent par 3 pour SOL$_2$ SOL$_4$, 4 pour DO$_3$ DO$_5$ et 5 pour MI$_3$ MI$_5$:



R : 2,7 2,8 3 3,2 3,4 3,6 3,8 4

Initiation à l'écoute des battements d'harmoniques par manipulation de la clé d'accord

Nous l'avons inclus dans l'initiation à l'accord (voir p. 76) : elle suppose en effet un minimum de connaissances concernant le maniement de la clé d'accord. Le pianiste ou le musicien intéressé a donc intérêt, comme l'accordeur débutant, à lire auparavant tout ce qui concerne le maniement de cette clé d'accord.

Caractéristiques d'un piano accordé en TEQJ

1) *Sur le plan mélodique*

Lorsque les octaves sont maintenues physiquement justes du grave à l'aigu, comme c'est le cas dans la GBTT, l'aigu paraît trop bas et le grave trop haut. Ainsi lorsqu'on parcourt rapidement le piano du grave à l'aigu en gammes rapides ou en jeu arpégé, on n'a pas l'impression de monter en ligne droite mais de suivre une ligne courbe qui s'infléchit au fur et à mesure qu'on monte.

Sur un instrument accordé en TEQJ, on a, au contraire, dans un tel cas, l'impression d'une ligne parfaitement droite. C'est que le cycle des quintes justes constitue probablement du grave à l'aigu une sorte d'épine dorsale de la justesse : si toutes les quintes sont justes et donc les octaves agrandies, la montée paraît rectiligne; si au contraire les quintes sont toutes « tempérées » (raccourcies) et les octaves justes, la différence s'accroît chaque fois qu'on parcourt un intervalle de quinte entre ce qu'on entend et le cycle des quintes justes toujours présent à notre esprit. C'est que l'intervalle de quinte juste possède dans le domaine sonore une « prégnance » comparable à celle de l'angle droit dans le domaine visuel : il s'y imprègne facilement. Ce n'est pas du tout le cas de la quinte « tempérée » qui, malgré un conditionnement dû à l'usage de la GBT sur les instruments à clavier, le piano en particulier, reste un intervalle mal défini, artificiel et impossible à concevoir avec précision.

2) *Sur le plan harmonique*

a) *Rôle de la quinte juste*

Là encore, la sonorité caractéristique d'un piano accordé en TEQJ est due pour une bonne part à la justesse des quintes. Dans le domaine harmonique, la quinte joue, en effet, un rôle fonctionnel que ne joue ni l'octave, ni la tierce. L'octave ne fait que répéter une même note mais ne nous apporte aucune indication sur la fonction de cette note. Tout au plus en souligne-t-elle l'importance en la renforçant. Les tierces et les sixtes apportent, quant à elles, une certaine couleur aux accords et agrégations harmoniques, couleur qui varie en fonction de leur nature (majeure, mineure, pythagoricienne, naturelle, tempérée). Mais seule la quinte précise le sens tonal et harmonique de ces accords et agrégations harmoniques dans la mesure où la note grave de la quinte devient la note fondamentale d'un accord et fournit ainsi ce qu'on appelle la basse harmonique : ainsi dans une succession d'accords, c'est de l'enchaînement des différentes quintes en position fondamentale ou renversée que naît le sens du discours tonal. C'est naturellement en position fondamentale que les accords ont le plus de poids et de force tonale et c'est la quinte juste qui les leur fournit : il importe donc que ce support harmonique, véritable fondation de tout l'édifice harmonique du langage traditionnel et ponctuation du discours tonal soit sans faille : d'où l'intérêt d'une quinte rigoureusement juste sur laquelle peuvent alors s'échafauder les combinaisons les plus diverses sans que pour autant la cohérence de l'ensemble et son sens tonal ne soient modifiés. C'est la raison pour laquelle, la quinte est de tous les intervalles, le plus stable, le moins malléable, c'est-à-dire celui qui supporte le moins une quelconque déformation surtout dans le sens d'un rétrécissement.

b) *Rôle de l'octave agrandie*

On sait que les cordes d'un piano sont de plus en plus longues et de plus en plus grosses au fur et à mesure qu'on se dirige vers le grave. Elles sont aussi de plus en plus riches en harmoniques ou, plus exactement en partiels harmoniques. Il en résulte un déséquilibre entre les différents registres du piano puisque, plus les sons sont aigus et moins ils sont puissants et sonores.

Dans ces conditions, le maintien d'octaves rigoureusement justes (GBT) fait que la note aiguë d'une octave plaquée (harmonique) est plus ou moins masquée par le 1^er^ harmonique de la note la plus grave à la hauteur duquel se trouve la note aiguë. Il en est d'ailleurs de même pour tous les harmoniques de cette note aiguë qui se trouvent tous en correspondance avec l'un des harmoniques de la note grave. Celle-ci a donc tendance à « absorber » la note aiguë qui risque de n'apparaître que comme une espèce de « fourniture » de la note grave.

Le léger agrandissement de l'octave du TEQJ redonne à la note aiguë sa force et son indépendance en la détachant ainsi que tous ses harmoniques de la note grave. C'est aussi la raison pour laquelle, comme le montre F. Winckel dans *Vues nouvelles sur le Monde des Sons* (p. 90), la flûte traversière est souvent amenée à jouer nettement trop haut pour compenser son manque d'intensité et sa pauvreté en harmoniques. La dissonance qui en résulte lui permet de « passer » et de se détacher de la basse harmonique.

Dans la dernière octave du piano, les notes sont de plus en plus pauvres en harmoniques et un agrandissement des octaves conformément au TEQJ, risque d'être insuffisant. Il importe alors de « forcer » les octaves jusqu'à la limite de la dissonance afin que la note aiguë se détache de la note grave.

c) *Rôle des battements d'harmoniques de tierces, de 10^e^ et de 17^e^ majeures*

Dans la GBT, une tierce, une 10^e^ et une 17^e^ majeures ayant la même note de basse, présentent les mêmes rapidités en raison de la justesse physique des octaves. Exemple :

$$\text{R FA}_2\ \text{LA}_2 = \text{R FA}_2\ \text{LA}_3 = \text{R FA}_2\ \text{LA}_4 = 7$$

Les tierces, les 10^e^ et les 17^e^ majeures présentent donc la même couleur sonore.

Dans le TEQJ, au contraire, l'agrandissement des octaves donne à la tierce et à ses redoublements des couleurs différentes. C'est ainsi que la 17^e^ est plus rapide que la 10^e^ qui est elle-même plus rapide que la tierce :

$$\text{R FA}_2\ \text{LA}_2 = 7{,}5 \qquad \text{R FA}_2\ \text{LA}_3 = 9 \qquad \text{R FA}_2\ \text{LA}_4 = 11$$

L'accordeur remarquera qu'une 10e majeure bat comme la tierce majeure dont la note grave se trouve une tierce mineure au-dessus de la note grave de la 10e :

exemple : R FA_2 LA_4 = R $LA♭_2$ DO_3 = 9

et qu'une 17e majeure bat comme la tierce dont la note grave se trouve une quinte juste au-dessus de celle de la 17e :

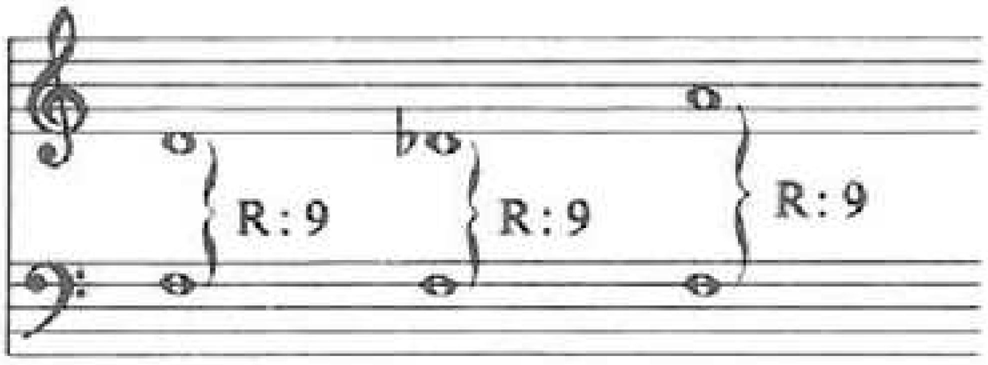
exemple : R FA_2 LA_4 = R DO_3 MI_3 = 11

Ainsi, plus une tierce est redoublée, plus elle gagne en brillance, ce qui permet, au même titre que l'agrandissement des octaves un rééquilibrage des registres du piano : ce que l'aigu perd en intensité sur le medium ou le grave, il le regagne en éclat. C'est aussi ce qu'on peut constater dans la musique orchestrale.

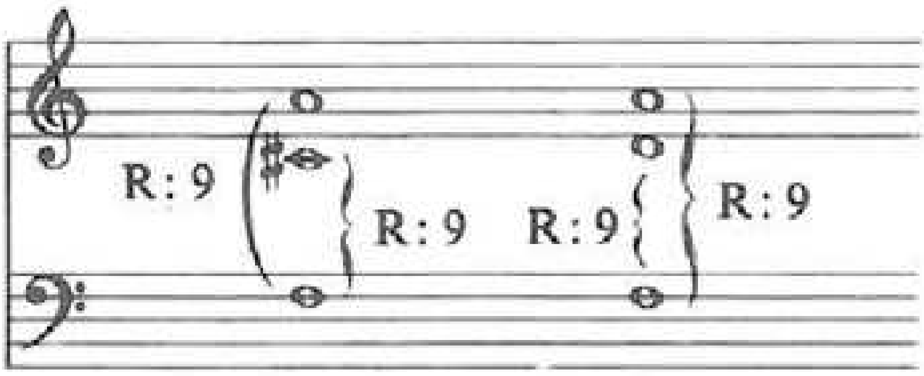
d) *Rôle des battements isochrones*

La justesse des quintes dans le TEQJ entraîne un certain nombre d'isochronies de battements que nous avons d'abord remarquées et que le calcul est venu ensuite confirmer.

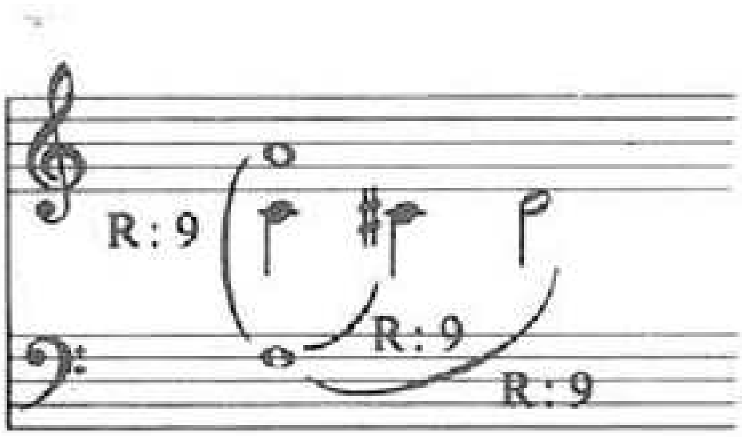
Ainsi une sixte majeure bat comme une sixte mineure ou une 10e majeure ayant la même note de basse; soit, par exemple, à 9 battements à la seconde pour FA_2 $RÉ_3$, FA_2 $RÉ♭_3$ et FA_2 LA_3 :



Des accords comme :

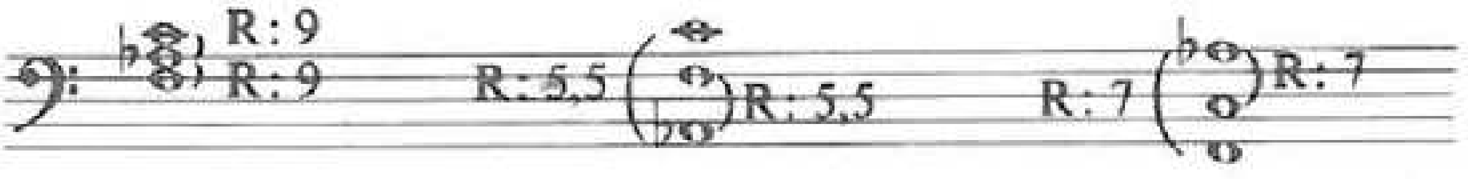


sont donc animés d'un vibrato généralisé de 9 battements à la seconde puisqu'ils sont composés d'intervalles isochrones. Ainsi dans un enchaînement comme :



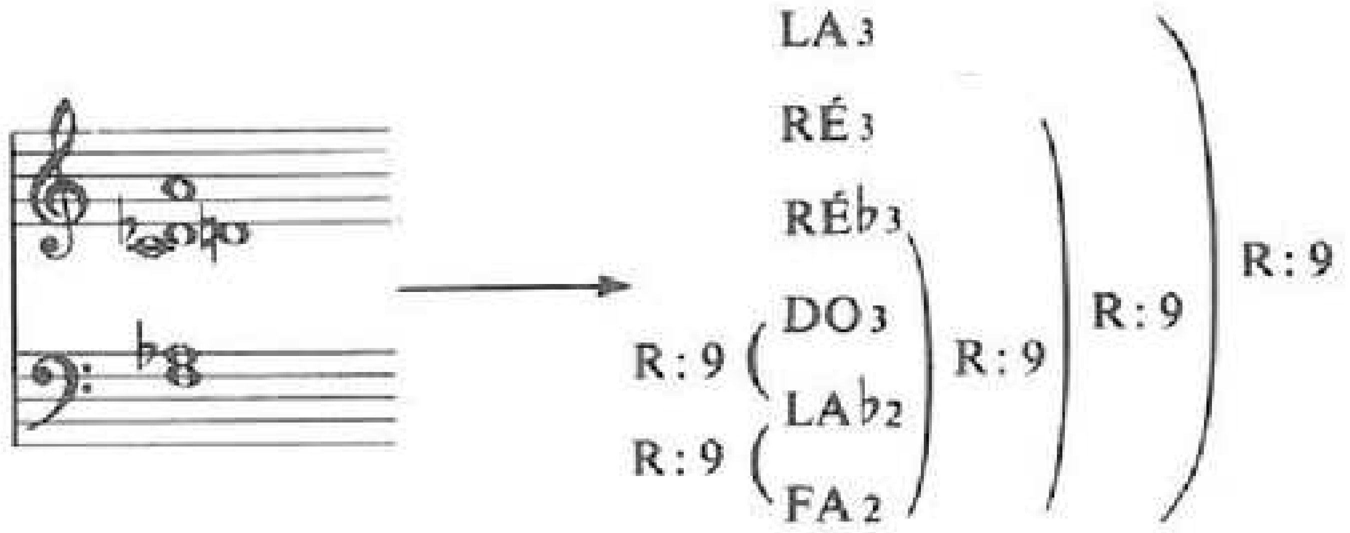
on entend un vibrato continu de 9 bat./sec. : dans le premier accord FA$_2$ DO$_3$ LA$_3$, cette rapidité est celle de la 10^e FA$_2$ LA$_3$ puisque la quinte étant juste ne bat pas. Dans les deux autres accords FA$_2$ DO♯$_3$ LA$_3$ et FA$_2$ RÉ$_3$ LA$_3$, la 10^e FA$_2$ LA$_3$ continue à battre à 9 à la seconde et ses battements sont renforcés par ceux de la quinte augmentée FA$_2$ DO♯$_3$ puis par ceux de la sixte majeure FA$_2$ RÉ$_3$ qui battent également à 9.

Dans l'accord parfait mineur, la justesse de la quinte fait que la tierce de l'accord, quelle que soit sa position, bat à la même rapidité avec les deux autres notes de l'accord : dans l'accord FA LA♭ DO, par exemple, l'intervalle formé entre le LA♭ et le FA bat toujours comme celui formé entre LA♭ et DO, quelle que soit la position du LA♭ et, par conséquent, que l'accord soit en position fondamentale ou renversée :



ce qui donne à l'accord mineur une couleur caractéristique.

Enfin, dans le TEQJ, la tierce mineure a pratiquement la même rapidité que les sixtes majeures et mineures ainsi que la 10^e majeure ayant la même note de basse, ce qui entraîne l'isochronie de tous les rapports suivants et donc de leurs combinaisons :



Voir également, p. 225.

Il en résulte que de nombreux accords sont animés d'un vibrato en rapport avec une rapidité dominante : en majeur, la rapidité dominante est celle de la tierce, de la 10^e ou de la 17^e majeure dont les battements se détachent avec netteté sur le fond uni d'une quinte juste, dépourvue de tout battement. En mineur, les battements de tierce sont moins puissants mais ils sont renforcés par les isochronies signalées ci-dessus et se détachent là encore sur le fond uni d'une quinte juste.

Tout ceci fait qu'un piano accordé en TEQJ chante beaucoup plus qu'un piano accordé en GBT où ces synchronismes n'existent pas et où les rapidités des intervalles qui se contrarient se détachent mal sur une quinte qui présente elle-même des battements. C'est ce qui explique que certains pianistes aient pu déclarer qu'un accord au TEQJ renforçait les harmoniques.

En fait les harmoniques ne sont pas vraiment renforcés mais ils ressortent davantage par le truchement de familles de battements isochrones se détachant sur un fond de quintes justes, ce qui donne aux sons du medium une sorte de vibrato et aux sons aigus, vie et éclat.

INITIATION À L'ACCORD

Avant de procéder à l'accord complet d'un instrument à clavier, un accordeur commence toujours par « faire la partition », c'est-à-dire par partager l'octave ou la quinte (dans le cas du TEQJ) en demi-tons égaux. De la précision de cette opération dépend l'ensemble de l'accord puisque c'est à partir des notes de la partition qu'on accorde toutes les autres notes : il en résulte que lorsqu'une partition présente des fautes ou des imperfections, celles-ci se transmettent nécessairement à tout le reste de l'accord. Un bon accordeur commence donc toujours par s'assurer de la perfection de la partition avant d'aborder l'accord des registres graves et aigus de l'instrument.

C'est dire que la partition est l'une des opérations les plus délicates et les plus difficiles à réussir dans un accord et qu'elle ne supporte pas la médiocrité. C'est donc une erreur de commencer l'étude de l'accord par celle de la partition, erreur qui est à la source de nombreux découragements : l'élève entend mal les battements d'harmoniques des tierces, des sixtes, des quintes ou des quartes de la partition qui sont très peu intenses à côté des battements de 10ᵉ ou de 17ᵉ; ils sont si peu intenses et si discrets que la plupart des pianistes ne les ont jamais remarqués! Comment dès lors, l'élève accordeur réussirait-il à en doser les progressions, opération qui reste difficile, même quand on entend bien la rapidité de chaque intervalle?

Aussi est-il conseillé de commencer par former l'oreille des élèves à l'écoute des battements d'harmoniques et de n'aborder ensuite l'accord proprement dit qu'à partir d'une partition déjà faite : l'accord des notes graves et aiguës d'un instrument est en effet beaucoup plus facile à réussir que la partition elle-même! Ce n'est que lorsqu'il sera déjà un peu familiarisé avec l'accord de ces notes qu'un élève pourra aborder avec fruit l'étude de la partition : il partagera alors son temps entre cette étude et celle du reste de l'accord.

Matériel nécessaire

1 clé d'accord à plusieurs canons.
1 coin multiple en caoutchouc.
Plusieurs coins simples[1].

---

[1] Nous donnons ici le matériel strictement nécessaire à un accord proprement dit; un accordeur professionnel ne saurait s'en contenter : un piano peut avoir également besoin,

La clé d'accord

Il existe deux sortes de clé d'accord : les clés d'accord pour professionnels et celles pour amateurs : ces dernières ne sont généralement pas utilisées pour accorder complètement un piano; les pianistes s'en servent pour corriger, par exemple, un unisson défectueux lorsque, dans son ensemble, le piano n'a pas encore besoin d'un accord : c'est le cas, en particulier, lorsqu'on a dû remplacer des cordes cassées par des cordes neuves : celles-ci, n'étant pas encore stabilisées, baissent rapidement; il faut alors les remonter pour les mettre à l'unisson ou en accord avec les autres cordes.

Les clés d'amateur sont plus légères mais plus fragiles que les clés de professionnels; le canon qui constitue l'extrémité de la clé et vient s'adapter aux chevilles, est unique et non interchangeable; de ce fait, il ne saurait résister à un usage professionnel intensif car il s'userait vite en s'ovalisant.

Les clés de professionnels sont plus lourdes et plus volumineuses : elles tiennent mieux dans la main. Elles possèdent généralement trois canons interchangeables s'adaptant à toutes les dimensions de chevilles. Certaines possèdent également un manche extensible, ce qui est très utile pour accorder les notes les plus aiguës d'un piano à queue : dans ce registre, le bord supérieur de la ceinture oblige en effet parfois l'accordeur à placer une clé ordinaire dans une position peu commode pour accorder; avec une clé extensible, il suffit alors de raccourcir un peu le manche pour pouvoir utiliser la clé dans une position normale; en revanche, il arrive parfois qu'après un certain usage, le manche des clés extensibles prenne du jeu, ce qui ne risque pas d'arriver avec une clé à manche rigide.

La différence de prix entre les clés d'amateurs et les clés de professionnels est considérable : environ de 50 à 70 francs pour les premières et autour de 500 francs pour les secondes. Cependant il ne peut être question pour un élève accordeur de lésiner sur le prix; il importe qu'il commence l'étude de l'accord avec une clé de professionnel. Seule une telle clé permet d'avoir bien en main la cheville sur n'importe quel instrument, ce qui est très important, car la précision du geste et l'acquisition de bonnes habitudes en dépendent.

Qu'en est-il maintenant du pianiste ou du musicien qui veut de temps en temps retoucher un unisson ou s'entraîner à l'écoute des battements d'harmoniques en manipulant une clé? (voir p. 82).

S'il possède une clé d'amateur dont l'unique canon s'adapte bien aux chevilles de son piano, il peut, à la rigueur, la conserver; mais c'est un cas assez rare; dans la négative, il vaut mieux ne pas l'utiliser et acquérir une clé de professionnel; avec une clé d'amateur mal adaptée aux chevilles, on n'a en effet aucune précision et on tâtonne très long-

---

outre l'accord, d'un réglage ou d'une réparation, toutes choses qui nécessitent des outils nombreux et spécifiques.

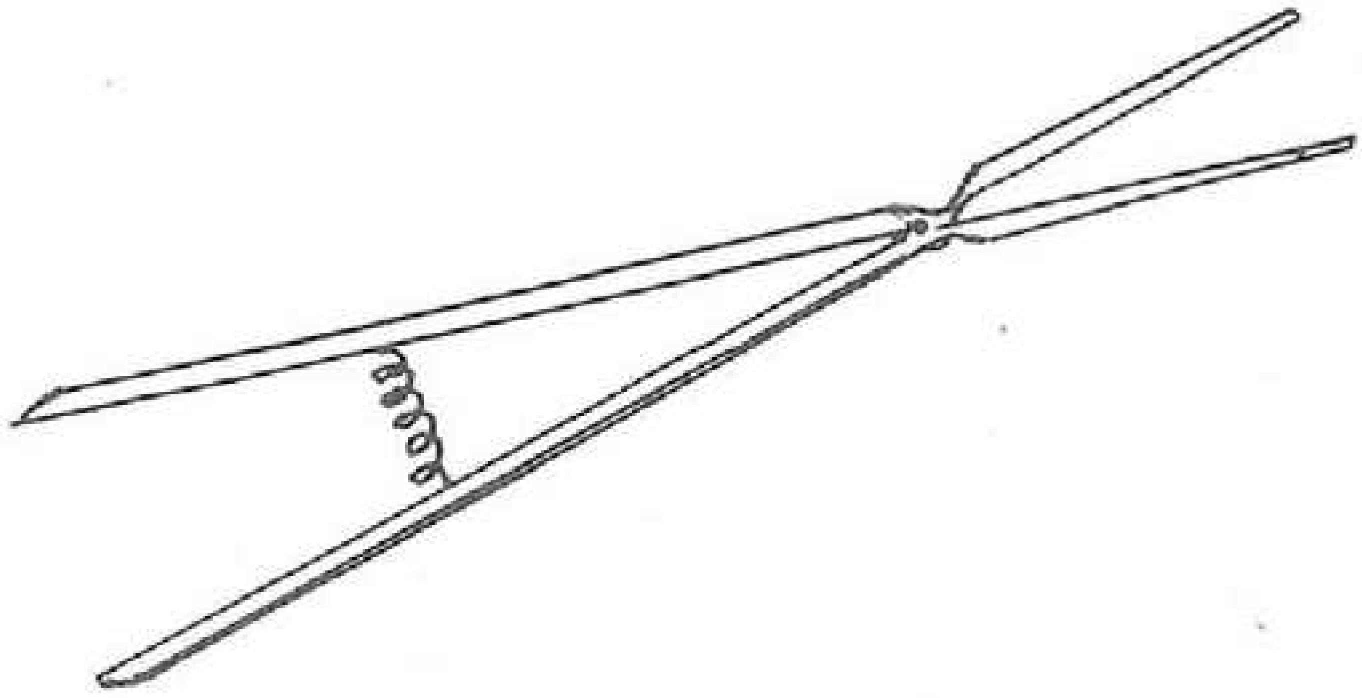
temps avant d'arriver à faire un bon unisson, par exemple : ce faisant, on diminue la résistance de la cheville dans le sommier et on affaiblit alors la tenue d'accord; mais, ce qui est pire, on risque d'ovaliser la partie supérieure de la cheville qui peut devenir inutilisable car, même avec une bonne clé d'accord, on n'aurait plus aucune prise sur elle!

Avec une clé de professionnel, au contraire, tout risque est exclu : d'une part, la cheville est fermement maintenue dans le canon de la clé, d'autre part, comme la clé est plus volumineuse, on l'a bien en main et tout mouvement du bras ou de la main se transmet alors avec précision jusqu'à la cheville.

Le coin simple

Chaque note d'un piano est en général émise par trois cordes à l'unisson, excepté dans le grave où il n'y a en général que deux cordes filées et dans l'extrême grave où il n'y en a qu'une. Or on accorde les cordes une par une. Lorsqu'on accorde une note quelconque, DO$_4$, par exemple, on ne doit d'abord entendre en appuyant sur la touche de DO$_4$ que la première corde de cette note : pour assourdir les deux autres, on utilise un coin simple qu'on introduit entre la 2^e et la 3^e corde du DO$_4$; sur les pianos à queue, c'est une sorte de triangle à angle aigu en caoutchouc; sur les pianos droits, on se sert depuis quelques années d'un coin dit « automatique », sorte de pince en plastique dont les deux branches s'écartent sous l'effet d'un ressort; on glisse ce coin entre les deux cordes qu'on veut assourdir, où il tient très bien sous l'effet du ressort :

Coin de piano à queue



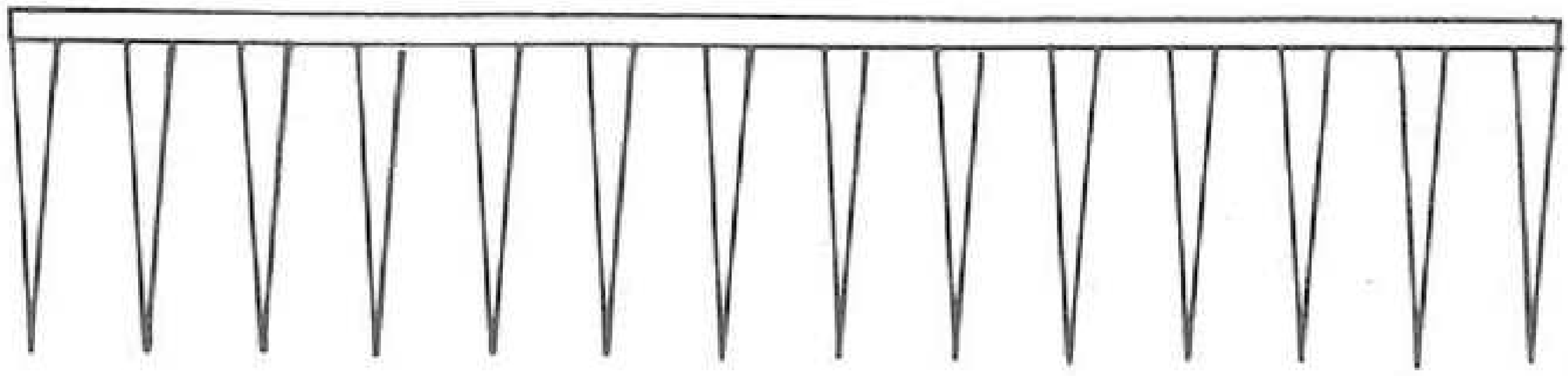
Coin de piano droit

Une fois la première corde de DO$_4$ accordée, on place le coin simple entre la 3^e corde de DO$_4$ et la première de la note suivante DO$\sharp_4$: on libère ainsi la 2^e corde de DO$_4$ qu'on peut alors mettre à l'unisson de la première; on place ensuite le coin simple entre la 2^e et la 3^e corde de DO$\sharp_4$, ce qui libère la 3^e corde de DO$_4$ qu'on met à l'unisson des deux premières; puis, sans bouger le coin qui est déjà en bonne place, on passe à l'accordage de la première corde de DO♯$_4$ qui est déjà isolée et ainsi de suite...

Pour effectuer certains contrôles, il peut être utile de posséder plusieurs coins simples. Nous en verrons plus tard l'utilisation.

Coins multiples à 13 branches

Lorsqu'un accordeur fait la partition de l'octave, il n'a pas intérêt à faire l'unisson des 13 notes de l'octave de la partition tant qu'il n'est pas tout à fait sûr de la hauteur définitive de ces 13 notes; sinon, au cas où un contrôle révélerait des erreurs, il serait contraint de refaire à chaque fois les unissons des notes corrigées. Pour faire la partition l'accordeur a donc avantage à isoler la première corde de chacune des 13 notes de la partition : d'où l'utilisation très pratique de coins en caoutchouc à 13 branches affectant la forme d'un peigne : chaque branche de ce peigne se coince entre la 2^e et la 3^e corde de chacune des notes de la partition en ne laissant vibrer que la première :



Coin multiple

Plutôt réservés à l'origine à l'accord des pianos à queue, ces coins multiples s'adaptent en fait facilement sur la plupart des pianos droits. Certains accordeurs américains en utilisent deux, voire trois, qu'ils adaptent non seulement à l'octave de la partition mais aux octaves suivantes, afin de ne faire les unissons que lorsqu'ils sont certains de la justesse de toutes les premières cordes de chaque note. D'autres coins multiples en forme de ruban sont utilisés en Amérique; ils permettent d'isoler une seule corde par note du medium à l'aigu du piano : ces procédés ne nous paraissent pleinement justifiés que lorsqu'un piano est bien stabilisé, c'est-à-dire déjà au diapason et peu désaccordé; c'est le cas pour les pianos régulièrement entretenus comme les grands pianos de concert.

L'utilisation de plusieurs coins multiples à 13 branches est également très utile pour le musicien ou l'élève qui veulent s'initier à l'écoute des battements d'harmoniques sans vraiment accorder un piano.

Il est très simple à expliquer mais long à acquérir comme tous les gestes réflexes. En principe, pour changer la hauteur d'un son émis par une corde, il suffit de tourner la cheville correspondante à l'aide d'une clé d'accord, dans le sens des aiguilles d'une montre si l'on veut que le son monte et à l'inverse dans le cas contraire.

Mais, sur un piano en bon état, la cheville est profondément et solidement plantée dans le sommier et, lorsqu'on commence à tourner la clé d'accord, la cheville se tord d'abord légèrement sans vraiment tourner dans le sommier : le son commence alors à monter. Si on relâche la clé d'accord, le son redescend immédiatement car la cheville se détord et revient à sa place initiale. Pour obtenir un résultat stable, il est donc nécessaire que la cheville tourne dans le sommier : le son monte alors et si, au moment où on relâche la clé, il tend évidemment à redescendre en raison de la torsion de la cheville, il ne revient pas cette fois à son niveau initial. En principe, il faut donc toujours accorder une note un peu trop haut afin que, lorsqu'on relâche la clé, le son redescende de lui-même à la hauteur désirée : c'est ce qu'on appelle « caler la cheville » ou « asseoir la cheville » : la cheville est calée lorsqu'elle se trouve parfaitement en équilibre entre la tension de la corde d'une part, et la réaction du sommier d'autre part, après que la torsion effectuée par la clé d'accord se soit relâchée; ce qu'un accordeur expérimenté sent très bien : il a alors acquis ce qu'on appelle « le coup de clé », ce qui exige du temps et de la patience. Les phénomènes décrits ci-dessus se produisent également lorsqu'on désire baisser un son au lieu de le monter, mais ils ont alors lieu dans un sens opposé.

S'il convient de « caler la cheville » dans une position d'équilibre, il faut également « caler la corde » : celle-ci est enroulée à une de ses extrémités autour de la cheville; à l'autre extrémité, elle est accrochée à la pointe d'accroche du cordier; mais la corde ne vibre pas sur toute sa longueur : à partir de la cheville, elle passe d'abord sur le sillet (ou l'agrafe), puis un peu plus loin sur le chevalet avant de s'accrocher au cordier; seule la partie située entre le sillet et le chevalet vibre et fournit un son : c'est pourquoi on l'appelle le « diapason »; la partie située entre la cheville et le sillet est le sus-diapason. Pour que le diapason ne se désaccorde pas, il faut que les tensions du sus-diapason, du diapason et du sous-diapason s'équilibrent, ce qui suppose que la corde glisse parfaitement sur le sillet et sur le chevalet sur lesquels elle exerce une certaine pression. Si, par exemple, la corde ne glisse pas bien au passage du sillet, la tension s'accumule alors entre la cheville et le sillet sans que pour autant le son monte puisque la tension du diapason reste la même. Sur la plupart des pianos, ce phénomène est très limité et peu gênant; mais sur certains pianos, la corde trop coudée à l'endroit du sillet glisse très mal et il faut considérablement tourner la cheville pour que la corde glisse; à ce moment, elle glisse d'un seul coup, à la suite d'une surtension qui s'est accumulée dans le sus-diapason et le son monte brutalement et beaucoup plus haut qu'on ne le désirerait! Il faut alors revenir en arrière en tenant compte malgré tout, en fin de parcours, de l'effet supplémentaire de torsion de la cheville qui tend à retrouver sa position normale. Il y a ainsi certains pianos où il faut recommencer l'opération plusieurs fois avant que la hauteur désirée soit atteinte. Tantôt on se trouve au-dessus, tantôt en dessous! Les accordeurs appellent ces pianos, des pianos « caoutchouc »; ce n'est jamais une partie de plaisir d'accorder de tels instruments!

Pour être certain que la tension est bien répartie entre les 3 parties de la corde et qu'elle ne risque pas de se répartir lorsqu'on jouera sur le piano, ce qui désaccorderait le diapason, il est conseillé de jouer la note très fortement après l'avoir accordée : si elle ne se désaccorde pas c'est que la corde est calée.

Tous ces mouvements ne se font avec rapidité et sûreté qu'au bout de plusieurs années, quand l'accordeur ne fait plus qu'un avec sa clé et sent très bien par son intermédiaire ce qui se passe au niveau de la corde et de la cheville. La clé d'accord est alors investie d'une double fonction de direction et de contrôle : elle doit fournir à l'oreille la hauteur désirée tout en garantissant la stabilité. C'est pourquoi un musicien, pourvu d'une excellente oreille et possédant parfaitement la théorie de l'accord, apprend relativement très vite à accorder un piano; mais il mettra beaucoup plus de temps à réaliser un accord stable; ce qui est en effet le plus long à acquérir, c'est une précision du geste qui réponde parfaitement à ce que désire l'oreille et aboutisse rapidement à un son stable; il faut en moyenne cinq ans pour y parvenir en pratiquant l'accord quotidiennement.

Sur les pianos droits, on a intérêt à maintenir la clé verticale, le manche vers le haut afin que le poids de la clé joue un rôle négligeable dans la torsion de la cheville; l'angle que doit parcourir la clé pour ramener une corde à la hauteur voulue est en effet très réduit sur un piano stabilisé, c'est-à-dire au diapason et régulièrement entretenu. C'est dire, qu'en fin de course, la clé doit être encore presque verticale; sur les pianos à queue, on conseille parfois de maintenir le manche de la clé à l'extérieur, c'est-à-dire vers le clavier, afin de diminuer la torsion de la cheville; sur la plupart des instruments, ce n'est malheureusement pas possible car le manche vient alors frotter contre le bord extérieur. Il est donc préférable, en règle générale, de maintenir le manche vers l'intérieur de l'instrument, perpendiculairement au clavier pour que la rotation de la clé s'effectue facilement.

Initiation à l'écoute des battements d'harmoniques par manipulation de la clé d'accord
(pour le musicien ou l'accordeur débutant)

1) *Battements entre sons fondamentaux – unissons*

Repérer les trois cordes qui correspondent au DO_3 du milieu du clavier; pour cela jouer le DO_3. Étouffer la 3^e corde (celle qui se trouve à droite) en plaçant un coin simple entre cette corde et la première du $DO\sharp_3$, de façon à ce que les deux premières cordes de DO_3 restent libres.

Placer la clé d'accord sur la cheville correspondant à la première corde de DO_3.

Vérifier avec soin, et plusieurs fois s'il le faut, que la clé d'accord est bien placée sur la première corde de DO_3 et que cette corde n'est pas étouffée par le coin qui doit, comme nous l'avons demandé, étouffer seulement la 3^e corde. Ces recommandations ne sont nullement superflues pour un débutant : si par hasard on s'était trompé de cordes en étouffant, par exemple, la première et la deuxième corde, on n'entendrait en manipulant la clé aucune modification de la hauteur du DO_3 émis par la 3^e corde; on pourrait alors penser que le mouvement de la clé a été insuffisant et on voit très bien quelle pourrait être la suite d'une telle procédure! Il ne resterait plus qu'à changer la corde cassée ou à faire appel à l'accordeur pour réparer les dégâts.

Jouer ensuite la note DO_3 assez fort pour qu'elle résonne longuement et tourner la clé légèrement dans le sens contraire des aiguilles d'une montre : le son de la première corde doit alors un peu baisser : la première et la deuxième corde ne sont plus à l'unisson; rejouer fortement le DO_3 autant de fois que nécessaire et écouter attentivement : on entend le son des deux premières cordes de DO_3 dont la première est maintenant accordée un peu plus bas que la seconde; mais, au lieu d'entendre deux sons distincts, on entend un seul son dont l'intensité et la hauteur semblent fluctuer périodiquement (toutes les secondes, par exemple, ce son semble plus intense ou plus aigu); il est d'ailleurs difficile de savoir si c'est la hauteur ou l'intensité du son qui varie (voir illusions d'acoustique, p. 234).

Si on a tourné la clé très légèrement seulement, il se peut que le phénomène ne se produise que toutes les deux secondes : on dit alors qu'il y a 1 battement toutes les deux secondes ou 0,5 battement à la seconde ou encore que la rapidité est de 0,5 ($R = 0,5$); si on a tourné la clé de manière plus accusée, il peut au contraire se produire 2 battements à la seconde ($R = 2$).

Il s'agit ici non pas de battements d'harmoniques mais de battements entre deux sons fondamentaux : ces battements très marqués sont d'ailleurs plutôt désagréables; c'est l'impression bien connue que donne une note désaccordée dont l'unisson est devenu défectueux : l'unisson est « parti » comme disent les accordeurs.

Si on continue à tourner la clé dans le même sens, le son de la première corde de DO_3 continue à baisser et les battements s'accélèrent, devenant stridents; puis ils deviennent si rapides qu'on ne les distingue plus : on n'entend plus alors, comme auparavant, un son unique dont l'intensité et la hauteur semblent osciller entre deux pôles, mais deux sons différents, très proches quoique distincts, chacun d'entre eux semblant vouloir imposer une conception différente d'une même note. C'est la dissonance avec toute son agressivité.

Tournons maintenant la clé en sens contraire, c'est-à-dire dans le sens des aiguilles d'une montre; le son de la première corde de DO_3 remonte; les battements réapparaissent, les deux sons distincts se fondent à nouveau en un seul dont l'intensité et la hauteur fluctuent; puis les battements deviennent de plus en plus lents et finissent par disparaître : les deux cordes sont à nouveau à l'unisson; mais attention! si on lâche à ce moment la clé, les battements réapparaissent légèrement en raison de la réaction de la cheville à la torsion; il faut « caler » celle-ci, comme nous l'avons indiqué, en montant le son de la première corde légèrement plus haut que celui de la deuxième; en relâchant la clé la cheville se détord et les battements doivent disparaître.

Exercices :

– Pour le musicien ou le pianiste : s'entraîner à entendre les battements entre sons fondamentaux par manipulation de la clé d'accord sur quelques autres notes en désaccordant et en réaccordant uniquement la première corde de chaque note. Le faire à différentes hauteurs excepté dans le grave : les cordes filées sont en effet fragiles et leur remplacement souvent onéreux.

– Pour l'élève accordeur : faire le même excercice que ci-dessus mais sur la troisième corde de DO_3, en étouffant alors la première corde; faire ces exercices sur toutes les notes du piano, d'abord sur la première corde et ensuite sur la troisième, pour apprendre à faire des unissons; ne jamais toucher à la 2^e corde qui doit rester accordée.

Conseils aux débutants

Au risque de nous répéter, disons encore une fois :

– qu'il faut vérifier si la clé est bien placée sur la corde à accorder, si cette corde est bien sollicitée par la touche sur laquelle on frappe et si cette corde n'est pas étouffée par un coin. Lorsqu'on tourne la clé et que le son ou les battements ne paraissent pas modifiés, il y a lieu de revérifier la place de la clé et du coin; sinon gare à la casse!,

- qu'il vaut mieux, lors de ces exercices, commencer à désaccorder les cordes en les baissant plutôt qu'en les montant, pour éviter la casse de cordes : le désaccord doit d'ailleurs toujours resté très limité : 1/8ᵉ de ton environ,
- qu'il faut jouer avec force la note sur laquelle on s'exerce, et la répéter autant de fois qu'il est nécessaire, surtout dans l'aigu où les sons s'éteignent rapidement : *la clé doit être conduite par l'oreille et non le contraire!*,
- qu'il ne faut jamais toucher à la deuxième corde, corde de référence,
- qu'il faut penser à caler les cordes et les chevilles,
- que la clé se manie fermement mais doit bouger très peu : son déplacement angulaire est très limité.

2) *Battements de quintes*

L'exercice consiste à désaccorder légèrement les quintes justes du TEQJ afin de créer des battements puis à les réaccorder en faisant disparaître les battements.

Placer le coin multiple à 13 branches entre la 2ᵉ et la 3ᵉ corde de chacune des 13 notes de l'octave FA_2 FA_3 afin de ne laisser libre que la première corde. Jouer ensuite DO_3 en même temps que FA_2, puis baisser le DO_3 légèrement; écouter alors les battements qu'émet la quinte ainsi raccourcie : comme la quinte FA_2 DO_3 est alors plus petite qu'une quinte juste, on dit qu'elle bat par défaut : en baissant en effet le DO_3, on a en même temps baissé son second harmonique DO_4 qui se trouve ainsi plus bas que le DO_4, 3ᵉ harmonique de FA_2 avec lequel il était confondu lorsque la quinte était juste. Les deux DO_4 battent alors et la rapidité de leurs battements est égale à la différence de leurs fréquences. Il s'agit là d'un battement d'harmoniques indésirable, car la quinte est parfaitement juste musicalement lorsqu'elle est également juste physiquement, c'est-à-dire dépourvue de battements.

Redonner ensuite sa justesse à la quinte en remontant le DO_3 et en faisant ainsi disparaître les battements; il n'est pas alors impossible qu'on commence par remonter le DO_3 un peu trop haut : si on constate, par exemple, qu'en continuant à monter le DO_3, les battements semblent s'accélérer au lieu de ralentir, c'est qu'on est monté trop haut et que la quinte trop grande bat maintenant par excès; redescendre alors le DO_3 jusqu'à l'annulation de tout battement. On vient de faire ce que fait tout instrumentiste à cordes qui accorde son instrument : pour obtenir une quinte juste, il tourne la cheville alternativement dans les deux sens et obtient une quinte tantôt trop petite, tantôt trop grande; il ne s'arrête que lorsque tout battement est éliminé et que la cheville est parfaitement centrée et calée : la plupart des instrumentistes à cordes ne savent d'ailleurs pas que l'impression de justesse de la quinte correspond précisément à l'élimination des battements. Ils font cela tout à fait instinctivement.

Lorsque la première corde de DO_3 est réaccordée, enlever le coin multiple et vérifier l'unisson du DO_3; puis replacer le coin multiple sur les 13 notes de l'octave FA_2 FA_3 et fausser cette fois la quinte FA_2 DO_3 par excès en baissant le FA_2 : écouter les battements et réaccorder le FA_2, toujours en calant corde et cheville.

– pour le pianiste ou le musicien : désaccorder et réaccorder ainsi quelques quintes à différents niveaux (sauf dans le grave) en plaçant deux coins simples entre la deuxième et la troisième note des deux notes en rapport de quintes et en ne manipulant que les premières cordes de chaque note,

– pour l'élève accordeur : après avoir expérimenté sur toutes les quintes de l'octave FA_2 FA_3, poursuivre vers l'aigu puis vers le grave en ne désaccordant que la première corde de chacune des deux notes en rapport de quintes et en étouffant les deux autres, soit au moyen de 2 coins simples, soit en déplaçant le coin multiple; une fois les quintes rétablies dans leur justesse et le coin enlevé, contrôler les unissons.

3) *Évaluation de la rapidité des battements d'harmoniques*

Dans les exercices d'accord et d'audition qui vont suivre, il ne s'agira plus de supprimer des battements pour rendre certains intervalles justes comme nous venons de le faire pour les quintes et les unissons, mais au contraire, de former des intervalles qui battent à une fréquence déterminée qu'on appelle la rapidité de l'intervalle, ce qui est plus difficile.

En effet, pour la quinte et l'unisson, la justesse coïncide avec la suppression des battements d'harmoniques : en d'autres termes, on peut dire que pour la quinte et l'unisson, la justesse musicale correspond à la justesse naturelle ou physique caractérisée par l'absence totale de battement.

Nous allons maintenant aborder des intervalles qui, au contraire, ne sonnent bien que lorsqu'ils présentent des battements d'harmoniques d'une certaine rapidité, que ce soit à l'orchestre ou sur les instruments à clavier; ce sont principalement les tierces et leurs renversements, les sixtes, ainsi que leurs redoublements, les 10^e et les 17^e. Ce sont également, à un moindre titre, les quartes et les octaves; c'est pourquoi nous allons voir comment on peut évaluer avec une précision suffisante ces rapidités.

On sait que la rapidité d'un intervalle correspond au nombre de battements que cet intervalle produit en une seconde; il faut donc avoir une idée suffisamment précise de la seconde. Pour cela, il est utile d'utiliser sa montre ou mieux, pour commencer du moins, un métronome. Régler le métronome sur 60 en mettant le curseur sur ce chiffre. Le métronome bat alors 60 fois à la minute, c'est-à-dire une fois par seconde : on peut ainsi se tester et savoir si on possède une estimation correcte de la seconde.

Essayer ensuite de battre avec l'index 2 fois par seconde, puis 3 fois, etc., jusqu'à 8 fois par seconde; le faire alternativement avec puis sans l'aide du métronome toujours réglé sur 60; la précision à laquelle on parviendra ainsi sera largement suffisante. Après avoir utilisé le métronome pour se contrôler, apprendre également à utiliser sa montre : c'est moins précis et moins commode mais on dispose toujours d'une montre alors que, dans la plupart des cas, on ne peut se servir d'un métronome que chez soi.

Pour terminer, voici un exercice un peu plus difficile qui consiste à réaliser une rapidité de 1,5 battements à la seconde (R = 1,5), c'est-à-dire 3 battements toutes les 2 secondes : c'est en effet dans le TEQJ une rapidité voisine de celle de la quarte RÉ LA que nous aurons à contrôler. Cette rapidité sera facile à réaliser par les pianistes habitués à faire des 3 pour 2 : pour cela, commencer par battre la seconde avec l'index de la main gauche; puis faire 3 battements avec l'index de la main droite pendant que celui de la main gauche n'en fait que 2. Les deux index doivent retomber exactement ensemble tous les 2 battements à la main gauche et tous les 3 à la main droite qui bat alors à la rapidité de 1,5 battements à la seconde (R = 1,5).

Si l'on n'y parvient pas de cette manière, battre avec l'index de la main gauche toutes les 2 secondes et battre deux fois plus vite avec l'index de la main droite qui bat ainsi les secondes; puis tandis que la main gauche continue à battre à raison d'un battement toutes les 2 secondes, en faire pendant ce temps 3 à la main droite au lieu de 2. La main droite bat alors à 3 battements toutes les 2 secondes, c'est-à-dire à 1,5 battements à la seconde.

Pour bien s'habituer à cette rapidité et bien l'apprécier, continuer à faire un battement toutes les 2 secondes à la main gauche (R = 0,5) et en battre pendant ce temps tantôt 2 (R = 1) tantôt 3 (R = 1,5), à la main droite.

4) *Battements par excès et par défaut*

Un intervalle est dit « naturel » ou physiquement juste lorsqu'il ne présente aucun battement (voir « Acoustique des hauteurs », p. 178 et 183). Comme nous avons déjà eu l'occasion de le signaler, la plupart des intervalles utilisés en musique, à l'exception de la quinte, de la quarte et de l'octave, présentent des battements rapides et ne sont donc pas naturels. On dit qu'un intervalle bat par excès lorsqu'il est plus grand que l'intervalle naturel correspondant : c'est ce que nous avons observé lorsque, pour rétablir la justesse d'une quinte que nous avions au préalable raccourcie, nous avions monté la note aiguë de la quinte un peu trop haut, pour caler la cheville; la quinte commençait alors à battre légèrement par excès. On dit, au contraire qu'un intervalle bat par défaut, lorsqu'il est plus petit que l'intervalle naturel correspondant : c'était le cas des quintes lorsque nous les faussions en les raccourcissant. Lorsqu'un intervalle bat par défaut, on affecte généralement devant le nombre exprimant sa rapidité le signe moins : –. Pour une quinte de la GBT, par exemple, comme $RÉ_3$ LA_3 qui bat à 1 battement à la seconde, on indique :

$$\text{R RÉ}_3 \ \text{LA}_3 = -1$$

Dans la GBT, le TEQJ et la musique d'orchestre occidentale en général, la tierce majeure et ses redoublements ainsi que la sixte majeure battent par excès, alors que la tierce et la sixte mineure battent par défaut. La quinte de la GBT bat par défaut alors que l'octave du TEQJ bat par excès.

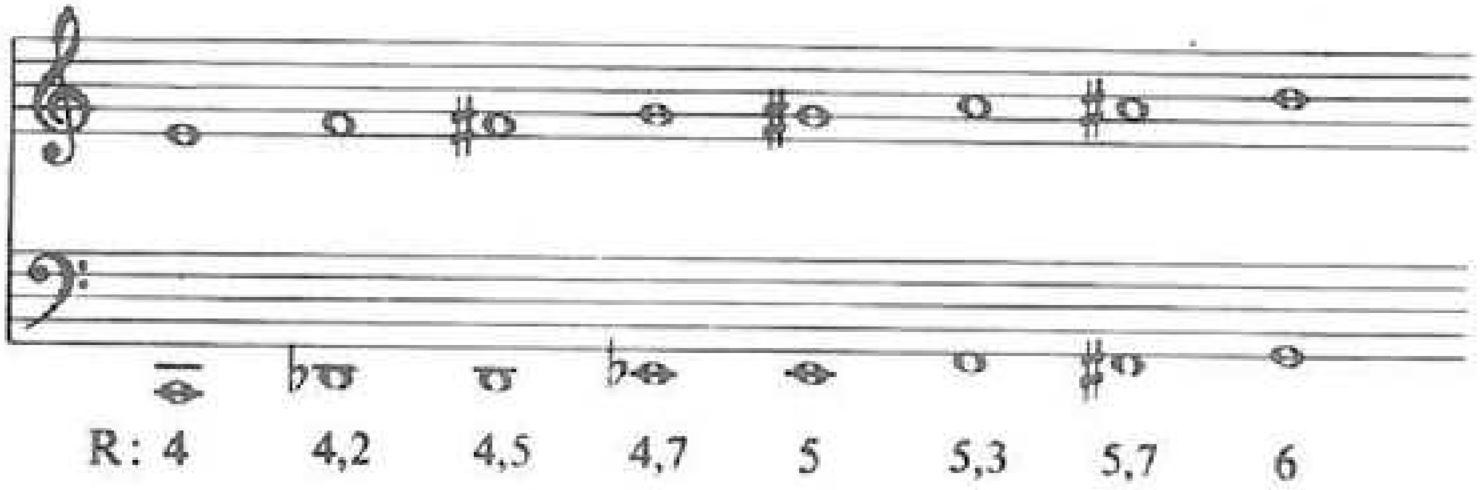
Lorsqu'on accorde un piano ou tout autre instrument à clavier, il faut donc non seulement régler la fréquence des battements d'harmoniques mais vérifier que les intervalles ne battent pas « à l'envers » : il faut donc veiller à ce qu'un intervalle qui doit battre par excès ne batte pas par défaut et réciproquement. En principe, pour les tierces, les sixtes et leurs redoublements, un bon accordeur ou un musicien ne risquent guère de se tromper car, lorsqu'ils paraissent justes à l'oreille, ces intervalles sont relativement très éloignés de la justesse naturelle et battent donc rapidement : il en résulte qu'une tierce ou une sixte naturelle paraissant déjà fausse ou pour le moins insolite, une tierce ou une sixte qui bat « à l'envers » paraît nettement faussée. Mais on peut se tromper sur un intervalle qui bat lentement : c'est ainsi que les élèves accordeurs font assez fréquemment battre les quartes « à l'envers ». Pourtant il y a un moyen infaillible de savoir si un intervalle bat par excès ou par défaut :

– si, lorsqu'on remonte légèrement la note aiguë d'un intervalle, les battements s'accélèrent, c'est que l'intervalle bat par excès : en agrandissant l'intervalle, on l'écarte en effet encore davantage de sa justesse naturelle et les battements s'accélèrent; si, au contraire les battements ralentissent, c'est que l'intervalle bat par défaut : en agrandissant l'intervalle, on le rapproche de sa justesse naturelle, ce qui a pour conséquence de ralentir les battements,
– si lorsqu'on remonte la note grave de l'intervalle, les battements ralentissent, c'est que l'intervalle bat par excès; si les battements s'accélèrent, c'est qu'il bat par défaut.

5) *Accord des 17^e^ majeures*

Les 17^e majeures battent par excès dans le TEQJ. Leur accord ne présente aucune difficulté dans la mesure où les battements qu'elles émettent sont faciles à entendre. Nous allons donc apprendre ici à les accorder en réglant la rapidité de leurs battements.

Mettre pour commencer le coin multiple à 13 branches de DO_3 à DO_4 en introduisant chacune de ses branches entre la 2^e et la 3^e corde de chaque note et en ne laissant vibrer que la première (la plus à gauche). Relire le paragraphe consacré à l'écoute des 17e majeures, p. 59 et réécouter attentivement sur un piano accordé au TEQJ, les 17e suivantes :



1er exercice (pour le musicien et l'accordeur débutant)

Après avoir placé le coin multiple comme indiqué ci-dessus, sur un piano accordé au TEQJ, isoler la 1re corde du DO_1 en plaçant un coin simple entre la 2e corde du DO_1 et la 1re du $DO\sharp_1$. En jouant la note DO_1, on ne doit donc entendre vibrer que la première corde de cette note; jouer alors la 17e DO_1 MI_3 qui bat à 4; baisser ensuite légèrement la première corde de DO_1 et réécouter la 17e DO_1 MI_3 dont les battements sont devenus trop rapides. Puis remonter cette corde jusqu'à ce que la 17e retrouve sa rapidité normale, soit 4 battements à la seconde (R = 4). Retirer le coin simple et contrôler pour terminer l'unisson des deux cordes de DO_1. Rectifier s'il y a lieu la rapidité de la 1re corde pour parfaire l'unisson (ou, ce qui revient au même, remettre la 1re corde exactement à l'unisson de la seconde qui n'a pas été manipulée).

Remarque (facultative)

Il arrive assez fréquemment que, lorsqu'on accorde les deux cordes filées d'une même note séparément de façon que chaque corde forme avec la note à la 17e supérieure des intervalles présentant exactement la même rapidité, l'unisson entre les deux cordes filées ne soit pas entièrement satisfaisant. Il n'y a guère que sur les pianos de très grande marque qu'on ne rencontre presque jamais cette défectuosité. Celle-ci est due à ce que les deux cordes en question n'ont pas exactement la même inharmonicité (voir p. 204) : ainsi lorsque les deux sons fondamentaux des deux cordes, deux SOL_1, par exemple, sont exactement à la même hauteur, et présentent donc la même fréquence, soit 100 hz, les harmoniques sont légèrement décalés. La corde « inharmonique » présente alors des harmoniques (ou, plus exactement des partiels) légèrement plus hauts que la corde « harmonique » :

Dans l'exemple ci-dessus, lorsque les sons fondamentaux présentent tous deux 100 hz, le 5e harmonique de la corde « inharmonique » correspond à une fréquence de 501 hz au lieu de 500. La 17e formée par le SOL_1 émis par cette corde et le SI_3 émettra alors 1 battement de moins que celle formée par le SOL_1 de la corde « harmonique » et ce même SI_3, puisque le 5e harmonique de la corde défectueuse se trouvera plus haut et donc plus près du SI_3 réel : elle présentera, par exemple, 5 battements au lieu de 6.

Pour que les 17e formées avec chacune des deux cordes présentent la même rapidité, soit 6 battements à la seconde, il faudrait que le 5e harmonique de la corde

	Corde harmonique	Corde inharmonique
5ème harmonique	500 hz	501 hz
4ème "	400 hz	400,5 hz
3ème "	300 hz	300,2 hz
2ème "	200 hz	200,05 hz
Son fondamental	100 hz	100 hz

(L'inharmonicité a été calculée d'après la formule de Young, à partir d'une inharmonicité de base de 0.15 cents.)

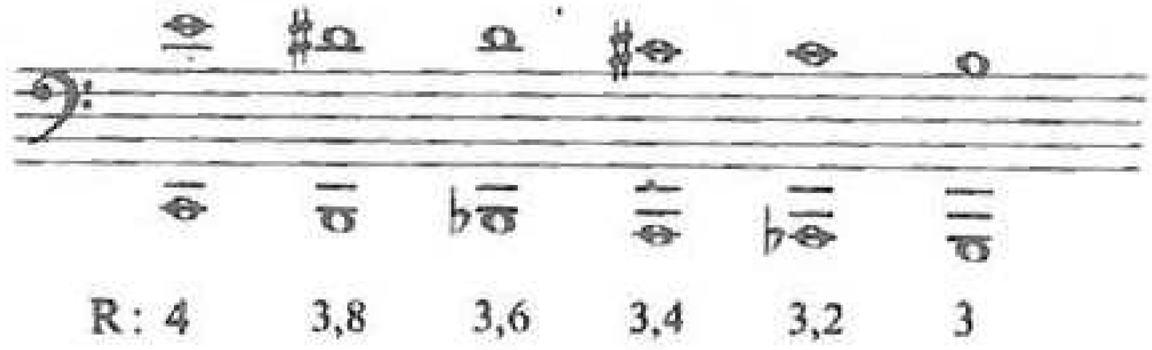
défectueuse présente lui-même une fréquence de 500 hz : ce serait le cas si on baissait le son fondamental de façon à ce qu'il n'ait plus que 99,8 hz au lieu de 100 hz[1]. Mais, dans ce cas, il ne serait plus à l'unisson du son fondamental de l'autre corde! Ce sera quand même, à notre avis, la meilleure solution. Il ne faudrait pas croire, en effet, que les cordes paraîtront à l'unisson, si les deux sons fondamentaux présentent la même fréquence, car tous les harmoniques sont alors décalés, comme cela apparaît clairement sur la figure ci-dessus. L'unisson sera donc, quoi qu'on y fasse, défectueux. Il vaut donc mieux rendre les 17^e formées avec chacune des deux cordes synchrones si l'inharmonicité de la corde défectueuse n'entraîne pas un agrandissement excessif de l'octave DO_1 DO_2. Or c'est bien le cas dans l'exemple ci-dessus où l'agrandissement de l'octave reste tout à fait négligeable : 200,05 − 200 = 0,05 battement à la seconde.

Faire ensuite les mêmes opérations sur les 17^e majeures MI_1 $SOL\sharp_3$ et SOL_1 SI_3 qui ont respectivement pour rapidités 5 et 6 battements à la seconde; pour cela, baisser puis remonter la première corde de la note grave de chacune des deux 17^e. Opérer ensuite sur les 17^e présentant des rapidités intermédiaires : pour régler ces rapidités lorsqu'on retend la 1re corde, ne pas chercher à compter les battements, mais faire en sorte que les rapidités augmentent, à l'oreille, de façon très progressive. Pour régler la rapidité de $RÉ\flat_1$ FA_3 ($R = 4{,}2$) par exemple, écouter d'abord DO_1 MI_3 ($R = 4$), puis $RÉ_1$ $FA\sharp_3$ ($R = 4{,}5$) et faire en sorte qu'à l'oreille, la rapidité de $RÉ\flat_1$ FA_3 soit intermédiaire.

Le musicien ou le pianiste peuvent se contenter de régler ainsi les rapidités des huit 17^e majeures ci-dessus, mais l'élève accordeur doit s'entraîner sur toutes les 17^e graves en descendant de DO_1 MI_3 ($R = 4$) à SOL_0 SI_2 ($R = 3$) :

---

[1] Ainsi que le montre l'application des formules de Young sur l'inharmonicité.



Ne pas tenter pour l'instant de régler les rapidités des 17^{e} plus aiguës que SOL$_1$ SI$_3$.

2^{e} *exercice* (pour l'accordeur débutant)

Il consiste à accorder les 17^{e} majeures étudiées ci-dessus sur un piano où seules les notes allant de FA$_2$ à SI$_3$ ont été préalablement accordées dans le TEQJ par le professeur. Ces 17^{e} n'ont donc pas été accordées préalablement comme dans l'exercice précédent : ou bien elles se sont désaccordées s'il s'agit d'un piano qui n'a pas été accordé depuis un certain temps, ou bien même, le professeur les a désaccordées de façon anarchique pour corser la difficulté : certaines 17^{e} battent alors par défaut, d'autres par excès, etc. C'est à l'élève d'en reconstituer entièrement les rapidités.

Pour cela commencer par isoler la 1re corde de DO$_1$ en étouffant la seconde et écouter la 17^{e} DO$_1$ MI$_3$. Supposons qu'elle batte à 6 à la seconde. Baisser alors légèrement la 1re corde de DO$_1$:
- si les battements s'accélèrent, c'est que la 17^{e} battait par excès, remonter alors le DO$_1$ jusqu'à ce que la 17^{e} DO$_1$ MI$_3$ batte à 4,
- si les battements se ralentissent, c'est que le 17^{e} battait par défaut, continuer à descendre le DO$_1$ jusqu'à ce que R DO$_1$ MI$_3$ = 4.

Enlever ensuite le coin et mettre la seconde corde filée de DO$_1$ à l'unisson de la première.

Pratiquer de même pour la 17^{e} MI$_1$ SOL♯$_3$ en accordant le MI$_1$ sur le SOL♯$_3$ de façon que R = 5. Puis accorder les 17^{e} intermédiaires entre DO$_1$ MI$_3$ et MI$_1$ SOL♯$_3$ afin que les rapidités croissent progressivement de 4 à 5.

Passer ensuite à la 17^{e} SOL$_1$ SI$_3$ (R = 6) puis régler les 17^{e} intermédiaires entre MI$_1$ SOL♯$_3$ (R = 5) et SOL$_1$ SI$_3$ (R = 6).

Dans toutes ces opérations, se rappeler qu'il faut toujours commencer par isoler la première corde en étouffant la seconde, puis accorder la première corde en rejouant autant de fois que nécessaire la 17^{e}, caler alors la cheville, enlever le coin simple, mettre la seconde corde à l'unisson de la première et refrapper la note pour caler la seconde cheville : nous pensons que désormais cela va de soi et nous ne répéterons plus cette procédure qui doit devenir automatique.

Lorsqu'on a un peu l'habitude d'accorder au TEQJ, on n'a plus besoin de commencer par régler les rapidités des 17^{e} construites sur DO$_1$, MI$_1$ et SOL$_1$, rapidités qui sont particulièrement faciles à régler puisqu'elles s'expriment par un nombre entier de battements à la seconde; mais ayant bien toutes les rapidités « dans l'oreille », on accorde les 17^e de demi-ton en demi-ton en descendant dans l'ordre où elles se présentent. On contrôle simplement au passage qu'elles présentent bien sur SOL$_1$, MI$_1$ et DO$_1$ les rapidités respectives de 6, 5 et 4 battements à la seconde. On gagne ainsi beaucoup de temps.

6) *Accord des 10^e majeures*

Se rappeler qu'elles battent par excès. Placer le coin multiple à 13 branches de FA$_2$ à FA$_3$ et relire page 61 ce qui concerne les 10^e majeures. La méthode est la même que pour les 17^e majeures.

1er exercice (pour le musicien et l'accordeur débutant)

Sur un piano préalablement accordé en TEQJ et, en ne manipulant que la première corde de la note grave de chaque 10^e, dérégler puis rerégler la rapidité des 10^e placées sur MI♭$_1$ (R = 4), SOL$_1$ (R = 5) et SI♭$_1$ (R = 6); opérer ensuite sur les 10^e intermédiaires toujours sans compter les battements mais en comparant les rapidités. L'élève accordeur poursuivra l'exercice vers l'aigu jusqu'à RÉ♭$_2$ FA$_3$ (R = 7) et vers le grave jusqu'à SI♭$_0$ RÉ$_2$ (R = 3).

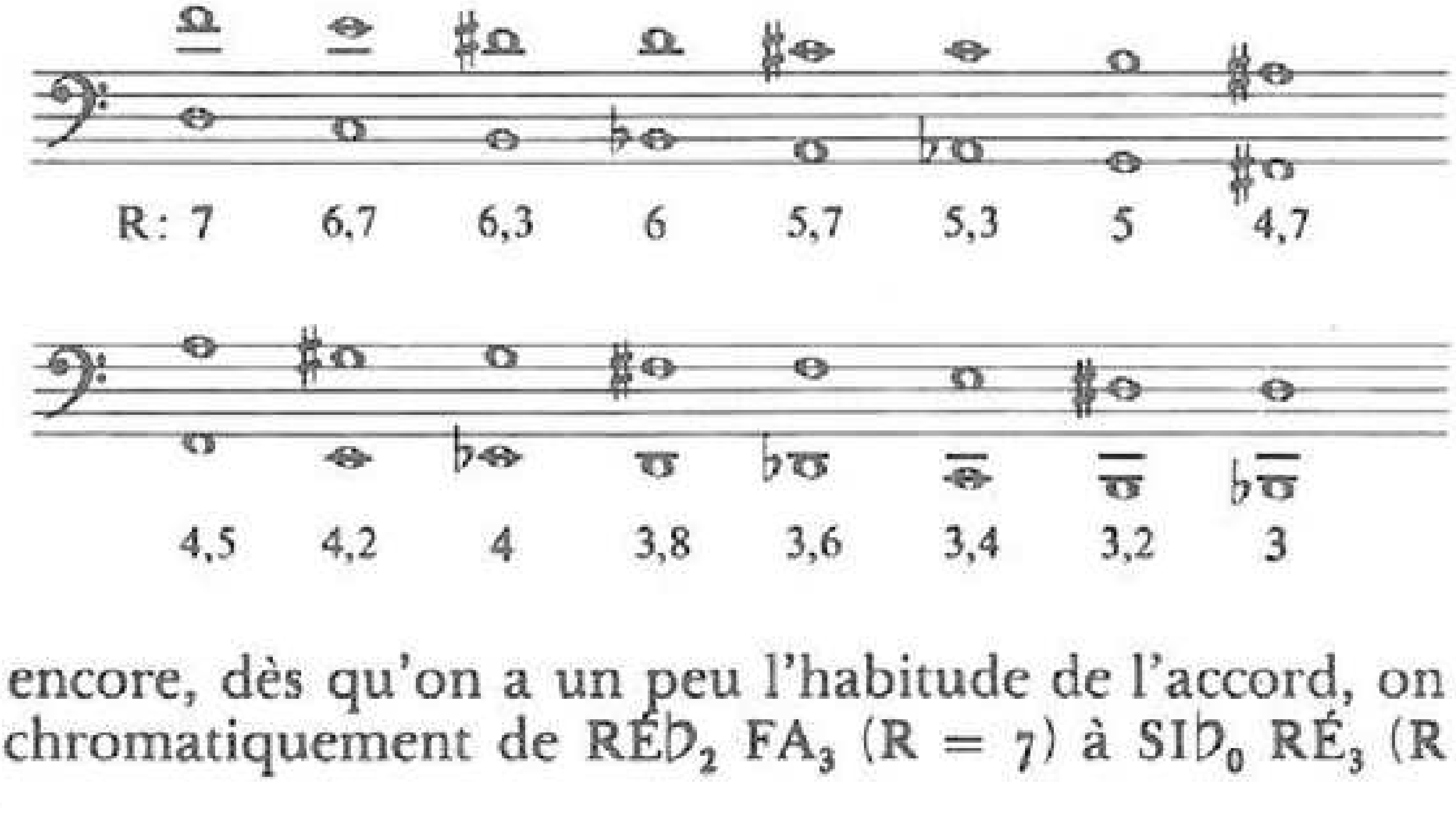
2^e exercice (pour l'accordeur débutant)

Pratiquer sur un piano où seules les notes de l'octave FA$_2$ FA$_3$ ont été accordées en TEQJ par le professeur.

Accorder les 10^e placées sur MI♭$_1$, SOL$_1$ et SI♭$_1$; puis accorder les 10^e intermédiaires.

Accorder la 10^e placée sur RÉ♭$_2$ (R = 7), puis, en descendant, accorder les 10^e intermédiaires entre RÉ♭$_2$ FA$_3$ (R = 7) et SI♭$_1$ RÉ$_3$ (R = 6).

Tableau des 10^e graves du TEQJ



Là encore, dès qu'on a un peu l'habitude de l'accord, on accorde les 10^e chromatiquement de RÉ♭$_2$ FA$_3$ (R = 7) à SI♭$_0$ RÉ$_3$ (R = 3) en descendant et en contrôlant au passage que les 10e placées sur SI$\flat_1$, SOL$_1$ et MI$\flat_1$ présentent bien les rapidités respectives de 6, 5 et 4 battements à la seconde.

7) *Accord des tierces majeures*

Comme tous les intervalles majeures et justes du TEQJ (exceptée la quinte qui ne bat pas), les tierces majeures battent par excès.

Après avoir relu ce qui concerne les tierces, page 65, disposer le coin multiple entre les 2e et 3e cordes de chacune des 13 notes de l'octave FA$_2$ FA$_3$ d'un piano accordé au TEQJ afin de ne laisser libre que leur première corde. La tierce FA$_2$ LA$_2$ bat à un peu plus de 7 battements à la seconde, : apprécier cette rapidité, puis baisser légèrement la 1re corde de LA$_2$ et constater que les battements de tierce ralentissent très vite et s'annulent pour un déplacement très limité de la clé d'accord et alors même que le LA$_2$ n'a pas baissé de façon très sensible sur le plan mélodique. Pourtant, la sonorité de la tierce harmonique s'est considérablement modifiée : de vibrante ou chantante qu'elle était, elle est devenue « plate », pour employer le langage d'un accordeur actuel ou « pure » (de tout battement) pour employer cette fois le langage d'un musicien du XVIIIe siècle, partisan de la justesse naturelle, à l'instar de J.-J. Rousseau!

Cette expérience est riche d'enseignements, elle montre :

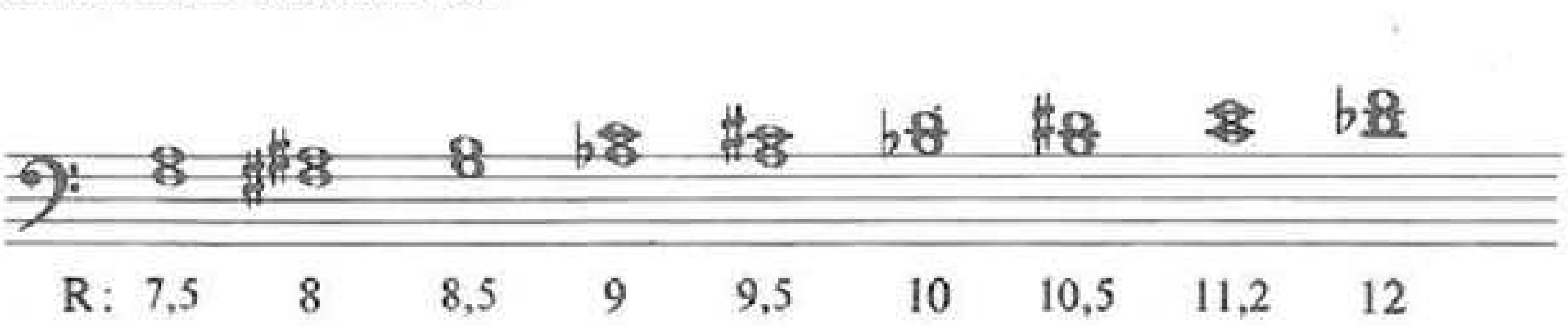
1) Que l'intervalle de tierce va nous permettre d'accorder un piano avec une extrême précision, car un déplacement minime de la hauteur d'une des notes formant la tierce amènera une modification importante de la rapidité de l'intervalle : la tierce est pour l'accordeur un véritable vernier ou palmer auditif.

2. Qu'il faut pour régler la rapidité d'une tierce, outre une bonne oreille, un coup de clé précis et beaucoup de doigté, sinon on risque de retrancher ou d'ajouter d'un seul coup beaucoup de battements!

3. Qu'un accord excellent où, en particulier, toutes les tierces présentent des rapidités bien progressives est plus vulnérable qu'un accord moyen, car si la température ou l'hygrométrie varient, les rapidités des tierces, dont dépend en grande partie la sonorité d'un piano, se modifieront : le piano présentera alors un accord moyen et restera assez longtemps « jouable » mais il n'aura plus le brillant et l'égalité que seul confère un excellent équilibre dans la progression des tierces majeures. C'est ce qui explique pourquoi les pianistes concertistes tiennent à ce qu'un piano soit accordé avant chaque concert et qu'ils demandent même que l'accord soit revu dans l'intervalle qui sépare la répétition générale du concert ou du récital, ce en quoi ils ont parfaitement raison.

Revenons maintenant à la tierce FA$_2$ LA$_2$ que nous avons raccourcie jusqu'à l'annulation totale des battements, obtenant ainsi une tierce dite naturelle ou zarlinienne, physiquement (mais non musicalement) juste. Continuons alors à baisser le LA$_2$, la tierce recommence à battre, mais cette fois par défaut; faisons la battre à – 7 environ et écoutons-la bien : elle bat à peu près à la même rapidité que la tierce correspondante du TEQJ mais elle est vraiment fausse! Ce qui n'est pas le cas lorsqu'elle bat à + 7. Dans ce dernier cas, ne paraît-elle même pas plus juste que lorsqu'elle est dépourvue de tout battement[1]? Il nous reste maintenant à réaccorder la tierce en remontant le LA$_2$: les battements s'espacent alors puis s'annulent, la tierce repasse par sa valeur naturelle, puis en continuant à monter le LA$_2$, les battements réapparaissent, la tierce bat à nouveau par excès : redonner à la tierce sa rapidité normale dans le TEQJ, soit un peu plus de 7 battements à la seconde : pour cela faire en sorte que sa rapidité soit intermédiaire entre celles des tierces MI$_2$ SOL♯$_2$ et FA♯$_2$ LA♯$_2$; remarquer qu'en baissant le LA$_2$, nous avons déséquilibré la tierce LA$_2$ DO♯$_3$ qui s'est mise à battre beaucoup trop vite par excès; en réaccordant le LA$_2$, il est donc très utile de jouer alternativement les tierces FA$_2$ LA$_2$ et LA$_2$ DO♯$_3$: au fur et à mesure que nous remontons le LA$_2$, la rapidité de FA$_2$ LA$_2$ s'accroît tandis que celle de LA$_2$ DO♯$_3$ diminue; il faudra d'ailleurs que nous nous arrêtions avant que les deux tierces présentent les mêmes rapidités car LA$_2$ DO♯$_3$ doit être sensiblement plus rapide que FA$_2$ LA$_2$ (voir tableau ci-dessous).

On passe ensuite à la tierce FA♯$_2$ LA♯$_2$ qu'on désaccorde légèrement en baissant le LA♯$_2$, mais cette fois sans aller jusqu'à la faire battre par défaut; nous l'avons fait seulement pour la tierce FA$_2$ LA$_2$ afin que nous puissions nous rendre compte de l'aspect tout à fait insolite d'une tierce qui bat « à l'envers » : on évitera ainsi à l'avenir des erreurs qui font perdre beaucoup de temps; mais il ne faut pas le faire systématiquement : en écartant trop les cordes de leur tension habituelle, on risquerait de les casser en les remontant, ou simplement de les déstabiliser. Réaccorder ensuite le LA♯$_2$ en donnant à FA♯$_2$ LA♯$_2$ une rapidité comprise entre celles des tierces FA$_2$ LA$_2$ et SOL$_2$ SI$_2$. Comparer également la rapidité de FA♯$_2$ LA♯$_2$ à celle de la tierce SI♭$_2$ RÉ$_3$ que nous avons accélérée en baissant le LA♯$_2$ (SI♭$_2$). Pratiquer cet exercice sur les 9 tierces de l'octave FA$_2$ FA$_3$ en commençant toujours par baisser la note aiguë de la tierce. Une fois cet exercice de manipulation et d'audition terminé, ramener les cordes manipulées à l'unisson des deux cordes préalablement étouffées.



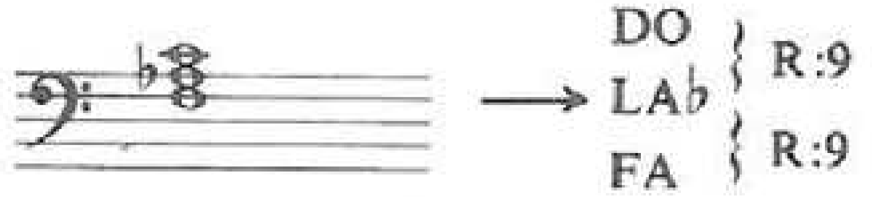
---

[1] Voir seconde partie de cet ouvrage, « Qu'est-ce que la justesse? »

8) *Accord des quintes justes et contrôle par tierces majeures et mineures, sixtes et 10^e^ majeures*

Accorder une quinte juste est, en principe, facile : une telle quinte ne présente en effet aucun battement quelle que soit la hauteur à laquelle elle se situe. Cependant il faut se souvenir que si une quinte ou une octave légèrement raccourcie sonne vite faux, il n'en va pas de même lorsque ces intervalles sont légèrement agrandis : une quinte un peu agrandie et battant donc très faiblement par excès peut fort bien passer pour juste; il convient donc de vérifier la justesse rigoureuse des quintes : or une telle vérification est extrêmement facile puisque la justesse de la quinte entraîne, ainsi que nous l'avons déjà dit, l'isochronie de certains intervalles sensibles aux moindres déformations. Si une quinte, comme FA$_2$ DO$_3$, par exemple, est juste, la note qui forme avec la note grave de la quinte une tierce mineure ascendante (ici LA$\flat_2$) partage cette quinte en 2 tierces, l'une majeure, l'autre mineure, isochrones :

$$\mathrm{R\ FA_2\ LA\flat_2 = R\ LA\flat_2\ DO_3}$$

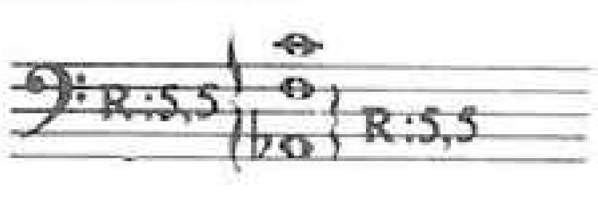


Si le LA$\flat_2$ a déjà été accordé dans le TEQJ, les deux tierces battront à 9 à la seconde. Mais, chose curieuse, cette isochronie persistera même si le LA$\flat_2$ n'a pas encore été accordé et se trouve plus haut ou plus bas que dans le TEQJ : s'il se trouve plus bas que dans le TEQJ, les deux tierces battront plus vite que dans le TEQJ, à 12 à la seconde, par exemple; s'il se trouve plus haut, elles battront moins vite que dans le TEQJ, à 4 à la seconde, par exemple, mais leurs rapidités resteront les mêmes en raison de la justesse de la quinte. Cette remarque n'est pas sans intérêt pour l'accordeur car elle montre qu'il peut vérifier la justesse d'une quinte à partir d'une note qui n'a pas encore été accordée (ici le LA$\flat_2$, par exemple).

Le contrôle de la justesse d'une quinte peut également se faire à partir de la note qui forme avec la note grave de la quinte, une sixte majeure descendante et avec la note aiguë, une 10^e^ majeure : ainsi pour vérifier la justesse de la quinte FA$_2$ DO$_3$, on peut également utiliser le LA$\flat_1$, la sixte et la 10^e^ majeures ainsi formées seront isochrones :

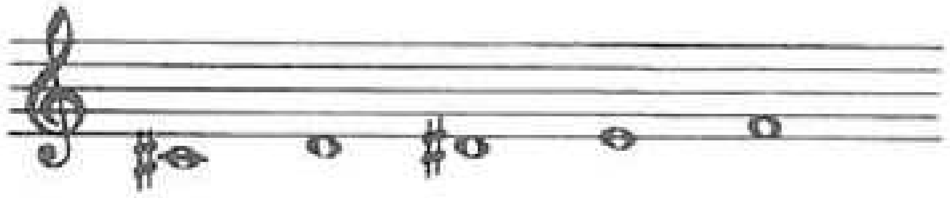
$$\mathrm{R\ LA\flat_1\ FA_2 = R\ LA\flat_1\ DO_3}$$

Si le LA♭ a déjà été accordé en TEQJ, les deux intervalles battront à 5,5 bat/sec.. Mais, comme ci-dessus, cette égalité se vérifiera même si le LA$\flat_1$ n'a pas encore été accordé



Voici donc maintenant deux exercices qui permettent de contrôler la justesse rigoureuse des quintes, tout en apprenant à apprécier et à régler la rapidité des tierces majeures et mineures ainsi d'ailleurs que celle des quartes et des sixtes majeures; ils constituent, par ailleurs une préparation directe à l'accord puisque les opérations que nous allons décrire, sont celles qu'effectue l'accordeur, une fois la partition de la quinte juste FA$_2$ DO$_3$ terminée et contrôlée.

1er exercice : accord par quintes justes des notes allant de DO♯$_3$ à FA$_3$ (avec contrôle des tierces majeures, des quartes et des sixtes majeures).



Dans cet exercice, nous supposons donc que la partition de la quinte FA$_2$ DO$_3$ a déjà été réalisée (c'est-à-dire les 8 notes de cette quinte accordées) et que le coin multiple est appliqué à chacune des 13 notes de l'octave FA$_2$ FA$_3$ de façon à ne laisser vibrer que la première corde de chacune de ces notes.

L'accord des notes allant de DO♯$_3$ à FA$_3$ se fait dans l'ordre chromatique où ces notes se présentent : DO♯, RÉ, RÉ♯, MI, FA par quinte juste ascendante à partir d'une note de la partition FA$_2$ DO$_3$ avec contrôle des quintes par tierces mineures et tierces majeures isochrones et écoute des rapidités des quartes et des sixtes majeures.

Accord du DO♯$_3$

– Accorder le DO♯$_3$ par quinte juste à partir de FA♯$_2$; contrôler la justesse de la quinte; on doit avoir :

R FA♯$_2$ LA$_2$ = R LA$_2$ DO♯$_3$ = 9,5

– Écouter la quarte SOL♯$_2$ DO♯$_3$ (1,6)

Accord du RÉ$_3$

– Accorder le RÉ$_3$ par quinte juste SOL$_2$ RÉ$_3$; contrôle :

R SOL$_2$ SI♭$_2$ = R SI♭$_2$ RÉ$_3$ = 10

– Écouter la quarte LA$_2$ RÉ$_3$ (1,7)
– la sixte FA$_2$ RÉ$_3$ (9)

Accord du RÉ♯$_3$

– Accorder le RÉ♯$_3$ par quinte juste SOL♯$_2$ RÉ♯$_3$:

R SOL♯$_2$ SI$_2$ = SI$_2$ RÉ♯$_3$ = 10,6

– Écouter la quarte LA♯$_2$ RÉ♯$_3$ (1,8)
– la sixte FA♯$_2$ RÉ♯$_3$ (9,5)

Accord du MI$_3$

– Accorder le MI$_3$ par quinte juste LA$_2$ MI$_3$:

R LA_2 DO_3 = DO_3 MI_3 = 11,2

– Écouter la quarte SI_2 MI_3 (1,9)
– la sixte SOL_2 MI_3 (10,3)

Accord du FA_3

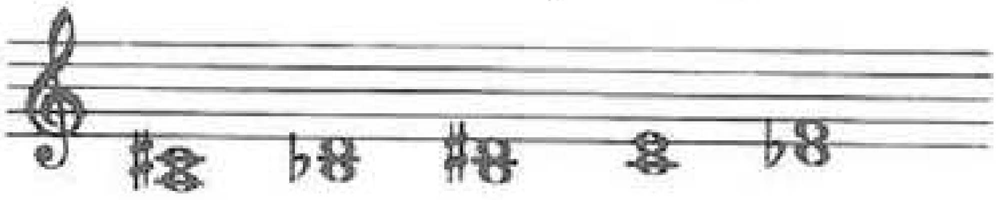
– Accorder le FA_3 par quinte juste $SI\flat_2$ FA_3 :

R $SI\flat_2$ $RÉ\flat_3$ = R $RÉ\flat_3$ FA_3 = 12

– Écouter la quarte DO_3 FA_3 (2)
– l'octave FA_2 FA_3 (0,6)
– la sixte $LA\flat_2$ FA_3 (11)

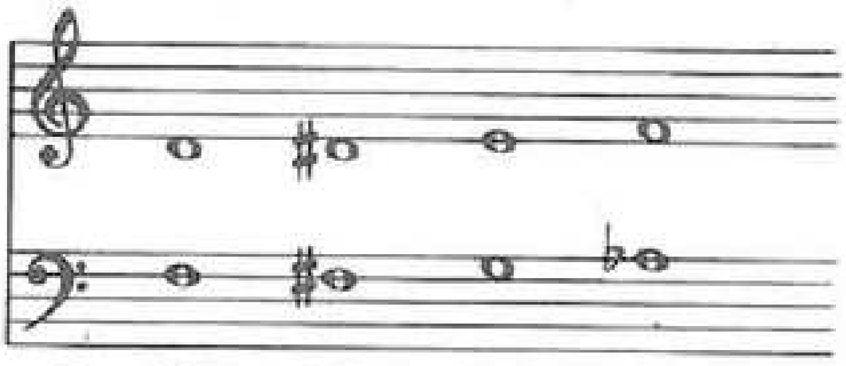
Pour terminer, vérifier que les tierces et sixtes majeures que nous venons de former, présentent bien des rapidités progressives :

Tierces majeures :



R: 9,5 10 10,6 11,2 12

Sixtes majeures :

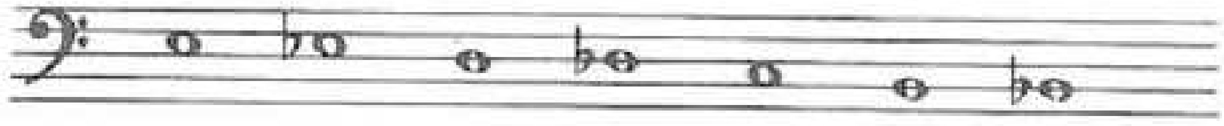


R: 9 9,7 10,3 11

S'il se présentait des irrégularités dans la progression des rapidités des tierces ou des sixtes majeures, il faudrait recontrôler la justesse des quintes et effectuer les corrections nécessaires.

Il ne faut pas s'inquiéter si on apprécie encore mal la rapidité de certains intervalles comme les quartes, par exemple, dont les battements sont parfois très flous. Répétons encore une fois que les rapidités théoriques indiquées entre parenthèses après chaque intervalle, ne sont là qu'à titre indicatif. Ce qui importe, c'est d'apprécier l'égalité des rapidités des intervalles isochrones et la progression régulière des rapidités des tierces et des sixtes majeures afin de déceler des erreurs éventuelles.

2ᵉ exercice : accord par quintes justes des notes allant de MI_2 à $SI\flat_1$



Dans cet exercice, nous supposons que les 13 notes de l'octave FA_2 FA_3 ont préalablement été accordées et que le coin multiple est resté posé entre la 2^e et la 3^e corde de chaque note comme dans l'exercice précédent. On peut d'ailleurs le faire à la suite du 1er exercice si on est certain de l'avoir bien réussi.

L'accord de ces notes se fait cette fois dans l'ordre chromatique descendant par quinte juste descendante à partir des notes de la partition FA$_2$ DO$_3$, avec contrôle des quintes par tierces mineures et majeures isochrones et écoute des rapidités de quartes, d'octaves et de sixtes majeures.

Accord du MI$_2$

N'accorder d'abord qu'une seule des cordes du MI$_2$, en étouffant les deux autres (ou l'autre, s'il n'y a déjà plus que 2 cordes par notes dans ce registre du piano) à l'aide d'un coin simple.

Accorder le MI$_2$ par quinte descendante d'après le SI$_2$; contrôle :

R MI$_2$ SOL$_2$ = R SOL$_2$ SI$_2$ = 8,5

– Écouter la sixte MI$_2$ DO♯$_3$ qui bat également à 8,5, c'est-à-dire un peu moins vite que FA$_2$ RÉ$_3$ (9)
- l'octave MI$_2$ MI$_3$ qui bat très lentement (0,6)
- la quarte MI$_2$ LA$_2$ qui bat à un peu plus de 1 : 1,2
- la tierce MI$_2$ SOL♯$_2$ (7); la comparer à la tierce FA$_2$ LA$_2$ (7,5)

Faire pour terminer l'unisson entre cette corde et les autres cordes de MI$_2$

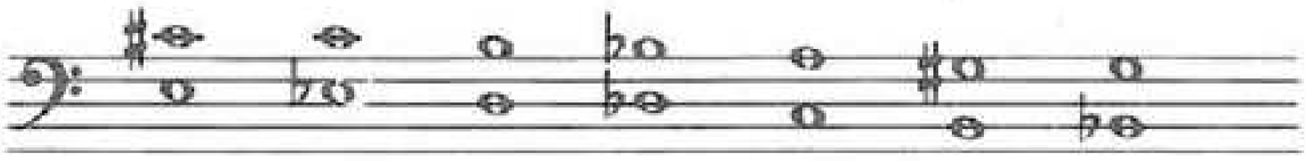
Accord du MI♭$_2$

Accorder le MI♭$_2$ par quinte juste à partir de SI♭$_2$:

R MI♭$_2$ SOL♭$_2$ = R SOL♭$_2$ SI♭$_2$ = 8

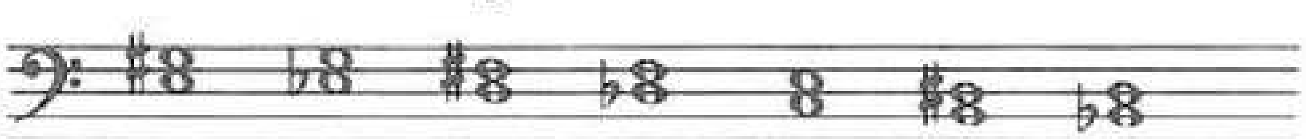
Écouter la sixte MI♭$_2$ DO$_3$ (8)
- l'octave MI♭$_2$ MI♭$_3$ (0,6)
- la tierce MI♭$_2$ SOL$_2$ (6,6)

(en dessous de MI$_2$, il n'est plus utile d'écouter les quartes)
Accorder ainsi successivement : RÉ$_2$, RE♭$_2$, DO$_2$, SI$_1$ et SI♭$_1$.
Écouter la décroissance progressive des rapidités des sixtes majeures :



R: 8,5 8 7,5 7 6,7 6,3 6

ainsi que celle des tierces majeures :



R: 7 6,6 6,3 6 5,6 5,3 5

L'agrandissement des octaves doit être presque imperceptible : une octave qui battrait nettement (à plus de 1 battement à la seconde, par exemple) ou une irrégularité dans la décroissance des rapidités des sixtes ou des tierces majeures révélerait une erreur dans l'accord par quintes justes descendantes des notes précédentes, sauf si le piano présente dans ce registre des phénomènes d'inharmonicité; c'est le cas sur certains pianos droits à cet endroit qui est celui du croisement : les dernières cordes filées croisent en effet les premières cordes blanches en acier et, seuls les bons pianos, ne présentent dans ce regisre aucune distorsion inharmonique. Si après avoir vérifié les quintes (et éventuellement la partition) on constate donc des anomalies persistantes, ne pas s'en soucier pour l'instant : nous verrons plus tard comment corriger dans la mesure du possible les phénomènes dus à l'inharmonicité.

A ce stade de notre formation, nous sommes capables d'apprécier avec précision et objectivement la qualité d'un accord ainsi que sa nature : nous pouvons savoir si un piano est accordé en TEQJ, en GBT, dans un système intermédiaire ou dans tout autre système. Nous sommes également en mesure, si nous voulons devenir accordeur, de commencer à accorder un piano sur toute son étendue, à l'exception toutefois des notes de la partition et des notes extrêmes, principalement dans l'aigu (ce que les accordeurs appellent les « extrêmes dessus »). Il convient toutefois de ne travailler alors que sur un piano préalablement stabilisé.

Nous conseillons donc à l'élève accordeur de partager son temps entre :

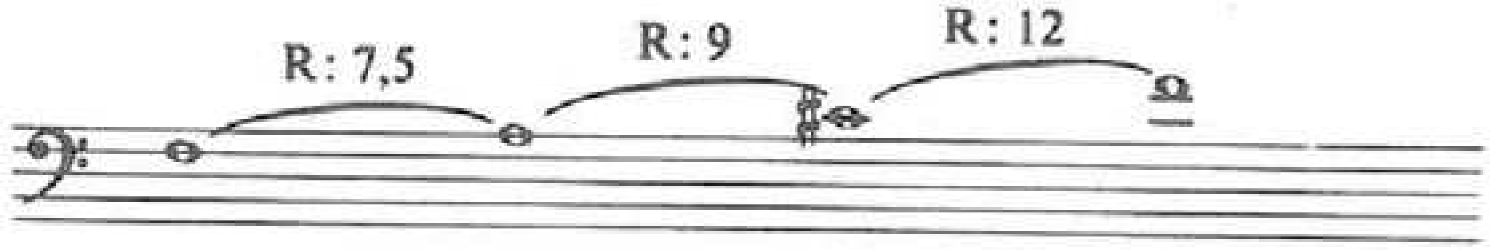
- le perfectionnement des deux exercices précédents,
- l'étude des deux exercices suivants qui le prépare à aborder la partition,
- l'étude de la stabilisation d'un piano,
- l'accord des registres graves et aigus (voir « Accord du piano au TEQJ, p.117) à l'exception de la partition et des extrêmes dessus.

Lorsque l'élève aura acquis une certaine habitude de l'accord des notes graves et aiguës, et qu'il réussira bien les exercices qui vont suivre, il pourra aborder l'étude de la partition elle-même. Il alternera alors cette étude avec celle de la stabilisation et de l'accord du piano dans son ensemble.

9) *Préparation à la partition : 1^er^ exercice*

Sur un piano où l'octave FA$_2$ FA$_3$ aura déjà été accordée en TEQJ, adapter le coin multiple sur chacune des 13 notes de cette octave afin de ne laisser libre que la première corde de chacune d'elles. Désaccorder alors légèrement le LA$_2$ et le DO♯$_3$, puis les réaccorder de manière à partager à nouveau l'octave FA$_2$ FA$_3$ en 3 tierces bien progressives :

FA$_2$ LA$_2$ (7,5) LA$_2$ DO♯$_3$ (9,5) DO♯$_3$ FA$_3$ (12)



Contrôler l'opération en retirant le coin multiple : la 1re corde de LA$_2$ et de DO♯$_3$ doit se retrouver à l'unisson des deux autres cordes.

2^e exercice

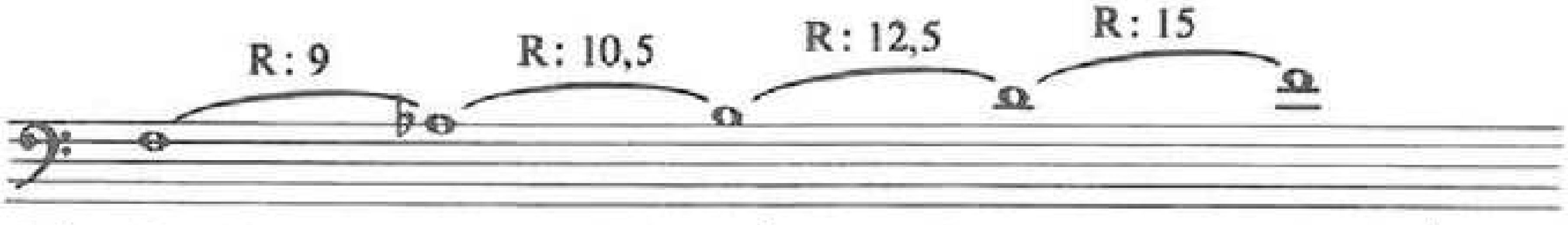
Sur un piano désaccordé, adapter le coin multiple sur les 13 notes de l'octave FA$_2$ FA$_3$ de façon à ne laisser libre que la première corde de chacune de ces notes. Accorder le LA$_2$ à l'octave juste du LA$_3$ du diapason : prendre ce LA$_2$ comme note de référence et ne plus désormais y toucher. Accorder le FA$_2$ sur ce LA$_2$ par tierce descendante en essayant de donner à cette tierce la rapidité qu'elle doit présenter dans le TEQJ (7,5); faire la quinte FA$_2$ DO$_3$ juste et en contrôler la justesse au moyen du LA♭$_2$, (sans accorder cette note, excepté si les battements qu'elle émet lorsqu'elle est entendue avec chacune des 2 notes de la quinte sont trop lents ou trop rapides pour permettre une bonne appréciation de leur rapidité). Accorder le FA$_3$ par quarte juste ascendante DO$_3$ FA$_3$ en la faisant battre à 2. Écouter l'octave FA$_2$ FA$_3$ qui doit battre à moins de 1 fois à la seconde (0,6) et partager cette octave du TEQJ en 3 tierces majeures progressives comme dans le premier exercice. Attention ! si la tierce FA$_2$ LA$_2$ ne présente pas la rapidité voulue, on ne pourra pas y parvenir sans rectifier la place de FA$_2$ et par suite celles de DO$_3$ et de FA$_3$ également.

Lorsqu'on réussira très bien ce second exercice, on pourra commencer l'étude de la partition proprement dite.

3^e exercice

Adapter le coin multiple aux notes de l'octave FA$_2$ FA$_3$ préalablement accordées, en ne laissant vibrer que la première corde de chaque note. Désaccorder légèrement puis réaccorder le LA♯$_2$, le SI$_2$ et le RÉ$_3$ qui partagent l'octave en 4 tierces mineures progressives :

FA$_2$ LA♭$_2$ (9) LA♭$_2$ SI$_2$ (10,5) SI$_2$ RÉ$_3$ (12,5) RÉ$_3$ FA$_3$ (15)



S'aider des sixtes majeures : FA$_2$ RÉ$_3$ qui bat comme FA$_2$ LA♭$_2$ à 9
LA♭$_2$ FA$_3$ qui bat comme LA♭$_2$ SI$_2$ à 10,5

Contrôler l'opération en enlevant le coin multiple : la première corde de LA♭$_2$, SI$_2$ et RÉ$_3$ doit se retrouver à l'unisson des deux autres.

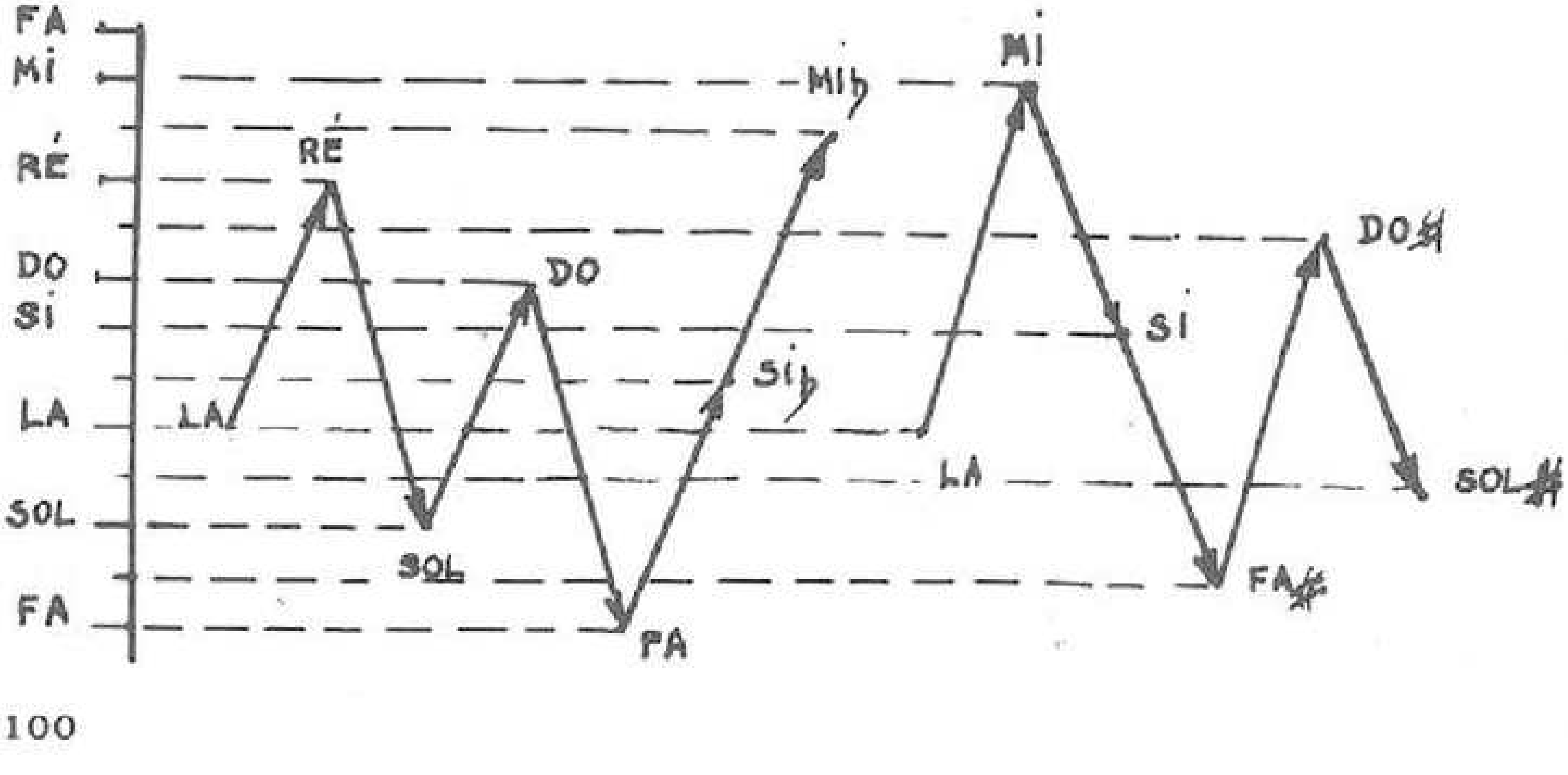
Stabilisation d'un piano

Il faut savoir qu'on ne peut entreprendre l'accord complet d'un piano sans que l'instrument ait été auparavant stabilisé à un diapason déterminé demandé par l'utilisateur. Il serait en effet tout à fait erroné de croire qu'on peut accorder avec précision et en une seule fois un piano qui se trouve, dans son ensemble à plus de 1/8^e de ton (1 comma environ) du diapason demandé : l'accord ne tiendrait pas. Tout le soin qu'on aurait pris pour réaliser des rapidités exactes sur chacun des intervalles serait parfaitement vain : les cordes sont, en effet, élastiques et ont tendance à reprendre la tension qu'elles présentaient avant qu'on les manipule; on dit qu'elles « travaillent » et elles travaillent d'autant plus qu'on modifie leur tension initiale : il en résulte qu'un piano qu'on a « monté » a toujours tendance à redescendre et, qu'au contraire, un piano qu'on a « descendu » a toujours tendance à remonter.

De plus, en tendant ou en détendant les cordes d'un piano, on ajoute ou on retranche quelques centaines de kilos à la tension supportée par le cadre du piano qui réagit également. Aussi, avant d'aborder l'accord d'un piano, faut-il toujours vérifier qu'il se trouve à peu près au diapason demandé : de l'aigu au grave, si ce n'est pas le cas, il faut d'abord le stabiliser à ce diapason, soit sur toute son étendue, soit seulement dans l'aigu, par exemple, si seules les notes de ce registre ont beaucoup « bougé », comme c'est fréquemment le cas sur les pianos non entretenus de façon régulière.

Pour stabiliser un piano, on commence par faire une partition approximative à partir d'un LA de référence légèrement supérieur au diapason demandé si on doit « monter » le piano et, au contraire, légèrement inférieur si on doit le « descendre ». Il ne faut nullement s'attarder à faire une bonne partition ni de bons unissons car toutes les notes vont fatalement « bouger ». Après avoir disposé le coin multiple sur les notes de l'octave FA$_2$ FA$_3$, le mieux est de faire à partir du LA$_2$ (accordé d'après le LA$_3$ demandé) une partition par quartes et quintes justes (sans contrôle) conformément aux schémas suivants :

Stabilisation d'un piano.



Ne pas se soucier de la quinte SOL$\sharp_2$(LA$\flat_2$) MI$\flat_3$ qui sera forcément fausse (voir accord pythagoricien chromatique, p. 245).

La partition ainsi faite, accorder les notes graves (en descendant chromatiquement : MI$_2$, MI$\flat_2$, RÉ$_2$, etc.), par octaves à partir des notes de la partition : si on doit « monter » le piano, faire ces octaves un peu courtes car les notes vont fatalement redescendre au fur et à mesure que la tension sur le cadre va s'accentuer; les faire, au contraire, un peu grandes si on a à « descendre » l'instrument. Faire les unissons rapidement sans chercher à bien « caler » la cheville : cela ne servirait à rien puisque tout va « bouger ». Lorsqu'on parvient vers FA$_1$, une octave en dessous de la partition, recontrôler rapidement les premières octaves : MI$_2$ MI$_3$, MI$\flat_2$ MI$\flat_3$, etc. Si les notes MI$_2$, MI$\flat_2$ sont déjà trop redescendues (en admettant qu'on « monte » le piano), les rectifier rapidement et poursuivre au-delà de FA$_1$ vers le grave en faisant des octaves plus courtes : c'est que le piano « travaille » beaucoup. Si les notes MI$_2$, MI$\flat_2$, etc., sont restées, au contraire trop haut, les rectifier et poursuivre en raccourcissant un peu moins les octaves : c'est que le piano possède un cadre très rigide et travaille peu.

Pratiquer de même vers l'aigu à partir de FA$\sharp_3$ en accordant successivement FA$\sharp_3$, SOL$_3$, SOL$\sharp_3$, etc., par octaves justes à partir des notes de la partition; mais faire cette fois des octaves trop grandes si on « monte » le piano et trop courtes dans le cas contraire. Lorsqu'on parvient à FA$\sharp_4$, recontrôler rapidement FA$\sharp_3$, SOL$_3$, SOL$\sharp_3$, etc., si ces notes sont déjà trop redescendues, les rectifier et poursuivre au-delà de FA$\sharp_4$ en agrandissant davantage les octaves. Si, au contraire, les notes sont restées trop haut, allonger un peu moins les octaves.

Il faut donc faire vite en s'adaptant en cours de route à la réaction particulière de chaque piano, sinon on risque d'avoir à faire 2 voire 3 stabilisations!... ou de faire un accord qui ne tiendrait pas!

Stabiliser un piano très vite et en une seule fois n'est d'ailleurs pas à la portée d'un accordeur débutant : c'est une opération qui exige comme l'accord lui-même une longue pratique dans la mesure où aucun piano ne réagit exactement de la même manière : tout dépend des marques et des modèles!

Ce qu'il faut bien retenir, c'est que dans une opération de ce type, un piano « bouge » et un clavecin encore bien davantage! Tout soin excessif apporté dans ces conditions à la partition, à l'accord ou à la réalisation de bons unissons est peine perdue!

MÉTHODE PRATIQUE D'ACCORD AU TEMPÉRAMENT ÉGAL A QUINTES JUSTES

Il existe plusieurs méthodes permettant de faire la partition du TEQJ comme il en existe d'ailleurs plusieurs pour faire celle de la GBT. Comme le TEQJ est fondé sur la partition de la quinte juste en 7 demi-tons égaux, il semble naturel de réduire l'ambitus de la partition à un intervalle de quinte juste et de choisir pour cela une quinte du medium : c'est en effet dans ce registre que les effets de l'inharmonicité sont les plus faibles; en principe, nous choisissons donc pour faire la partition, la quinte FA$_2$ DO$_3$. Une fois cette partition terminée, on accorde toutes les autres notes par quintes justes à partir des notes de la partition, ainsi DO$\sharp_3$ est accordé d'après FA$\sharp_2$, RÉ$_3$ à partir de SOL$_2$, etc.

La partition de la quinte est plus rapide à faire que celle de l'octave puisqu'il n'y a que 8 notes à accorder au lieu de 13 et donc beaucoup moins de rapports à vérifier. Cependant la partition de la quinte oblige à avoir recours, à titre de contrôle, aux rapidités de tierces mineures qui sont un peu plus difficiles à entendre et à évaluer que celles des tierces majeures. Aussi avions-nous d'abord jugé utile que l'élève-accordeur commence par s'entraîner à faire la partition de l'octave qui utilise essentiellement des tierces et des sixtes majeures : ce n'est qu'après s'être bien formé l'oreille à ces intervalles que nous pensions qu'il pourrait entreprendre la partition de la quinte.

Cependant l'expérience nous a montré qu'il n'était pas nécessaire que les élèves aient réussi la partition de l'octave pour aborder celle de la quinte et même la réussir! C'est ainsi qu'au bout de quatre mois d'exercice, nos élèves étaient encore loin de réussir convenablement la partition de l'octave : las de peiner sur cette partition, ils nous ont alors demandé de leur expliquer quand même celle de la quinte : nous avons accepté et nous avons eu la surprise de constater qu'en quelques jours ils la réussissaient parfaitement. C'est qu'à partir du moment où on entend et où on maîtrise bien les rapidités des tierces majeures, il est possible d'aborder les tierces mineures, et la partition de la quinte juste est alors facile à réussir, bien plus facile que celle de l'octave : outre le grand nombre de notes qu'elle comporte la partition de l'octave présente, en effet, une grande difficulté, celle d'obliger l'accordeur à fausser toutes les quintes d'1/12e de comma. C'est pourquoi lorsque nos élèves réussissent bien les exercices préparatoires à l'accord que nous avons fait figurer dans « L'initiation à l'accord », nous abordons maintenant d'emblée la partition de la quinte.

Nous présentons ici deux méthodes pour faire la partition de la quinte : l'une est une partition « en chaîne » de type classique. C'est par cette partition que nous conseillons aux élèves de commencer. L'autre est une partition que nous avons appelée « partition à ancrage », réservée à l'accordeur qui possède déjà bien « dans l'oreille » les rapidités des intervalles de la partition du TEQJ. Les partitions « en chaîne » où on accorde toujours une note d'après la dernière note accordée, présentent en effet l'inconvénient d'un possible cumul des erreurs : en effet l'erreur commise sur une note se reporte fatalement sur la suivante et seule la « preuve » qu'on trouve en fin de partition révèle les erreurs commises en cours de route. Si cette « preuve » est négative, il faut alors remonter la chaîne en sens inverse pour corriger les notes jusqu'à l'erreur ou les erreurs cumulées, c'est ce qu'on appelle « faire la contre-partition »; il arrive ainsi qu'on soit amené à faire plusieurs aller et retour : ce qui se fait certes plus rapidement lorsqu'on n'a que 8 notes à vérifier au lieu de 13, mais est quand même une perte de temps! Lorsque la preuve s'avère d'ailleurs négative et laisse prévoir de longues et fastidieuses vérifications, il arrive que certains accordeurs « ferment les yeux » et passent à l'accord du reste de l'instrument : ce qui devrait normalement conduire le pianiste à se « fermer » les oreilles!

Dans la « partition à ancrage » en revanche, chaque note nouvelle n'est pas accordée d'après la dernière note accordée mais d'après quelques notes absolument sûres comme, par exemple, le LA_2 du diapason qui est une note donnée dont on ne peut modifier la hauteur. Aussi, lorsqu'on fait une erreur, celle-ci ne peut pas se transmettre aux autres notes puisqu'elle ne concerne que la dernière note accordée, elle peut être également plus vite décelée et corrigée.

Nous allons donc aborder successivement ces deux méthodes; comme elles commencent toutes les deux avec l'accord du LA_2 obtenu d'après le LA_3 du diapason demandé, nous allons voir d'abord comment obtenir avec précision ce LA_2.

Accord du LA_2 d'après le LA_3 du diapason

1re méthode (pour l'accordeur débutant)

Quelle que soit la partition, commencer par disposer le coin multiple à 13 branches sur les cordes de l'octave FA_2 FA_3 de façon à ne laisser vibrer que la première corde de chaque note. Mettre ensuite un coin simple entre la 2^e^ et la 3^e^ corde du LA_3. Accordez la première corde de LA_3 sur le diapason demandé, 440 hz par exemple, en réalisant l'unisson de cette corde avec le diapason.

Baisser ensuite cette corde jusqu'à ce qu'elle batte à 0,8 battement à la seconde avec le LA 440 du diapason, c'est-à-dire un peu moins de 1 battement à la seconde[1].

Mettre ensuite le LA_2 à l'octave juste de la première corde du LA_3 ainsi accordé; vérifier la justesse de l'octave LA_2 LA_3 au moyen du FA_1; si l'octave LA_2 LA_3 est parfaitement juste, on a :

$$R\,FA_2\,LA_2 = R\,FA_2\,LA_3$$

quelle que soit la position du FA_2.

On obtient ainsi le LA_2 de la partition : en effet, comme les

---

[1] En faisant battre à 1 battement à la seconde au lieu de 0,8, on ferait une erreur tout à fait négligeable : lors de l'accord en effet, étant donné le léger agrandissement des octaves dans le TEQJ, on serait amené à remonter ce LA_3 à 439,85 hz au lieu de 440 hz, soit seulement 1/340^e^ de ton en dessous du diapason demandé!

octaves du TEQJ sont un peu agrandies, ce LA$_2$ ne doit pas être à l'octave juste du LA$_3$ du diapason demandé mais un peu au-dessous; lors de l'accord, on sera amené à remonter la première corde du LA$_3$ à 440 hz en raison du léger agrandissement de l'octave LA$_2$ LA$_3$.

2^e méthode (pour l'accordeur confirmé)

Isoler la première corde du LA$_3$ en mettant un coin simple entre la 2^e et la 3^e corde. Accorder cette 1re corde au diapason demandé. Accorder ensuite le RÉ$_3$ sur le LA$_3$ par quinte juste descendante. Contrôler la justesse rigoureuse de la quinte[1]. Accorder ensuite le LA$_2$ par quarte descendante LA$_2$ RÉ$_3$ de façon que la quarte batte par excès à un peu plus de 1,5 battements à la seconde, soit 3 battements pour 2 secondes.

Si on a bien dans l'oreille la 10^e FA$_2$ LA$_3$ du TEQJ, on peut aussi accorder directement le FA$_2$ de la partition à partir du LA$_3$ et accorder ensuite le LA$_2$ à partir du FA$_2$.

Partition de la quinte juste FA$_2$ DO$_3$

1re méthode : partition « en chaîne »

Avant de la réaliser, il est recommandé de lire ou de relire tout ce qui concerne la théorie de cette partition page 46, ainsi que les remarques formulées à la page 54 sur l'évaluation des rapidités et sur la valeur relative des indications de rapidité indiquées après chaque intervalle.

Cette partition utilise les rapports de tierce majeure et de quarte ainsi que ceux de tierce mineure mais seulement à titre de contrôle; les rapidités de ces tierces permettent en effet, comme nous le verrons, de déceler les moindres inégalités.

Rappelons ici que la partition de la quinte juste nous fournit 3 quartes, 4 tierces majeures et 5 tierces mineures de rapidités progressives conformément au tableau suivant :

Tierces majeures	FA$_2$ LA$_2$	FA♯$_2$ LA♯$_2$	SOL$_2$ SI$_2$	LA♭$_2$ DO$_3$	
Rapidités	7,5	8	8,5	9	
Tierces mineures	FA$_2$ LA♭$_2$	FA♯$_2$ LA$_2$	SOL$_2$ SI♭$_2$	SOL♯$_2$ SI$_2$	LA$_2$ DO$_3$
Rapidités	9	9,5	10	10,5	11
Quartes	FA$_2$ SI♭$_2$	FA♯$_2$ SI$_2$		SOL$_2$ DO$_3$	
Rapidités	1,3	1,4		1,5	

---

[1] *Très important* : pour un contrôle rigoureux de la justesse des quintes, voir le paragraphe 8, p. 94.

Le rôle de l'accordeur consiste à rétablir en partant du LA_2 obtenu à partir du LA_3 du diapason les intervalles en question de façon qu'ils présentent des progressions de rapidités semblables à celles du tableau ci-dessus.

Ordre dans lequel s'effectue l'accord des 8 notes de la partition : 1) LA_2 2) FA_2 3) DO_3 4) $SI♭_2$ 5) $FA♯_2$ 6) SI_2 7) SOL_2 8) $LA♭_2$

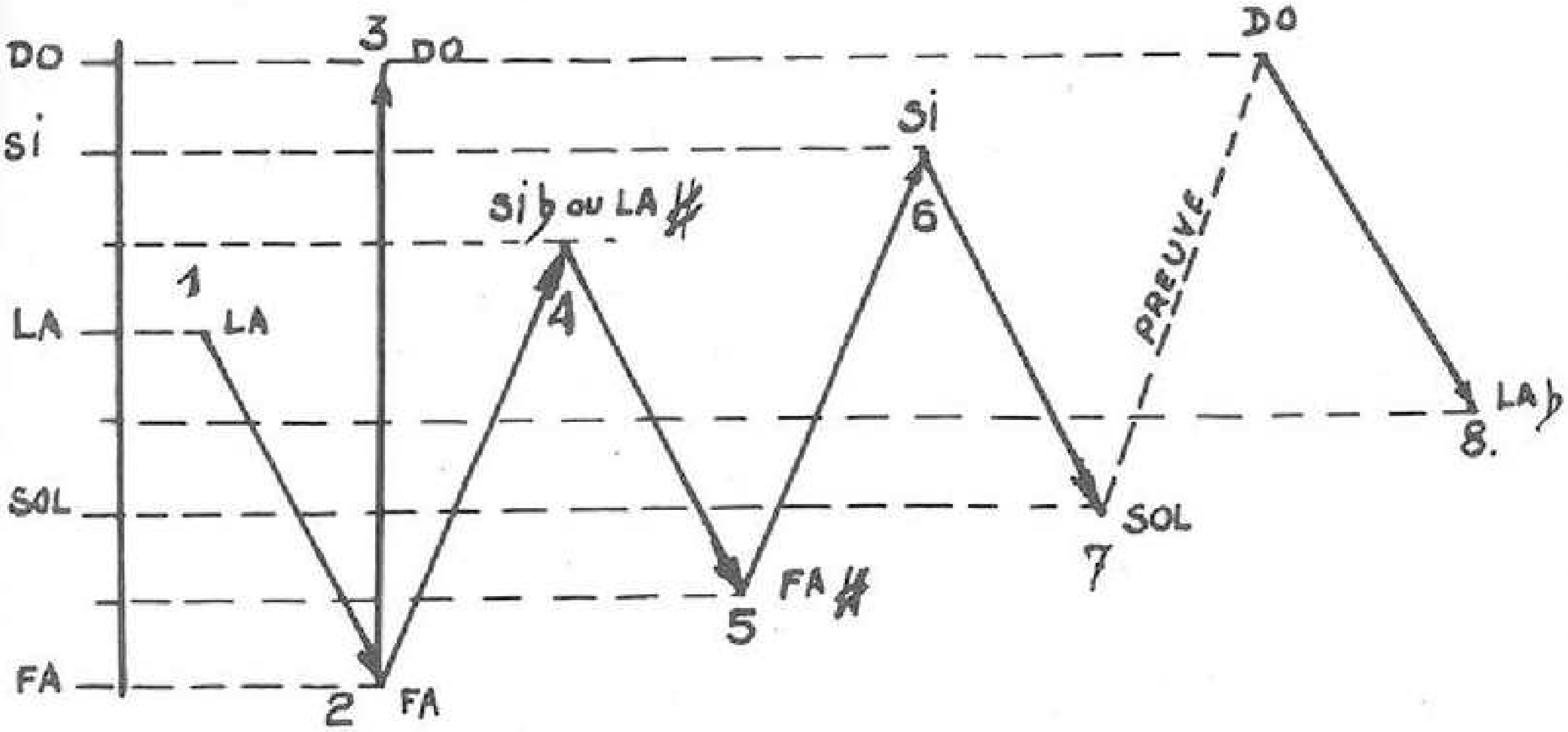
Détails des opérations

A) *Détermination du cadre de la partition : la quinte juste FA_2 DO_3*

1) Commencer par accorder le LA_2 d'après le LA_3 du diapason; voir ci-dessus.
2) Accorder ensuite le FA_2 d'après le LA_2 par tierce descendante de façon que R FA_2 LA_2 = 7,5 soit un peu plus de 7 battements/seconde. veiller à ce que cette tierce batte bien par excès comme toutes les autres tierces du TEQJ!
3) Accorder le DO_3 par quinte juste d'après le FA_2 et vérifier soigneusement la justesse rigoureuse de la quinte. Prêter attention à la rapidité de la tierce mineure LA_2 DO_3 (11) qui est donc bien plus rapide que FA_2 LA_2 (7,5).

B) *Partition de la quinte FA_2 DO_3 ainsi obtenue*

Nous utilisons pour la réaliser une alternance de quartes ascendantes et de tierces majeures descendantes :



4) *Accord du $SI♭_2$ ($LA♯_2$)*

Monter le $SI♭_2$ de façon que la quarte FA_2 $SI♭_2$ batte par excès aux environs de 2 à 3 battements à la seconde, ceci afin d'en percevoir nettement les battements; puis redescendre un peu ce SI♭ et caler la cheville lorsque la quarte ne présente plus que 1,3 battements à la seconde (un peu plus de 1 battement à la seconde, très exactement 4 battements pour 3 secondes).

5) *Accord du FA♯$_2$ (SOL♭$_2$)*

L'accorder par tierce descendante à partir du LA♯. La tierce majeure FA♯$_2$ LA♯$_2$ doit être à peine plus rapide que FA$_2$ LA$_2$ et nettement moins que la tierce mineure LA$_2$ DO$_3$:

R FA$_2$ LA$_2$ (7,5)   R FA♯$_2$ LA♯$_2$ (8)   R LA$_2$ DO$_3$ (11)

Vérifier ce FA♯$_2$ en contrôlant la tierce mineure FA♯$_2$ LA$_2$ dont la rapidité doit être intermédiaire entre celle de la tierce majeure FA♯$_2$ LA♯$_2$ et celle de la tierce mineure LA$_2$ DO$_3$:

R FA♯$_2$ LA♯$_2$ (8)   R FA♯$_3$ LA$_2$ (9,5)   R LA$_2$ DO$_3$ (11)

6) *Accord du SI$_2$*

L'accorder par quarte ascendante FA♯$_2$ SI$_2$ de façon que :

R FA♯$_2$ SI$_2$ (1,4)   R FA$_2$ SI♭$_2$ (1,3)

On voit que les deux quartes ont des rapidités pratiquement identiques à l'oreille.

7) *Accord du SOL$_2$*

L'accorder par tierce descendante SI$_2$ SOL$_2$ en veillant à ce que les 3 tierces majeures déjà obtenues soient bien progressives :

R FA$_2$ LA$_2$ (7,5)   R FA♯$_2$ LA♯$_2$ (8)   R SOL$_2$ SI$_2$ (8,5)

Contrôler ce SOL$_2$ par la tierce mineure SOL$_2$ SI♭$_2$; on doit avoir :

R FA♯$_2$ LA$_2$ (9,5)   R SOL$_2$ SI♭$_2$ (10)   R LA$_2$ DO$_3$ (11)

C'est dire que SOL$_2$ SI♭$_2$ doit être à l'oreille très légèrement plus rapide que FA♯$_2$ LA$_2$ et légèrement moins que LA$_2$ DO$_3$.

Si ce n'est pas le cas, c'est qu'on a commis une ou plusieurs fautes dans l'évaluation des rapidités précédentes : pour une correction éventuelle, voir plus loin le paragraphe intitulé : « Exercice de dépistage de fautes commises dans la partition en utilisant les rapidités des tierces mineures. »

Preuve

C'est la quarte SOL$_2$ DO$_3$ qui nous la donne : on doit avoir en effet :

R FA$_2$ SI♭$_2$ (1,3)   R FA♯$_2$ SI$_2$ (1,4)   R SOL$_2$ DO$_3$ (1,4)

Si la quarte SOL$_2$ DO$_3$ bat comme les deux autres quartes ou à peine plus vite, la partition est bonne : il ne reste qu'à placer le LA♭$_2$.

Si elle bat trop vite ou trop lentement, c'est qu'on a fait une ou plusieurs erreurs qu'il convient de dépister puis de corriger.

Dépistage et correction des erreurs

1^er cas : la quarte SOL_2 DO_3 bat trop vite

C'est que le SOL_2 est trop bas par rapport au DO_3 : or nous savons que depuis le début de la partition, nous avons parcouru en partant de LA_2, 2 quartes ascendantes et 3 tierces descendantes (voir schéma de la partition, p.105). Si donc la note SOL_2 qui résulte de l'enchaînement de ces 5 intervalles est trop basse, c'est que :

- ou bien les trois tierces majeures descendantes sont trop grandes et donc trop rapides,
- ou bien ce sont les quartes ascendantes qui sont trop courtes et donc trop lentes,
- ou bien encore, on a cumulé les deux erreurs.

Correction

Commencer par vérifier les deux quartes et si elles semblent battre à moins de 1 battement à la seconde, les rectifier en commençant par remonter le $SI\flat_2$ puis ensuite $FA\sharp_2$, SI_2 et SOL_2. Réécouter alors SOL_2 DO_3 : si elle est encore trop rapide, c'est que les trois tierces majeures étaient également trop rapides et qu'au départ on a sans doute réalisé une tierce FA_2 LA_2 trop rapide; à moins encore que la rapidité de la tierce initiale FA_2 LA_2 soit correcte mais que les rapidités des deux autres tierces majeures croissent trop rapidement : or, ne l'oublions pas, cette croissance est extrêmement progressive : d'une tierce à la suivante située un demi-ton au-dessus, la rapidité est seulement multipliée par 1,06 environ! (voir plus loin, « Conseils aux débutants »). Si les tierces sont trop rapides ou que leur rapidité s'accroît trop rapidement, il faut reprendre la partition depuis le début en commençant par rectifier FA_2 et DO_3. Mais ce n'est rien à côté des corrections en chaîne qui portent sur les 13 notes d'une octave tout entière comme dans l'accord traditionnel!

2^e cas : la quarte SOL_2 DO_3 bat trop lentement

C'est que le SOL_2 est trop haut :

- ou bien les quartes ascendantes sont trop grandes et battent donc trop,
- ou bien les tierces descendantes sont trop petites et battent trop lentement.

Commencer par rectifier éventuellement les quartes; recontrôler la rapidité de SOL_2 DO_3 et si elle est encore trop faible, corriger la rapidité des tierces majeures.

Ces corrections éventuelles terminées, passer à l'accord de la dernière note de la partition le $LA\flat_2$.

8) *Accord du $LA\flat_2$*

L'accorder par tierce majeure descendante à partir du DO_3 de façon à obtenir une progression très régulière des 4 tierces majeures de la partition :

R FA_2 LA_2 (7,5) R $FA\sharp_2$ $LA\sharp_2$ (8) R SOL_2 SI_2 (8,5) R $LA\flat_2$ DO_3 (9)

Contrôle général – précision du contrôle par tierce mineure

Contrôler la progression des rapidités des 5 tierces mineures, des 4 tierces majeures et des 3 quartes. Les tierces mineures sont sensibles aux moindres déformations : une erreur d'une seule vibration à la seconde (1 hertz), dans la fréquence de l'une des notes composant une tierce mineure peut modifier de 5 ou 6 battements à la seconde, la rapidité d'une tierce mineure du médium. Ainsi, la tierce LA_2 DO_3 bat normalement dans le TEQJ à 11 à la seconde si le LA_2 est à 220 hz (440 : 2). Si nous faisons sur ce LA_2 une erreur de 1 hz seulement et qu'il présente donc une fréquence de 219 hz c'est-à-dire se trouve seulement 1/30^e de ton plus bas qu'il ne faudrait, la tierce LA_2 DO_3 ne battra plus qu'à 6 au lieu de 12 battements à la seconde! On peut ainsi déceler les moindres fautes et accorder un piano avec une extrême précision.

Exercice de dépistage des fautes commises dans la partition en utilisant les rapidités des tierces mineures

Nous supposons ici que l'une des tierces mineures de la partition bat trop lentement et nous indiquons comment rectifier cette erreur.

1) *$FA\sharp_2$ LA_2 est trop lente*

C'est que $FA\sharp_2$ est trop bas puisque les tierces mineures battent par défaut; par suite, si la tierce $FA\sharp_2$ $LA\sharp_2$ et la quarte FA_2 $SI\flat_2$ semblent battre normalement, c'est que le $SI\flat_2$ et donc le FA_2 sont également trop bas : la tierce FA_2 LA_2 par laquelle on commence la partition est donc trop grande et trop rapide : corriger en remontant le FA_2 ainsi que toutes les autres notes jusqu'au $FA\sharp_2$.

2) *FA_2 $LA\flat_2$ est trop lente*

Deux possibilités :
– ou bien FA_2 est trop bas : dans ce cas, il n'y a presque pas de différence de rapidité entre FA_2 LA_2 et FA_2 $LA\flat_2$ alors qu'on devrait avoir:

R FA_2 $LA\flat_2$ (9) R FA_2 LA_2 (7,5)

Remonter alors le FA$_2$
– ou bien le LA♭$_2$ est trop haut : dans ce cas la tierce mineure LA♭$_2$ (SOL♯$_2$) SI$_2$ est trop rapide et la tierce LA♭$_2$ DO$_3$ trop lente par rapport aux autres tierces majeures de la partition. Redescendre le LA♭.

3) *SOL$_2$ SI♭$_2$ est trop lente*

– ou bien c'est SOL$_2$ qui est trop bas : dans ce cas la quarte SOL$_2$ DO$_3$ est trop rapide : remonter le SOL$_2$,
– ou bien SI♭$_2$ est trop haut : c'est alors la quarte FA$_2$ SI♭$_2$ qui est trop rapide : descendre le SI♭$_2$.

4) *SOL♯$_2$* SI$_2$ *est trop lente*

– ou bien SOL♯$_2$ est trop bas, auquel cas SOL♯$_2$ (LA♭$_2$) DO$_3$ est trop rapide, à moins que DO$_3$ et FA$_2$ ne soient eux-mêmes trop bas : la tierce de départ FA$_2$ LA$_2$ est alors trop rapide. Contrôler et rectifier en conséquence,
– ou bien SI$_2$ est trop haut : contrôler la quarte FA♯$_2$ SI$_2$ qui est alors trop rapide, à moins que le FA♯$_2$ et par suite le LA♯$_2$ et le FA$_2$ ne soient eux-mêmes trop haut. Descendre alors successivement : FA$_2$, LA♯$_2$, FA♯$_2$ et SI$_2$.

5) *LA$_2$ DO$_3$ est trop lente*

C'est que DO$_3$ et, par suite, FA$_2$ sont trop hauts. La tierce FA$_2$ LA$_2$ est alors trop lente. Baisser le FA$_2$.

Faire les raisonnements inverses dans le cas où l'une des tierces mineures de la partition paraîtrait plus rapide que les autres. C'est au moyen de raisonnements de ce genre qu'on parvient à déceler les erreurs et à les corriger sans tâtonner et sans perdre de temps; ils sont assez comparables à ceux qu'on fait lorsqu'on joue au jeu d'échecs et qu'on évalue à l'avance les répercussions en chaîne que peut entraîner le déplacement d'une pièce. Le débutant doit s'y exercer. Les cas de ruptures dans la progression des rapidités sont variés et quelquefois assez compliqués à résoudre : de toute façon, ils n'admettent qu'une solution, car il n'y a pas plusieurs manières pour partager une quinte en 7 parties égales! Pour réussir cette sorte de puzzle, il faut que tous les intervalles présentent des progressions de rapidité conformes à ceux du tableau de la page 104. L'important est donc de déceler la faute initiale et d'en comprendre les répercussions plutôt que de procéder à des corrections ponctuelles qui ne font que fausser d'autres intervalles.

On peut s'apercevoir que la coupable est bien souvent la tierce initiale FA$_2$ LA$_2$: cela n'a rien d'étonnant puisque, de sa rapidité, dépend celle des autres intervalles. Il faut donc apprendre à bien l'apprécier et si sa rapidité était incorrecte, on devrait s'en apercevoir dès l'accord du FA♯$_2$, lors du contrôle de la tierce mineure FA♯$_2$ LA$_2$.

Conseils aux débutants

Les débutants ne doivent pas trop s'attarder sur la progression rigoureuse des rapidités des tierces majeures et mineures. Cela viendra progressivement. Si, en effet, la différence de rapidité entre deux tierces telles que FA$_2$ LA$_2$ (7,5) et La♭$_2$ DO$_3$ (9) est déjà sensible, celle qui existe entre deux tierces voisines est infime. Il faut donc une éducation prolongée de l'oreille ainsi qu'une longue habitude de l'accord pour parvenir à réaliser des progressions de rapidités absolument impeccables. Naturellement, les intervalles qui sont nettement plus lents ou plus rapides que leurs voisins de même nature – les intervalles « malades » comme disent les accordeurs – sont à proscrire; mais si un débutant parvient à réaliser des tierces majeures ou mineures voisines d'une rapidité sensiblement égale, qu'il s'en satisfasse provisoirement. En voulant réaliser des rapidités tout à fait progressives, il risque en effet de s'embarquer dans des progressions trop rapides et de se décourager en ne parvenant jamais à équilibrer la partition. Ce que nous venons de dire pour les tierces est naturellement encore plus valable pour les trois quartes de la partition qui présentent des rapidités pratiquement équivalentes pour l'oreille.

Accords des autres notes de l'octave FA$_2$ FA$_3$

La partition de la quinte juste une fois terminée, on a intérêt à terminer l'accord des notes de l'octave FA$_2$ FA$_3$, en prenant maintenant les notes dans l'ordre où elles se présentent chromatiquement : DO♯$_3$, RÉ$_3$, RÉ♯$_3$, etc. L'accord de ces notes ne présente aucun problème lorsque la partition de la quinte a été faite avec soin et que tous les intervalles présentent des rapidités bien progressives : il se fait par quintes justes à partir des notes de la partition : ainsi DO♯$_3$ s'accorde par quinte juste à partir de FA♯$_2$, RÉ$_3$ à partir de SOL$_2$, etc. Un contrôle rapide de la note accordée avec quelques autres notes de la partition et quelquefois une rectification ici et là suffisent pour l'accordeur entraîné. Nous allons cependant détailler ces opérations pour l'élève qui ne contrôle pas encore parfaitement les rapidités des tierces de la partition et a pu y laisser quelques fautes : l'accord de ces nouvelles notes lui révélera ces fautes, lui permettra de les corriger et surtout de les éviter lorsqu'il fera d'autres partitions.

Nous avons déjà d'ailleurs abordé l'accord de ces notes lors de l'initiation à l'accord, p. 95. Mais nous partions alors d'une partition parfaite réalisée par le professeur : tel n'est plus le cas ici où l'élève a réalisé lui-même une partition de la quinte FA$_2$ DO$_3$ qui peut encore comporter des erreurs que l'accord de ces notes va lui révéler. Ainsi pourra-t-il à ce stade se corriger lui-même et parfaire de plus en plus ses partitions.

1) *Accord du $\text{DO}\sharp_3$*

L'accorder par quinte juste à partir de $\text{FA}\sharp_2$; contrôler la quinte. Écouter la tierce LA_2 $\text{DO}\sharp_3$ (9,5) qui doit être plus rapide que $\text{LA}\flat_2$ DO_3 (9). Si ce n'était pas le cas, cela prouverait qu'à l'intérieur de la partition FA_2 DO_3, la tierce mineure $\text{FA}\sharp_2$ LA_2 était elle-même sensiblement plus lente que FA_2 $\text{LA}\flat_2$. Revenir alors à la partition pour corriger cette erreur.

D'une façon générale, toute imperfection dans la progression des rapidités des tierces majeures ne peut provenir que d'une imperfection dans la progression des tierces mineures de la partition FA_2 DO_3 : toute tierce majeure est en effet complémentaire dans le cadre d'une quinte juste, d'une tierce mineure qui présente exactement la même rapidité :

$$\text{FA}_2\ \text{DO}_3 = \text{Fa}_2\ \text{LA}\flat_2 + \text{LA}\flat_2\ \text{DO}_3$$
$$\text{FA}\sharp_2\ \text{DO}\sharp_3 = \text{FA}\sharp_2\ \text{LA}_2 + \text{LA}_2\ \text{DO}\sharp_3$$
etc.

Il en résulte que la rapidité des tierces majeures est liée à la rapidité des tierces mineures complémentaires de la partition : si une tierce mineure est « malade », la tierce majeure complémentaire le sera aussi et dans la même proportion : ainsi une tierce mineure qui bat trop vite par défaut aura pour complément une tierce majeure qui bat trop vite par excès.

2) *Accord du RÉ_3*

L'accorder par quinte juste SOL_2 RÉ_3; contrôler la quinte. Écouter la quarte LA_2 RÉ_3 (1,7) qui est dans ce cas très précieuse : en effet si elle ne bat pas correctement, c'est que le RÉ_3 n'est pas à sa place; l'erreur ne peut venir en effet du LA_2 qui est une note donnée et donc intouchable! corriger éventuellement ce RÉ_3 et répercuter cette correction sur d'autres intervalles : rectifier éventuellement la place de SOL_2 afin de redonner une justesse parfaite à la quinte SOL_2 RÉ_3; rectifier également s'il y a lieu la tierce $\text{SI}\flat_2$ RÉ_3 en corrigeant le $\text{SI}\flat_2$ et essayer de trouver la raison pour laquelle on avait laissé passer ces fautes dans la partition.

3) *Accord du $\text{RÉ}\sharp_3$*

L'accorder par quinte juste $\text{SOL}\sharp_3$ $\text{RÉ}\sharp_3$. Contrôler la tierce majeure SI_2 $\text{RÉ}\sharp_3$ en la comparant aux tierces majeures précédentes; si elle ne bat pas correctement, c'est que la tierce mineure de la partition $\text{SOL}\sharp_2$ SI_2 ne présentait pas non plus la rapidité voulue.

4) *Accord du MI_3*

L'accorder par quinte juste LA_2 MI_3. Comme le $RÉ_3$, le MI_3 est relié au LA_2 donné par un rapport sur lequel on ne peut guère se tromper. Ici, c'est une quinte juste LA_2 MI_3 dont on peut facilement vérifier la justesse rigoureuse : le MI_3 est donc une note totalement fiable sur laquelle on ne peut pas faire d'erreur. Il peut servir à contrôler la justesse d'autres notes préalablement accordées : si, par exemple, la tierce DO_3 MI_3 est trop lente, cela ne peut venir que du DO_3 placé trop haut et, par suite du FA_2 placé lui-même trop haut : on est donc parti d'une tierce FA_2 LA_2 trop lente au commencement de la partition.

Vérifier également le SI_2 au moyen de la quarte SI_2 MI_3 (1,9). Si la quarte est trop rapide, c'est que le SI_2 était trop bas, et sans doute également le $FA\sharp_2$ à partir duquel il a été accordé dans la partition, lequel $FA\sharp_2$ dépendait lui-même du $SI\flat_2$ et en définitive du FA_2 au départ de la chaîne : ce qui remet en cause une fois de plus le choix de la rapidité de la tierce initiale FA_2 LA_2, toujours elle!!

Accord du FA_3

L'accorder par quinte juste $SI\flat_2$ FA_2. Contrôler la quarte DO_3 FA_3 (2). C'est évidemment le FA_3 qu'il faut rectifier puisque le DO_3 a déjà été contrôlé; revenir ensuite éventuellement à la quinte $SI\flat_2$ FA_3 afin de lui redonner sa justesse en modifiant un peu la position du $SI\flat_2$: cela prouve que la quarte FA_2 $SI\flat_2$ ne présentait pas la rapidité voulue.

Le lecteur pensera peut-être qu'on retrouve ici toutes les difficultés qu'on peut rencontrer dans la partition de l'octave, difficultés qui entraînent de nombreuses corrections en chaîne portant encore sur les 13 notes comprises entre FA_2 et FA_3. Mais avec la partition de la quinte limitée à 8 notes, ces désagréments ne devraient pas exister : ils sont en réalité la conséquence d'une partition de la quinte insuffisamment maîtrisée ou vérifiée; en d'autres termes, ils sont le fait d'un débutant. C'est d'ailleurs à l'intention d'accordeurs s'initiant au TEQJ que nous avons écrit ces lignes pour leur faire mieux comprendre les mécanismes complexes des réactions en chaîne. Dès qu'on aura acquis une maîtrise suffisante pour contrôler parfaitement la partition de la quinte, l'accord des autres notes de l'octave FA_2 FA_3 ne posera plus aucun problème : il suffira de réaliser des quintes justes et de constater la parfaite progression de tous les nouveaux intervalles qui se formeront.

Contrôle général des intervalles de l'octave FA$_2$ FA$_3$

Vérifier la justesse de toutes les quintes et la bonne progression de toutes les tierces majeures et quartes de l'octave ainsi que celles des 4 sixtes majeures :

R FA$_2$ RÉ$_3$ (9) R FA$\sharp_2$ RÉ$\sharp_3$ (9,5) R SOL$_2$ MI$_3$ (10) R LA$\flat_2$ FA$_3$ (10,5)

Toute anomalie dans la progression des rapidités de sixte révélerait des irrégularités dans la progression des quartes ou des tierces majeures puisque toute sixte résulte de la somme d'une quarte et d'une tierce majeure :

$$\text{FA}_2\ \text{RÉ}_3 = \text{FA}_2\ \text{SI}\flat_2 + \text{SI}\flat_2\ \text{RÉ}_3$$

Si les quartes et les tierces ont été bien vérifiées, il ne saurait y avoir de sixtes « malades ».

Partition de la quinte juste FA$_2$ DO$_3$

2^e méthode : partition par ancrage (pour l'accordeur confirmé)

Notre expérience de l'accord selon la GBT et selon le TEQJ nous a montré que les partitions traditionnelles « en chaîne », ont l'inconvénient de reporter les erreurs commises en cours de partition d'une note sur l'autre : aussi lorsqu'une erreur est décelée, faut-il remonter la chaîne à l'envers jusqu'à l'erreur initiale en corrigeant toutes les notes comprises entre la faute décelée et l'erreur initiale : c'est ce qu'on appelle parfois faire une « contre-partition ». La partition de la quinte juste FA$_2$ DO$_3$ que nous avons présentée dans les pages précédentes présente, comme toutes les partitions traditionnelles, cet inconvénient. Certes, il est ici considérablement réduit car les répercussions en chaîne d'une erreur concernent tout au plus 8 notes et non 13 comme dans la partition de l'octave, mais il existe cependant.

Au lieu d'accorder chaque nouvelle note d'après la dernière note accordée, il serait plus logique pour éviter reports et cumuls d'erreurs, d'accorder toutes les notes d'après une seule note repère, le LA$_2$, par exemple, dont le diapason est imposé. Ainsi, lorsqu'on ferait une erreur, celle-ci ne concernerait qu'une seule note et elle ne se transmettrait pas aux autres : dans ces conditions, il serait plus facile de l'isoler et la correction serait également très rapide puisqu'elle ne concernerait qu'une seule note : plus alors de fastidieuse contre-partition.

Malheureusement, il n'est pas toujours possible d'établir des rapports d'intervalles précis et faciles à contrôler entre une note quelconque de la partition et le LA$_2$ car certains intervalles comme, par exemple, le ton, le demi-ton ou la quarte augmentée, ne donnent pas naissance à des battements perceptibles : il est donc impossible d'évaluer ces intervalles avec précision.

Cependant l'expérience de l'accord selon le TEQJ nous a montré qu'il existe quelques notes très faciles à accorder et sur lesquelles il est presque impossible de commettre une erreur parce qu'elles forment avec le LA$_2$ un intervalle très facile à contrôler avec précision : c'est le cas du MI$_3$ relié au LA$_2$ par une quinte juste et également du RÉ$_3$ relié à ce LA$_2$ par une quarte aux battements très lents. Ces notes sont très précieuses car elles nous permettent d'accorder avec sûreté certaines notes qu'on ne peut pas relier au LA$_2$ par un intervalle facile à évaluer. Aussi avons-nous considéré ces notes très sûres comme des points d'ancrage. Nous conseillons donc de commencer par accorder ces points d'ancrage et d'accorder ensuite les autres notes de la partition, soit en les reliant directement au LA$_2$ chaque fois que c'est possible, soit en les accordant d'après MI$_3$ ou RÉ$_3$. Cette partition est extrêmement rapide et sûre; mais elle suppose qu'on ait déjà bien « dans l'oreille » les rapidités des intervalles de la partition du TEQJ; c'est pourquoi nous conseillons de commencer par l'étude de la partition précédente afin de se familiariser avec les progressions de rapidités des divers intervalles.

Accord des points d'ancrage LA$_2$*, MI*$_3$ *et RÉ*$_3$

– Accord du LA$_2$ d'après le LA$_3$ du diapason.
– Accord du MI$_3$ par quinte juste. Contrôle rigoureux de la justesse.
– Accord du RÉ$_3$ par quarte LA$_2$ RÉ$_3$ 1,7.

Détermination du cadre de la partition FA$_2$ *DO*$_3$

Dans toutes les opérations qui suivront, nous mettrons en italique les notes, points d'ancrage.
1) *Accord du FA*$_2$: par tierce descendante à partir du LA$_2$: *LA*$_2$ FA$_2$ (7,5),
2) *Accord du DO*$_3$ *:* par quinte juste FA^2 DO^3; contrôle de la quinte.

Contrôle de la tierce DO$_3$ *MI*$_3$ (11) qu'on doit bien avoir « dans l'oreille ». L'accord de FA$_2$, DO$_3$ ainsi que l'accord du FA$\sharp_2$ qui va suivre sont les seules opérations qui peuvent entraîner des retouches si on n'a pas bien « dans l'oreille » les tierces majeures FA$_2$ LA$_2$, DO$_3$ MI$_3$ ainsi que la tierce mineure FA$\sharp_2$ LA$_2$.

Accord des autres notes de la partition

3) *Accord du FA*$\sharp_2$: par tierce mineure d'après le *LA*$_2$ *:* FA$\sharp_2$ *LA*$_2$ (9,5).
4) *Accord du SI*$_2$ *:* par quarte descendante d'après *MI*$_3$ *:* SI$_2$ *MI*$_3$ (1,9).

Remarquer que le SI$_2$ partage l'espace FA$\sharp_2$ MI$_3$ en deux quartes complémentaires : FA♯ SI (1,4) et SI *MI* (1,9). Si FA♯ SI bat trop ou pas assez, l'erreur ne peut venir que de la position du FA♯ : la rectifier en recontrôlant la tierce mineure FA♯$_2$ *LA*$_2$ (9,5). Le FA♯ ainsi vérifié directement à partir du *LA*$_2$ et indirectement à partir du *MI*$_3$, occupe maintenant sa place définitive.

5) *Accord du SI♭*$_2$: l'accorder à la fois d'après la FA♯$_2$ et le *RÉ*$_3$ puisqu'il doit partager l'espace FA♯$_2$ *RÉ*$_3$ en 2 tierces progressives :

FA♯$_2$ LA♯$_2$ (8) et SI♭$_2$ *RÉ*$_3$ (9,5)

Contrôler également en même temps qu'on effectue ce partage la quarte FA$_2$ SI♭$_2$ (1,3); c'est à ce moment qu'il peut y avoir lieu de modifier éventuellement la position du FA$_2$ et par suite du DO$_3$.

6) *Accord du SOL*$_2$: par quinte juste descendante à partir du *RÉ*$_3$. Vérifier SOL$_2$ SI$_2$ et la comparer aux 2 tierces majeures déjà obtenues :

R FA$_2$ LA$_2$ (7,5)   R FA♯$_2$ LA♯$_2$ (8)   R SOL$_2$ SI$_2$ (8,5)

Si SOL$_2$ SI$_2$ est trop lente ou trop rapide, revérifier SOL$_2$ d'après *RÉ*$_3$ et SI$_2$ d'après *MI*$_3$

7) *Accord du LA♭*$_2$

La seule note qu'on ne puisse relier facilement ni à LA$_2$, ni à MI$_3$, ni à RÉ$_3$! Mais toutes les autres notes étant maintenant bien en place, elle est facile à placer.

Il n'y a plus de preuve, ni de contre-partition puisque tout a été contrôlé à partir des points d'ancrage. Poursuivre ensuite l'accord des autres notes vers l'aigu dans l'ordre chromatique : DO♯$_3$, RÉ$_3$, RÉ♯$_3$, etc. par quintes justes à partir des notes de la partition. Arrivé à FA$_3$, procéder à un contrôle général des tierces majeures, quartes, quintes et sixtes majeures de l'octave FA$_2$ FA$_3$. Si un intervalle a « bougé » et ne présente pas la rapidité voulue, relier successivement chacune de ses deux notes à l'un des trois points d'ancrage de façon à savoir laquelle des deux notes de cet intervalle, n'occupe pas ou n'occupe plus sa place exacte. Cette partition étant très sûre, il ne peut s'agir que de fautes minimes.

Comment se passer de partition...

Lorsqu'on pratique depuis un certain temps la « partition à ancrage » décrite ci-dessus, on parvient bientôt à un stade où il devient possible de se passer de toute méthode ou procédure imposant un certain ordre dans l'accord des notes initiales : on peut alors en partant seulement de 2 notes, le LA$_2$ qui est donné et le MI$_3$ accordé par quinte juste, accorder toutes les autres notes dans l'ordre chromatique où elles se présentent à partir de FA$_2$; on les rattache alors toutes à LA$_2$ ou à MI$_3$, le FA$_2$ devenant en l'occurrence le 3^e point d'ancrage, ce qui suppose évidemment une parfaite appréciation de la rapidité de la tierce FA$_2$ LA$_2$.

A titre d'exemple, prenons les notes dans l'ordre chromatique où elles se présentent et montrons à quel point d'ancrage nous les rattachons et quels rapides contrôles nous effectuons en cours de route :

Notes à accorder	*Intervalle utilisé* (point d'ancrage en italique)
FA$_2$	FA$_2$ *LA*$_2$
FA$\sharp_2$	FA$\sharp_2$ *LA*$_2$
SOL$_2$	SOL$_2$ *MI*$_3$
SOL$\sharp_2$ (LA$\flat_2$)	*FA*$_2$LA$\flat_2$
LA$_2$	note donnée
SI$\flat_2$ (LA$\sharp_2$)	*FA*$_2$ SI$\flat_2$ contrôle de FA$\sharp_2$ LA$\sharp_2$ et SOL$_2$ SI$\flat_2$
SI$_2$	SI$_2$ *MI*$_3$ contrôle de FA$\sharp_2$ SI$_2$ et SOL$_2$ SI$_2$
DO$_3$	*FA*$_2$ DO$_3$ contrôle de DO$_3$ *MI*$_3$
DO$\sharp_3$	*LA*$_2$ DO$\sharp_3$ contrôle de FA$\sharp_2$ DO$\sharp_3$
RÉ$_3$	*LA*$_2$ RÉ$_3$ contrôle de SI$\flat_2$ RÉ$_3$, SOL$_2$ RÉ$_3$, FA$_2$ RÉ$_3$
RÉ$\sharp_3$	SI$_2$ RÉ$\sharp_3$ contrôle de SOL$\sharp_2$ RÉ$\sharp_3$ et FA$\sharp_2$ RÉ$\sharp_3$
MI$_3$	*LA*$_2$ *MI*$_3$ accordé au départ
FA$_3$	DO$_3$ FA$_3$ contrôle de SI$\flat_2$ FA$_3$ et RÉ$\flat_3$ FA$_3$

C'est à dessein que nous n'indiquons plus après chaque intervalle sa rapidité; à ce stade, on doit avoir toutes ces rapidités « dans l'oreille » et être capable de les apprécier dans l'absolu sans avoir besoin de les comparer entre elles. Lorsqu'on atteint cette maîtrise, on peut d'ailleurs accorder les notes dans n'importe quel ordre, mais l'ordre chromatique est alors le plus naturel.

Ces déclarations peuvent paraître un peu intempestives en ce sens qu'en accordant les notes dans l'ordre chromatique ou dans n'importe quel ordre, on risque d'obtenir un accord moins précis qu'en utilisant la « partition par ancrage » décrite à la page 113. Mais il est quand même très utile de savoir procéder ainsi : en prenant les notes dans l'ordre chromatique, on peut accorder très vite lorsque, pour une raison quelconque, on doit accorder « contre la montre ». Par ailleurs en sachant accorder les notes dans n'importe quel ordre, on apprend à se servir de tous les intervalles possibles et cela peut rendre service dans certains cas : tous les accordeurs savent en effet qu'il existe des pianos où on entend très mal certains intervalles parce que certaines cordes présentent, par exemple, de fausses vibrations; il y aussi des pianos où « on n'entend pas les quartes », c'est-à-dire où il est très difficile d'apprécier les rapidités des quartes. Il vaut mieux alors ne pas trop être astreint à une procédure déterminée pour faire la partition. On peut ainsi s'appuyer sur les intervalles « qu'on entend bien ».

Seule une parfaite maîtrise de l'accord et une parfaite connaissance de toutes les rapidités permet de parvenir à cette souplesse et à cette liberté dans la réalisation de la partition.

Accord des autres notes de l'instrument

Le principe en est simple : il se fait par quintes justes à partir des notes de l'octave du médium FA$_2$ FA$_3$ dont l'accord a fait l'objet d'un contrôle rigoureux. Cependant, dès qu'une note à accorder se trouve à plus d'une quinte d'une des notes de l'octave FA$_2$ FA$_3$, nous en contrôlons également la justesse en établissant entre cette note et l'une des notes de l'octave FA$_2$ FA$_3$ un *rapport direct* et particulièrement facile à évaluer : nous utilisons la plupart du temps pour cela les intervalles de 10^e ou de 17^e qui donnent des battements nets et relativement intenses; nous étendons donc ainsi à l'accord tout entier le principe que nous avions mis en application dans la « partition à ancrage » afin d'éviter les erreurs qui peuvent se reporter « en chaîne » d'une note sur l'autre. Supposons, en effet que nous voulions accorder une note comme RÉ$_5$ et que nous l'accordions seulement à partir de SOL$_4$ par quinte juste : si nous avons commis une erreur sur SOL$_4$, celle-ci va automatiquement se reporter sur RÉ$_5$ (même si nous accordons la quinte SOL$_4$ RÉ$_5$ parfaitement juste) puis ensuite sur LA$_5$, etc. Ainsi, en multipliant les relais entre la note à accorder et la partition, nous multiplions également les risques d'erreurs. Au contraire, en reliant directement le RÉ$_5$ à une ou plusieurs notes de l'octave de référence FA$_2$ FA$_3$, nous diminuons le risque et si, malgré tout, nous faisons une erreur, celle-ci ne concernera alors qu'une seule note : elle sera donc isolée et par là même plus facilement décelable au milieu d'autres notes correctement accordées.

Nous contrôlons également rapidement toutes les octaves en les écoutant au passage, mais sans chercher – dans le grave du moins – à en évaluer ou à en régler les rapidités : c'est en effet impossible dans ce registre car l'agrandissement des octaves est difficilement perceptible, les battements étant trop lents et manquant de netteté; leur rapidité passe, en effet de 0,6 pour l'octave MI$_2$ MI$_3$ à 0,2 pour RÉ$\flat_1$ RÉ$\flat_2$. En dessous de RÉ$\flat_1$ RÉ$\flat_2$ (0,2) et jusqu'à la première octave du piano LA$_{-1}$ LA$_0$ (0,1), l'agrandissement des octaves devient tout à fait imperceptible. Dans ce registre grave, le rôle de l'accordeur se borne donc à veiller à ce qu'aucune octave n'émette de battements intempestifs (plus de 1 battement à la seconde, par exemple). S'il s'en présentait cependant :

– ou bien certaines quintes auraient été accordées trop grandes : on sait en effet, qu'une quinte un peu agrandie sonne juste; il resterait alors à vérifier la justesse rigoureuse de certaines quintes et à ralentir un peu la rapidité de certaines 10^e ou 17^e qui, dans ce cas, doivent battre trop vite,

– ou bien le piano qu'on accorde possède dans ce registre de mauvaises cordes basses : des cordes trop courtes et de ce fait inharmoniques, par exemple; nous avons déjà vu que, dans de tels cas, il était pratiquement impossible de réaliser un bon unisson entre deux cordes filées; il en va de même pour les autres intervalles qu'il est alors impossible d'accorder correctement : ainsi, il n'est pas du tout certain qu'on parvienne, en raccourcissant les octaves à éliminer leurs battements. Si, par hasard on y parvient, ce sont alors les quintes qui seront faussées tandis que les 10ᵉ et les 17ᵉ ne battront presque plus : il y aura alors des ruptures dommageables dans la décroissance progressive des rapidités de ces intervalles : il faut dans ce cas chercher le compromis le plus acceptable sans passer toutefois plus de temps qu'il ne faut sur un tel instrument!

Les octaves ne doivent commencer à battre de façon nettement perceptible que vers l'aigu à partir de DO_3 DO_4 (1); les battements deviennent même assez rapides à la hauteur de DO_5 DO_6 (4) pour atteindre, en principe, 8 sur la dernière octave du piano DO_6 DO_7. Mais un tel agrandissement est alors nécessaire à la justesse comme l'attestent de nombreux témoignages de musiciens, de compositeurs et d'acousticiens (voir p. 149). On peut même affirmer qu'au-dessus de DO_6, l'agrandissement des octaves entraîné par l'application stricte du TEQJ est inférieur à ce que souhaite en général l'oreille et que, par conséquent, les octaves plus aiguës que DO_5 DO_6 (4) doivent être davantage « forcées » vers l'aigu.

Si, comme nous venons de l'expliquer, nous nous contentons de contrôler les octaves, sans les utiliser vraiment pour accorder, il n'en va pas de même des 15ᵉ ou doubles octaves dont les battements plus rapides et plus nets nous permettent d'accorder certaines notes aiguës avec une extrême précision, comme nous le verrons.

Il va de soi que pendant tout l'accord du piano, nous conservons le coin multiple apposé sur les 13 notes de l'octave FA_2 FA_3 afin que chacune de ces notes ne soit émise que par une seule corde : la première. En faisant, en effet, immédiatement les unissons des notes de cette octave avant d'accorder le reste de l'instrument, nous risquerions de réaliser un accord beaucoup moins précis. Si parfait que soit un unisson, les trois cordes d'une même note vibrant ensemble ne donnent jamais un son aussi pur qu'une seule corde : les contrôles que nous ferions alors en reliant chaque nouvelle note accordée à une note de la partition seraient donc moins rigoureux dans la mesure où l'évaluation des rapidités de battements deviendrait moins précise. Par ailleurs, il n'est pas rare sur certains pianos que des cordes présentent ce qu'on appelle de « fausses vibrations »[1]; en faisant les unissons de la partition, on multiplie par trois le risque de rencontrer ce genre de désagrément.

---

[1] On dit qu'une corde présente de « fausses vibrations » lorsque la hauteur et l'intensité du son qu'elle produit semblent fluctuer périodiquement; on a alors l'impression que la corde émet des battements à elle toute seule. Un tel phénomène est très gênant pour l'accordeur car il trouble la netteté des battements véritables et ne permet plus d'en apprécier facilement la rapidité.

Chaque fois que c'est possible, il vaut donc mieux accorder un intervalle en ne mettant pas en jeu plus de deux cordes, chacune d'elle émettant l'une des notes de cet intervalle.

Il arrive aussi, lorsqu'on aborde l'accord d'une note, que la corde de gauche de cette note qui est généralement la première qu'on accorde, présente précisément des « fausses vibrations »; dans ce cas, il vaut mieux commencer par accorder la troisième corde et terminer par la corde défectueuse en essayant, dans la mesure du possible, de masquer par l'unisson des deux autres, les défectuosités de la première.

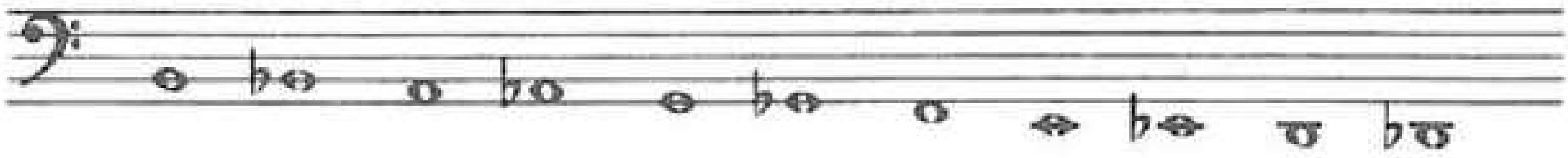
Accord des notes graves

Accorder ces notes à partir de FA$_2$ en descendant de demi-ton en demi-ton : MI$_2$, MI♭$_2$, RÉ$_2$, etc.

Accord des notes allant de MI$_2$ à SI♭$_1$

Les accorder ainsi que nous l'avons expliqué p. 96.

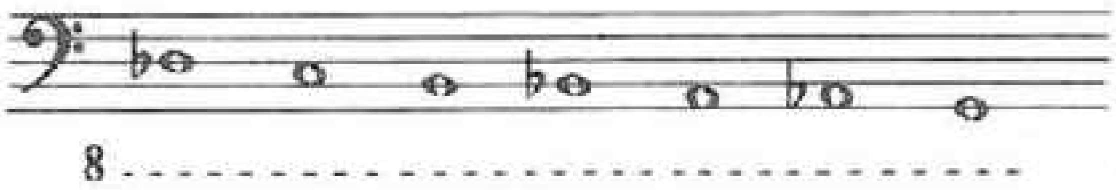
Accord des notes allant de SI♭$_1$ à RÉ♭$_1$



Accorder ces notes par quinte juste descendante à partir d'une note plus aiguë déjà accordée et faire un contrôle en établissant un rapport de 10^e majeure entre la note accordée et une note de l'octave FA$_2$ FA$_3$. Revoir à cet effet l'accord des intervalles de 10^e majeure, p. 91.

La décroissance des rapidités des 10^e majeures doit se faire très progressivement : celles-ci passent de 6 bat./sec. pour la 10^e SI♭$_1$ RÉ$_3$ à 3,5 (un peu plus de 3) pour la 10^e RÉ♭$_1$ FA$_2$ en passant par les rapidités caractéristiques suivantes : 5 pour SOL$_1$ SI$_2$ et 4 pour MI♭$_1$ SOL$_2$. Contrôler également pour chaque note l'octave qui a pour note grave la note qu'on vient d'accorder.

Accord des notes allant de RÉ♭$_1$ à SOL$_0$

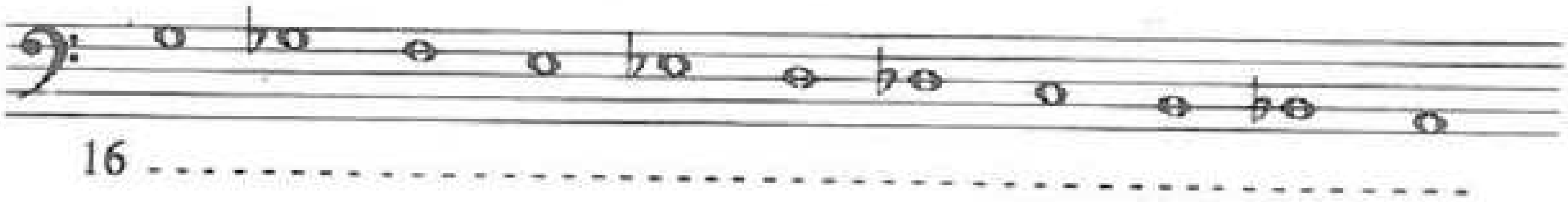


Accorder ces notes par quinte ou octave descendante à partir d'une note plus aiguë déjà accordée sans chercher dans ce registre déjà grave à contrôler la justesse de la quinte au moyen des deux tierces isochromes qu'elle contient; ce contrôle commence en effet à manquer de rigueur en raison d'un manque de netteté des battements de tierce dans ce registre et également d'une possibilité de distorsion des rapidités des intervalles graves sur certains pianos aux cordes graves trop courtes et inharmoniques.

Contrôler la note à accorder par 17^{e} majeure à partir d'une note de l'octave FA$_2$ FA$_3$. Les 17^{e} majeures graves aux battements nets et puissants vont ainsi nous permettre d'accorder avec une très grande sûreté les notes graves en les reliant directement à des notes du médium (revoir l'accord des 17^{e} majeures p. 87).

Veiller à ce que les rapidités des 17^{e} majeures décroissent très progressivement de 4,3 bat./sec. (un peu plus de 4) pour la 17^{e} RÉ♭$_1$ FA$_3$ à 3 pour SOL$_0$ SI$_2$ en passant très exactement par 4 pour DO$_1$ MI$_3$. Contrôler comme ci-dessus les octaves.

Accord des notes allant de SOL$_0$ à LA$_{-1}$



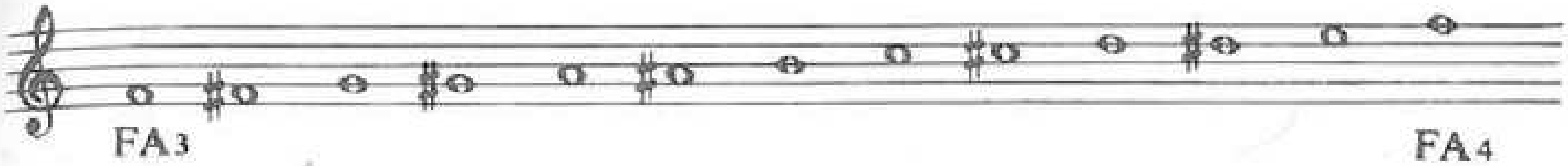
Accorder ces notes par octaves descendantes. Le contrôle par 17^{e} majeure devient moins précis en raison de la lenteur dans ce registre des rapidités de 17^{e}. Sur les pianos possédant dans l'extrême grave d'excellentes cordes, il est alors possible de continuer à accorder avec beaucoup de sûreté jusqu'aux notes les plus graves en utilisant les battements relativement puissants des 24^{e} majeures (tierces majeures trois fois redoublées). Une 24^{e} majeure présente, en effet, la même rapidité que la 17^{e} majeure dont la base se trouve une octave au-dessus de celle de la 24^{e} : les deux intervalles ont donc la note aiguë en commun. Prenons, par exemple, la 17^{e} SOL$_0$ SI$_2$ qui bat à 3 à la seconde et écoutons la 24^{e} SOL$_0$ SI$_3$: nous constatons alors qu'elle bat à 6, soit à la même rapidité que la 17^{e} SOL$_1$ SI$_3$. Pour accorder une note comme le FA♯$_0$, le mieux sera donc de commencer à écouter la 17^{e} FA♯$_1$ LA♯$_3$ et de faire en sorte que la 24^{e} FA♯$_0$ LA♯$_3$ batte exactement à la même rapidité. Procéder ainsi jusqu'à l'extrémité du clavier, c'est-à-dire jusqu'à LA$_{-1}$. La rapidité des 24^{e} passera de 6 bat./sec. pour SOL$_0$ SI$_3$ à 3,5 pour LA$_{-1}$ DO♯$_3$ en passant par 5 pour MI$_0$ SOL♯$_3$ et 4 pour DO$_0$ MI$_3$.

La plupart des pianos, à l'exception bien sûr des grands pianos de concert, sont loin de permettre ces raffinements; certains présentent même des cordes graves si inharmoniques (et si inharmonieuses!) qu'il est bien difficile d'attribuer aux sons qu'elles émettent une hauteur précise! Dans de tels cas, il est impossible de parvenir dans l'extrême grave à un accord satisfaisant : il faut, comme nous l'avons dit plus haut, rechercher les compromis les plus acceptables et jouer des gammes chromatiques descendantes afin de sauvegarder dans la mesure du possible l'égalité apparente des demi-tons.

Accord des notes aiguës

Il se fait en montant à partir du FA$_3$ de demi-ton en demi-ton : on accorde successivement : FA♯$_3$, SOL$_3$, SOL♯$_3$, etc.

Accord des notes allant de FA$_3$ à FA$_4$



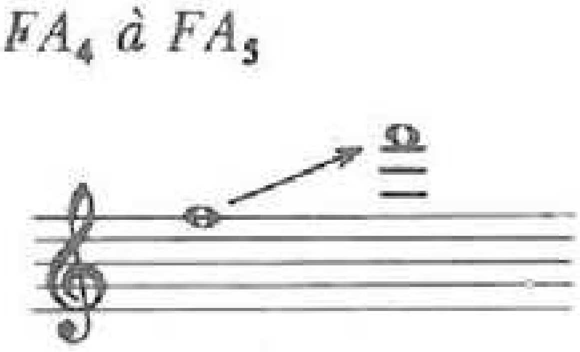
Accorder ces notes par quintes justes à partir des notes de la partition en contrôlant les octaves qui ont pour notes aiguës les notes qu'on vient d'accorder. Si une octave bat trop, recontrôler la justesse de la quinte par sixte majeure et 10^e majeure isochrones comme nous l'avons expliqué page 94 ; si la quinte n'est pas trop grande, c'est que la quarte complémentaire dans le cadre de l'octave bat trop. Prenons un exemple : on vient d'accorder le SOL$_3$ par quinte juste ascendante DO$_3$ SOL$_3$ et on écoute ensuite l'octave SOL$_2$ SOL$_3$ qui bat trop (à 1 fois ou plus par seconde, par exemple); cela provient, soit de la quinte DO$_3$ SOL$_3$ qui est trop grande – la vérifier alors au moyen de la sixte MI♭$_2$ DO$_3$ et de la 10^e MI♭$_2$ SOL$_3$ qui doivent présenter la même rapidité – soit de la quarte SOL$_2$ DO$_3$ de la partition qui bat trop, erreur qu'on aurait dû corriger avant de passer à l'accord des autres notes ! (Rappelons que SOL$_2$ DO$_3$ doit battre à 1,5.)

A partir de LA$_3$ nous disposons d'un rapport de 10^e majeure entre la note à accorder et une note de la partition. Il importe donc de contrôler toutes les 10^e et de veiller à la bonne progression de leurs rapidités successives qui, si les quintes sont justes, doivent être les mêmes que celles des sixtes de l'octave FA$_2$ FA$_3$ ayant la même note de basse ; ainsi on doit avoir :

$$\underset{10^e}{\text{R FA}_2\ \text{LA}_3} = \underset{\text{sixte}}{\text{R FA}_2\ \text{RÉ}_3} = 9$$

Si les 10^e n'étaient pas bien progressives, cela prouverait ou bien que les quintes n'ont pas été accordées rigoureusement justes, ou bien que les sixtes de l'octave FA$_2$ FA$_3$ n'étaient pas elles-mêmes progressives, ce qu'on aurait pas dû laisser passer !

Accord des notes allant de FA$_4$ à FA$_5$



Continuer à accorder par quintes justes à partir d'une note plus grave préalablement accordée; pour le contrôle, nous disposons à partir de FA$_4$ d'un rapport extrêmement précis entre la note à accorder et une note de la partition : la 15e ou double octave. Les 15e donnent en effet des battements peu intenses mais très nets et faciles à évaluer à un moment où les 10e majeures commencent à devenir trop rapides :

. R RÉ$\flat_3$ FA$_4$ = 14,5 alors que R FA$_2$ FA$_4$ = 2,7 (un peu moins de 3)

Ces battements de double octave sont très facilement audibles de FA$_2$ FA$_4$ (2,7) à DO$_3$ DO$_5$ (4); ensuite, ils perdent en intensité et sont quelquefois assez difficiles à percevoir. Cependant sur certains pianos, on les entend bien jusqu'à FA$_3$ FA$_5$ qui doit battre à 5,5. On passe donc par les rapidités caractéristiques suivantes : 3 sur SOL$_2$ SOL$_4$, 4 sur DO$_3$ DO$_5$ et 5 sur MI$_3$ MI$_5$.

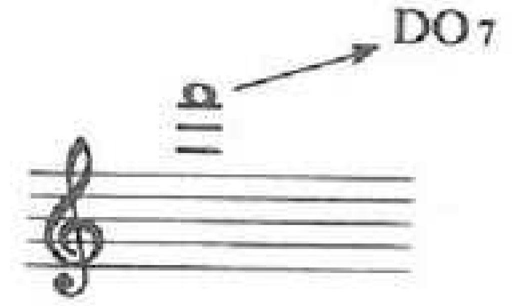
A partir de LA$_4$, nous disposons également d'une relation de 17e majeure avec les notes de l'octave FA$_2$ FA$_3$, intervalle dont la rapidité est très facile à percevoir et qui joue, comme nous l'avons dit, un rôle de premier plan dans la sonorité des pianos :

R FA$_2$ LA$_4$ = 11

Inutile d'essayer d'entendre exactement 11 battements à la seconde mais veiller par contre à la progression régulière des rapidités de ces 17e majeures.

Les 17e vont donc nous permettre au même titre que les 15e de contrôler parfaitement l'aigu en le mettant directement en rapport avec le médium.

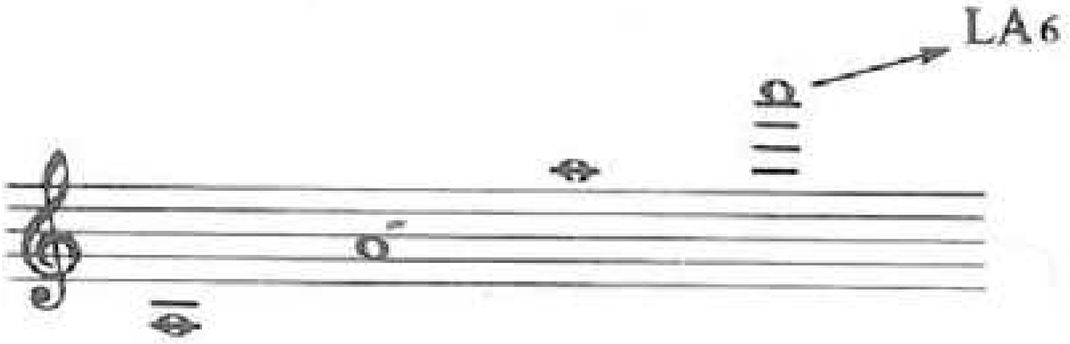
Accord des notes allant de FA$_5$ à DO$_7$



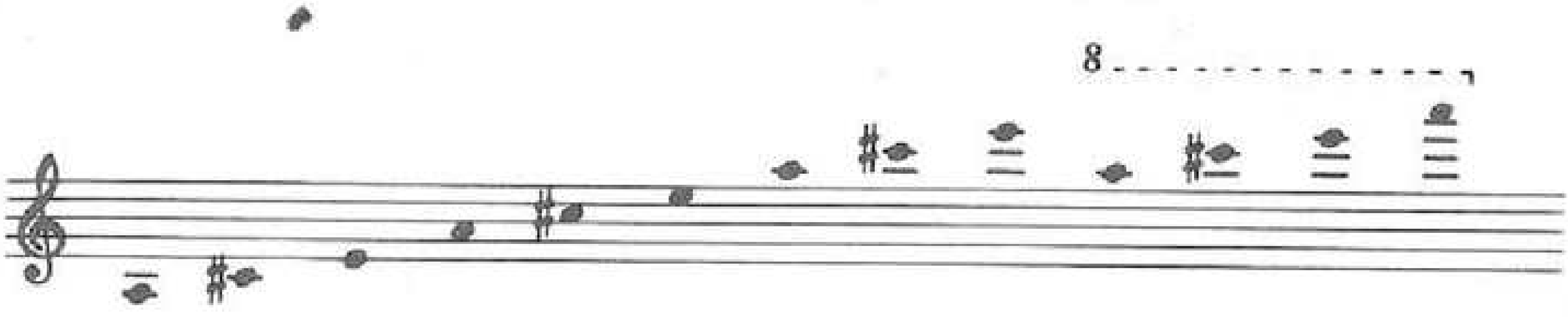
Accorder ces notes par quintes et octaves ascendantes en utilisant comme contrôle les 17e majeures; à cette hauteur, on n'entend plus les battements de 15e (double octave) et les battements de 17e sont devenus trop rapides : cependant si les 17e présentent la rapidité voulu, elles donnent aux notes aiguës une stridence ou une brillance très caractéristique qui, lorsqu'elle fait défaut, révèle des 17e trop courtes et donc trop lentes.

Dans la dernière octave DO$_6$ DO$_7$, les battements ne sont plus évaluables ni même audibles car ils sont trop rapides et trop peu intenses. Par ailleurs, on constate un phénomène curieux : au fur et à mesure qu'on monte vers l'aigu, les notes ne paraissent jamais assez hautes en jeu arpégé. (Ceci est dû à ce que les notes les plus aiguës du piano sont brèves, peu intenses et pauvres en harmoniques aigus.) Mais cette exigence d'oreille est telle que, si on y répond totalement, les octaves plaquées deviennent trop dissonantes. A partir de DO_6, nous conseillons donc de trouver une sorte de compromis entre les octaves mélodiques et les octaves harmoniques : pour accorder le LA_6, par exemple, nous l'accordons d'abord par quinte juste d'après le $RÉ_6$, puis nous écoutons l'octave LA_5 LA_6 en la plaquant : nous l'agrandissons alors de façon à la « corser » jusqu'à la limite de la dissonance comme le font les violonistes jouant des octaves en doubles cordes dans l'aigu. Puis nous jouons en arpège rapide et à la suite l'une de l'autre les notes :

LA_2 LA_3 LA_4 LA_5 LA_6



ou encore très rapidement, un accord parfait arpégé comme :



en écoutant comment sonne au bout de l'arpège le LA_6; s'il paraît encore bas, on peut essayer de le remonter un peu, tout en testant à nouveau l'octave plaquée LA_5 LA_6 afin qu'elle ne devienne pas trop agressive. Comparer alors cette octave avec les octaves précédentes en les plaquant successivement. Pour parvenir à contrôler à peu près l'extrême aigu, il faut une très longue habitude de l'accord : il faut multiplier les contrôles mélodiques par arpèges, et les contrôles harmoniques par octaves plaquées. Avoir un minimum de technique pianistique est alors hautement souhaitable. Afin que l'agrandissement des demi-tons dans l'extrême aigu soit bien progressif, nous conseillons de multiplier également les gammes et fragments chromatiques ascendants et descendants qui feront ressortir toute inégalité trop accusée entre les demi-tons successifs.

Contrôle général du grave à l'aigu

Jouer toutes les notes chromatiquement du grave à l'aigu pour contrôler les unissons.

Contrôler la progression des rapidités des 10^e^ et 17^e^ majeures en jouant du grave à l'aigu toutes les 10e majeures puis toutes les 17e majeures.

Contrôler la justesse de toutes les quintes en les jouant les unes après les autres du grave à l'aigu.

Contrôler enfin toutes les octaves dont les battements ne doivent devenir nettement perceptibles qu'à partir de DO_3 DO_5 (1) et s'accuser de plus en plus au fur et à mesure qu'on monte vers l'aigu.

2e PARTIE

QU'EST-CE QUE LA JUSTESSE?

Qu'est-ce que la justesse, ce sentiment qu'une note est ou n'est pas juste à la hauteur où on l'attendait?

Tout écart est immédiatement perçu par une comparaison involontaire et instantanée entre la hauteur de la note réellement entendue et celle de la note juste qui, bien que non formulée, est présente à notre esprit. Il en résulte que les notes et les intervalles faux nous apparaissent comme des notes ou des intervalles déformés, mal venus, contre nature, bref comme des sortes de caricatures des notes et des intervalles justes; ils engendrent en effet chez l'auditeur une impression de gêne, d'insatisfaction qui peut aller jusqu'au malaise si l'écart est trop important[1].

Les intervalles et les notes justes nous paraissent au contraire exacts, vrais, authentiques : ils semblent s'inscrire tout naturellement dans une échelle sonore immuable et préétablie. A ce caractère d'évidence, de naturel, mais aussi d'ordonnance et d'exactitude qui s'attache à l'appréciation de la justesse (et qu'implique le mot même de justesse) devrait, semble-t-il, correspondre une explication simple assignant à chaque intervalle un rapport précis et unique et à chaque note, une fois le diapason choisi, une hauteur précise et une fréquence déterminée.

Tel n'est pas le cas, et le lecteur qui chercherait une telle explication dans les encyclopédies ou théories musicales, ou encore dans les

---

[1] Chose curieuse et constatée par de nombreux musicologues et ethno-musicologues, la même impression est ressentie lorsque les écarts proviennent non pas de la maladresse de l'exécutant ou de l'accordeur, mais de l'utilisation d'intervalles inusités ou exotiques, tiers ou quart de tons, par exemple, ou encore intervalles résultant d'une division inhabituelle de l'octave (en 7 ou en 10 parties égales au lieu des 12 parties traditionnelles, par exemple). Dans ce cas, les notes et intervalles entendus ne nous paraissent pas tellement nouveaux ou inédits que faux; nous continuons en effet à les percevoir comme des déformations des notes et intervalles habituels les plus voisins tout au moins dans le cas où la musique entendue conserve des références tonales, comme c'est le cas dans les musiques exotiques.

ouvrages d'acoustique, aurait la surprise d'en trouver plusieurs qui, ne s'inspirant pas des mêmes principes, n'aboutissent pas à la même définition des rapports d'intervalles et parviennent donc à des échelles sensiblement différentes : les écarts constatés sont en effet de l'ordre du comma (1/9ᵉ de ton environ), ce qui est largement supérieur au pouvoir discriminateur de l'oreille dans le domaine des hauteurs[1].

Pour les physiciens, la justesse est un phénomène purement physique; les intervalles justes ne sont autres que ceux qui nous sont donnés par la résonance naturelle et conformément à ses lois : ce sont donc les intervalles naturels (voir « Acoustiques des hauteurs », p. 178). Dès lors la gamme juste ne saurait être que la gamme « naturelle » ou gamme de Zarlin définie par le musicien et théoricien Gioseffo Zarlino à la fin du XVIᵉ siècle (voir p. 249).

A cette conception se sont toujours opposés les partisans de la gamme de Pythagore, qui, s'appuyant sur une tradition remontant au célèbre philosophe et mathématicien grec, soutiennent que les seules notes justes sont celles qui nous sont fournies par un cycle de quintes naturelles (voir p. 238).

Nous voilà donc déjà en présence de deux gammes construites à partir d'intervalles fournis par la résonance naturelle et pourtant très sensiblement différentes.

La querelle des zarliniens et des pythagoriciens est bien connue : elle se poursuit depuis plus de trois siècles et a connu (et connaît toujours d'ailleurs) de multiples rebondissements. La thèse zarlinienne a séduit tous les grands mathématiciens et physiciens de Huyghens à Helmholtz en passant par Lagrange et Euler. Elle a semblé confirmée avec éclat par Helmholtz à la fin du XIXᵉ siècle à la suite de ses nombreuses expériences sur la résonance. En France, l'acousticien Bouasse et le physicien Jean Becquerel confirmèrent les conclusions du grand savant allemand : la gamme de Pythagore parut alors reléguée au magasin des accessoires comme une gamme archaïque ne présentant qu'un intérêt purement théorique.

Depuis lors, des chercheurs non moins sérieux comme Cornu et Mercadier, de 1869 à 1872 et, plus récemment, les savants américains Small et Greene (1937) et les belges Van Esbroeck et Monfort (1946) ont paru très largement réhabiliter la gamme de Pythagore. Ils ont été suivis par des musiciens tels que Paul Bazelaire, R. Dussaut et E. Ansermet. La notion de justesse expressive telle qu'elle a été définie pour la première fois par Paul Bazelaire, puis reprise par J. Chailley et H. Challan dans leur *Théorie de la Musique* (Édition Leduc – Paris) n'est autre qu'un plaidoyer en faveur du rétablissement d'une justesse pythagoricienne à l'orchestre, chaque fois que cela s'avère possible, ceci afin de

---

[1] Ce pouvoir discriminateur est, rappelons-le, de l'ordre du savart, soit 1/50ᵉ de ton en justesse mélodique, c'est-à-dire lorsque 2 sons sont entendus l'un après l'autre, et nettement inférieur au savart en justesse harmonique, c'est-à-dire lorsque 2 sons sont perçus simultanément : il peut alors atteindre le cent, soit 1/200ᵉ de ton.

combattre les effets jugés néfastes de la prépondérance de l'éducation bien tempérée dispensée dans les Conservatoires (où l'on utilise presque exclusivement des pianos ou des harmoniums dans les cours de solfège, de dictée musicale et d'harmonie).

Ces prises de position en faveur de la gamme de Pythagore n'empêchent nullement la théorie de Zarlin d'être toujours en bonne place dans les encyclopédies musicales ainsi que dans la plupart des théories musicales diffusées dans les Conservatoires, où la gamme est « justifiée » à partir de trois accords parfaits dits « générateurs » construits sur les notes tonales conformément à cette théorie.

Cependant de nombreux musicologues semblent maintenant admettre implicitement – quand ils ne le déclarent pas explicitement – que la gamme bien tempérée, inventée à l'origine à l'usage des seuls instruments à clavier pour leur permettre d'aborder toutes les tonalités avec seulement 12 notes par octave, est devenue en fait la seule gamme de référence, celle dans laquelle serait conçue sinon jouée toute musique, qu'elle soit destinée au clavier ou à l'orchestre : c'est la généralisation de l'accord bien tempéré sur les claviers et la place de plus en plus prépondérante prise par un instrument à clavier comme le piano dans la vie et dans l'éducation musicale qui seraient responsables de cette évolution; sans toujours nier le rôle initial de la résonance qui est à la source des conceptions pythagoriciennes et zarliniennes, ces musicologues laissent entendre que la conception de la justesse n'a cessé d'évoluer en fonction des transformations successives du langage musical et que, par conséquent, la gamme serait tout autant – et peut-être même davantage – un fait de culture qu'un fait de nature. Dans cette perspective et à quelques nuances près, on considère généralement que la justesse aurait été pythagoricienne au temps de la monodie et des débuts de la polyphonie jusqu'au XIVe siècle environ (polyphonie contrapunctique), puis le sentiment de la justesse se serait transformé et serait devenu zarlinien avec l'apparition de la consonance de tierce et la prise de conscience de la dimension verticale de la musique (naissance de la notion d'accord, de l'accord parfait, du style harmonique et de la mélodie accompagnée, du XVIe au début du XVIIIe siècle environ). Cette conception à dominante zarlinienne aurait prévalu jusqu'à J.-S. Bach et l'apparition des « gammes bien tempérées » sur les claviers, préludant à l'adoption généralisée du tempérament égal, qui coïncide avec l'apparition et le développement du piano-forte. Ce tempérament égal, désormais appelé lui-même gamme bien tempérée ou même gamme tempérée, en réduisant le nombre des notes réellement utilisées à 12 par confusion des notes enharmoniques, aurait, à son tour, modifié la façon d'entendre et donc de concevoir la musique en permettant en particulier de jouer de l'équivoque enharmonique (DO♯ = RÉ♭) à tel point que la musique d'orchestre elle-même n'y aurait pas échappé. Conçus désormais en tempérament égal comme la musique de clavier, des passages entiers destinés à l'orchestre ne peuvent être en effet joués dans aucun autre système en raison de l'utilisation constante de l'équivoque ainsi que l'ont montré des musicologues comme Jacques Chailley (*Théorie de la Musique*, de J. Chailley et H. Challan, p. 48, § 87).

D'autres chercheurs, comme R. Sandoz, considèrent que, si la gamme bien tempérée tend à devenir la seule gamme de référence, cette tendance tient moins à l'évolution du langage musical qu'à des raisons purement physiologiques et en particulier à la perception de nature logarithmique de l'oreille dans le domaine des hauteurs : toute musique évoluée tendrait donc vers une égalisation des demi-tons (R. Sandoz, *La gamme bien tempérée, une nécessité physiologique*, Éd. des Isles, CH 2015 Areuse).

En résumé, depuis l'apparition de la gamme bien tempérée au cours du XVIIIᵉ siècle, trois conceptions de la justesse sont en présence : la gamme de Pythagore, la gamme de Zarlin et la gamme bien tempérée elle-même. Encore n'avons-nous brossé là qu'un tableau simplifié de la situation. Or, après ce que nous avons dit des exigences de l'oreille en matière de justesse, il peut paraître paradoxal qu'il puisse exister concurremment trois systèmes, c'est-à-dire trois échelles différentes pour une même musique : n'est-il pas absurde en effet de considérer qu'à une même note considérée comme juste pourraient correspondre trois hauteurs sensiblement différentes pour l'oreille?

On a essayé d'éluder la contradiction en invoquant la tolérance de l'oreille : celle-ci pourrait admettre sur une note des écarts, dans un sens ou dans l'autre, excédant largement le comma qui sépare, par exemple, une tierce pythagoricienne d'une tierce zarlinienne. Il est de fait que tous les musiciens ne sont pas capables de distinguer ces deux intervalles lorsqu'ils se présentent mélodiquement. Il en va tout autrement s'ils sont entendus harmoniquement : on distingue très bien alors une tierce zarlinienne d'une tierce pythagoricienne ou même tempérée, même si on les tolère généralement toutes les trois. Une tierce majeure zarlinienne comme LA_2 $DO\sharp_3$, par exemple, n'émet aucun battement d'harmonique alors que la tierce tempérée correspondante en émet 10 à la seconde et la pythagoricienne 14 ! Quelle est alors la plus juste de ces trois tierces?

Par ailleurs, la tolérance est loin d'être la même sur tous les intervalles : large sur certains intervalles comme les demi-tons, les tierces ou les sixtes majeures ou mineures, elle est réduite sur l'octave ou la quinte plaquée, où un écart d'un seul comma n'est pas toléré (quinte du loup). Or, un tel écart existe entre les gammes de Zarlin et de Pythagore sur la quinte du second degré RÉ LA qui est plus petite d'un comma dans la gamme de Zarlin et sonne tout à fait faux à nos oreilles modernes.

Le fait qu'il existe trois systèmes de « justification » pour un phénomène perçu comme unique n'est pas d'ailleurs en lui-même très satisfaisant pour l'esprit. Aussi la tolérance ne semble-t-elle pas être ou avoir été la qualité dominante de l'oreille de maints théoriciens qui, constatant les écarts qui existaient entre les trois systèmes et estimant que la justesse pas plus que la vérité ne pouvait se partager, se sont raidis sur leurs positions. C'est pourquoi la querelle opposant jusqu'au XVIIIᵉ siècle les zarliniens aux pythagoriciens est devenue triangulaire après l'apparition d'une intruse, la gamme bien tempérée; celle-ci, bien que parfois considérée comme un compromis acceptable entre les deux premières, n'a pas pour autant réussi à mettre tout le monde d'accord.

Ainsi Bouasse, partisan convaincu du système zarlinien, écrit :

« Les erreurs de la gamme bien tempérée sont réellement appréciables et désagréables pour une oreille juste (entendez zarlinienne...) », et, plus loin : « La gamme de Pythagore ne se justifie ni en théorie, ni en pratique... »

Van Esbroeck et Monfort répondent :

« La quinte est la base de notre musique et les intervalles zarliniens n'y jouent aucun rôle : ce sont des intervalles faux... » et encore : « Il serait très utile de construire des instruments non tempérés à notes parfaitement justes (c'est-à-dire pythagoriciennes...) pour accélérer l'éducation de l'oreille. Car il est essentiel que, dans un ensemble instrumental, les instrumentistes exécutent les intervalles de la même façon, c'est-à-dire qu'ils se représentent tous nettement la hauteur idéale à exécuter[1]... »

Comme on peut le constater, les deux camps ne se réconcilient que pour condamner la malheureuse gamme bien tempérée. Mais les défenseurs de cette dernière le leur rendent bien en s'en prenant à la fois à Zarlin et à Pythagore. Ainsi Stéphane Charrin écrit dans *La Clé des sons* (Éd. CRDP, Marseille, 1980), ouvrage consacré à l'accord du piano :

« Si la tierce pythagoricienne est belle mélodiquement, harmoniquement, elle est assez laide; et si la tierce zarlinienne est harmoniquement sage, elle manque de chaleur et est harmoniquement plate. Mais la tierce tempérée, elle, est une pure merveille... »

Et Stéphane Charrin de s'en prendre aux violonistes accusés de commettre des quintes justes jugées « plates », ce qui est une manière de défendre la quinte tempérée pourtant généralement considérée comme le « talon d'Achille » de la gamme bien tempérée. R. Sandoz, que nous avons déjà cité comme l'un des partisans les plus convaincus du système bien tempéré n'hésite pas dans *La Musique et le Phénomène sonore* (Éd. des Isles, 1979, CH 2015. Areuse) à prendre ouvertement la défense de cette quinte souvent critiquée par les instrumentistes à cordes. Pour lui, les battements qu'elle émet la rendraient plus musicale que la quinte juste.

---

[1] Il est intéressant de noter que cette déclaration témoigne d'une préoccupation que nous avions déjà remarquée chez d'autres musiciens : celle de lutter contre l'emprise de la justesse tempérée pour tendre vers une justesse dite « expressive » parfois assimilée à la justesse pythagoricienne.

Même réaction chez Daniel Magne, auteur d'un *Guide pratique du Piano* (Éd. Van de Velde, 1978) qui défend avec véhémence les intervalles de la gamme bien tempérée dont la quinte tempérée, pour les opposer cette fois à ceux du tempérament égal à quintes justes que nous proposons dans cet ouvrage.

Face à cette mêlée où s'affrontent depuis quelques siècles physiciens et musiciens, mais aussi maintenant acousticiens, musicologues et physiologues, convaincus de la justesse exclusive de leurs vues sinon de celle de leur oreille..., il en est d'autres pour penser que la pluralité des systèmes proposés montrent qu'aucun d'eux ne correspond sans doute exactement à la réalité musicale et que le problème de la justesse n'est donc toujours pas résolu.

On peut évidemment s'étonner qu'il n'existe pas dans l'état actuel des choses de solution théorique satisfaisante à un tel problème. Pour E. Leipp, directeur du Laboratoire d'Acoustique de Paris-VI, cela tient à ce que le problème de la justesse est paradoxalement un... faux problème!! Selon lui, la recherche d'un système de référence commun à tous les musiciens est une recherche vaine car un tel système n'existe pas; certes nous avons bien tous un sens de la justesse, mais ce qui est juste pour l'un ne l'est pas pour l'autre, et ceci en raison des différences profondes qui existent d'un individu à l'autre sur le plan de l'audition. Ces différences révélées par des tests auditifs appelés audiogrammes sont si considérables qu'il est même impossible de dégager une moyenne statistique valable pour une majorité d'individus, fussent-ils musiciens. Ainsi s'expliqueraient les interminables querelles que nous avons évoquées ci-dessus. « Qu'on veuille bien prendre conscience de ces différences physiologiques, suggère E. Leipp, et ces disputes stériles cesseront immédiatement! »

Ces conclusions semblent trouver une confirmation dans l'établissement de relevés statistiques portant sur la fréquence des notes jouées par des instrumentistes d'orchestre exécutant une œuvre musicale : ils montrent qu'effectivement les intervalles réellement joués par ces musiciens sont des grandeurs variables qui ne semblent se rattacher nettement à aucun des trois grands systèmes théoriques dont nous venons de parler. Tout ce qu'on peut dire, c'est qu'en moyenne ils s'écartent davantage du système zarlinien que du système tempéré ou pythagoricien sans qu'on puisse toutefois affirmer qu'ils appartiennent davantage à l'un ou à l'autre de ces systèmes[1].

Bien avant E. Leipp, dès 1893, E. Röntgen n'écrivait-il pas dans ses réflexions sur la pratique et la théorie en musique : « Ce sont tou-

---

[1] Cela, même Bouasse, zarlinien convaincu avait dû le reconnaître à la suite des expériences de Cornu et Mercadier; mais il en concluait comme Helmholtz d'ailleurs, que la plupart des violonistes jouaient faux... Par ailleurs, il ne reconnaissait ce fait que s'il s'agissait d'intervalles mélodiques. Il est vrai que les expériences de Cornu et Mercadier ne portaient que sur de tels intervalles. (Cf. H. Bouasse, *Bases physiques de la Musique*, Paris, 1906, p. 97 à 100.)

jours des grandeurs variables à quoi on a affaire et au moyen de telles grandeurs, il n'est pas possible de construire un système... »

Cependant de telles positions soulèvent au moins autant de problèmes qu'elles n'en résolvent et E. Leipp lui-même en est parfaitement conscient, qui conclut, non sans humour, par « Et pourtant, il faut bien accorder les pianos et les orgues... » Oui, mais alors sur quels critères?

L'accordeur devra-t-il tester l'oreille de son client avant de se mettre au travail? Peut-on admettre que, comme dans le domaine des timbres et des sonorités, il puisse y avoir dans celui de la justesse « des goûts et des couleurs »? Précisons que le choix d'une certaine justesse est envisagé ici non en fonction de l'œuvre interprétée (car nous admettons volontiers que le sentiment de la justesse a pu évoluer, qu'il varie de toute évidence selon les époques et les pays, et que la musique pour clavecin du XVII^e siècle, par exemple, peut perdre une part de sa saveur originale lorsqu'on l'interprète en tempérament égal), mais en fonction de goûts personnels liés à une physiologie particulière de l'audition. Il serait sans doute présomptueux de nier la possibilité sinon la légitimité de goûts personnels en matière de justesse; aussi reviendrons-nous par la suite sur ce point important. Cependant, même en admettant qu'il soit possible, par exemple, à un accordeur de satisfaire totalement un musicien en se soumettant à ses goûts personnels en matière de justesse, comment devra-t-il procéder lorsqu'il accordera un piano de concert dans une salle publique puisque, nous dit Leipp, « il est impossible en physiologie de l'audition, de dégager une moyenne statistique valable pour une majorité d'individus, fussent-ils musiciens »?

D'autre part, les auditeurs d'une salle de concert ne semblent-ils pas en général s'accorder sur la justesse ou la fausseté d'un instrument ou d'une exécution musicale? quand des divergences se font jour, ne portent-elles pas plutôt sur le timbre, la sonorité, le tempo ou l'interprétation?

Par ailleurs, si les différences d'appréciation sur la justesse sont bien liées à des différences physiologiques sur le plan de l'audition, étant donnée l'importance même de ces différences, bien mise en lumière par E. Leipp, comment est-il possible que la musique d'ensemble soit autre chose qu'une vaste cacophonie? Certes des conceptions aussi divergentes de la justesse sont parfois le lot des ensembles d'amateurs à leur début; mais il semble bien que les bons musiciens aient dans l'ensemble une conception moins personnalisée de la hauteur des sons et des rapports d'intervalles! On peut même affirmer que plus le niveau instrumental et musical est élevé, plus l'impression de justesse est satisfaisante pour l'ensemble des auditeurs. Il semble donc que les déviations qui attentent à notre sens de la justesse soient davantage imputables à un défaut de maîtrise instrumentale ou d'éducation musicale qu'à des conceptions véritablement divergentes. Bref, il semble bien y avoir en définitive une conception unique des rapports justes *tout au moins dans le cadre d'une culture musicale déterminée.*

Mais alors comment concilier l'existence d'un système commun de référence avec les écarts constatés dans le jeu d'instrumentistes réputés, écarts entraînant cette sorte de malléabilité de certains intervalles comme nous l'avons signalé ci-dessus? Sans doute parce que l'appréciation de la justesse repose sur deux principes complémentaires et indissociables :

– l'un est un principe de fixité qui correspond à cette gamme commune de référence sans laquelle toute musique d'ensemble instrumentale ou vocale serait proprement inconcevable. C'est une sorte d'échelle mentale ou de grille (pour reprendre une expression imagée de R. Sandoz) qui est constamment présente à l'esprit des musiciens et qui, appliquée à la réalité sonore, leur permet à tout moment de mesurer les écarts qui peuvent se produire entre cette réalité et l'échelle idéale gravée en mémoire,

– l'autre, au contraire, est un principe de mouvance qui fait dépendre la hauteur des notes de la sensibilité personnelle de l'exécutant mais aussi de l'œuvre exécutée où les attractions et les répulsions tonales, mélodiques, harmoniques, rythmiques, agogiques ou de voisinage se donnent libre cours : nous l'appellerons comme Paul Bazelaire, justesse expressive.

Dès lors, non seulement la justesse de référence est conciliable avec la justesse expressive, mais elle en devient une des conditions sine qua non, car une intention expressive entraînant une déviation de la hauteur attendue et habituelle d'une note, ne peut être pleinement perçue par l'auditeur que s'il existe entre celui-ci et l'interprète une sorte de code implicite, qui n'est autre que l'échelle commune de référence.

Ce qui distingue donc le musicien médiocre du musicien accompli, c'est que le premier, faute d'une conception précise de cette justesse de référence, par manque de dispositions musicales ou défaut d'entraînement, ne prend pas suffisamment conscience des déviations accidentelles qui peuvent se produire en cours d'exécution. Il en résulte que ces déviations se reportent en chaîne d'une note sur l'autre, pouvant entraîner une perte totale du sens tonal et une fluctuation continue et totalement injustifiée de l'intonation, d'où une impression de fausseté. Au contraire, le musicien accompli est pleinement conscient de toute déviation, qu'elle soit intentionnelle et corresponde à une volonté expressive, ou fortuite et résultat d'une maladresse accidentelle; il ne risque donc pas de dérapage important par cumulation d'erreurs d'une note sur l'autre dans la mesure où ces déviations restent ponctuelles et où il conserve toujours à l'esprit cette échelle de référence fixe et solidement ancrée au LA du diapason et à quelques autres notes privilégiées : celles données, par exemple, par les cordes à vide des instruments à cordes; c'est ce qui explique le soin avec lequel les instrumentistes vérifient contamment ce LA de référence ainsi que la justesse absolue des quintes des cordes à vide alors qu'ils se permettent en cours d'exécution des écarts parfois considérables; mais ceux-ci ne portent nullement atteinte, bien au contraire, à notre sens de la justesse s'ils sont intentionnels et « justifiés » par le contexte.

C'est pourquoi nous ferons nôtre cette déclaration de A. Loman citée par Van Esbroeck et Monfort :

« Si même il est établi que le compositeur doit parfois tenir compte de grandeurs variables, on ne peut en conclure à l'impossibilité de trouver un système fixe dans l'organisation des sons dont se sert le musicien dans sa pratique musicale... Et, de plus, lorsqu'une grandeur présente certaines variations, n'est-ce pas la tâche du chercheur scientifique que de trouver et de faire connaître les causes de cette variabilité et la nature de ces variations? »

Mais quel est donc, dans le contexte musical qui est le nôtre, ce système fixe, cette justesse de référence, comme nous l'avons appelée, en quelque sorte boussole et code sonore de tous les musiciens? Est-ce l'un des trois grands systèmes dont nous avons parlé ci-dessus?

Ce problème, comme celui de la justesse tempérée, ne peut guère se régler à coup d'arguments théoriques, d'*a priori* mathématiques, physiques, physiologiques ou de credo esthétiques, sans risquer de sombrer à nouveau dans ces interminables querelles de spécialistes où s'enlisent depuis des siècles les théoriciens. Ce sont les musiciens et eux seuls, ou plus exactement leur oreille qu'il faut interroger. Comme le déclare E. Leipp, 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 d'une conférence donnée en 1970, il s'exprimait en ces termes :

« Les facteurs d'instruments et les musiciens exploitent depuis des millénaires les propriétés du système auditif, 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. » Et aussi : « Il n'est d'autre méthode que d'étudier d'abord de très près ce que font les musiciens traditionnels, où rien n'est gratuit. »

Car les meilleurs musiciens et les meilleurs accordeurs ont, quant à eux, parfaitement résolu dans la pratique cet irritant problème posé par la justesse musicale : n'entend-on pas en effet des orchestres qui jouent parfaitement juste et des pianos magnifiquement accordés? Musiciens et accordeurs sont même allés plus loin puisqu'ils semblent bien avoir trouvé la solution au problème insoluble aux yeux des théoriciens, de la synthèse de la justesse tempérée, basée sur la quinte tempérée, et de la justesse orchestrale, enserrée dans des quintes justes. Certes, lorsqu'un piano joue avec un autre instrument, un instrument à cordes en particulier, il arrive que les deux sortes de justesse ne fassent pas bon ménage en raison du décalage des quintes, ce qui justifie alors les récriminations des violonistes et de certains musicologues à l'encontre de la justesse tempérée. Mais n'arrive-t-il pas aussi que nous assistions à des mariages parfaits où le violoniste semble jouer avec la plus entière liberté dans une sorte de confort tonal, sans pour autant paraître faire aucune concession à l'instrument à clavier?

Malheureusement si certains musiciens et accordeurs connaissent bien les problèmes posés par la justesse, ils n'ont pas en général les moyens de nous expliquer les secrets de leur savoir-faire, faute d'une formation scientifique suffisante; aussi ont-ils généralement laissé ce soin aux hommes de science, mathématiciens, physiciens ou physiologues, qui, faute d'être toujours, quant à eux, suffisamment musiciens, n'ont souvent abordé le problème qu'en le simplifiant exagérément et en ne l'envisageant que sous l'angle de leur propre discipline. Or, la musique n'est pas seulement un phénomène physique ou une mathématique des sons; c'est avant tout une pratique et un art, et l'une des expressions les plus accomplies et les plus bouleversantes de la vie : mélodies, thèmes et accords ne sont pas seulement des objets sonores, mais des organismes vivants en perpétuelle évolution, et c'est bien plus en étudiant la pratique musicale et l'évolution de l'écriture qu'en se référant à des lois d'acoustique physique ou physiologique qu'on aura des chances de résoudre le problème. A ce sujet, l'hérésie zarlinienne, chère aux mathématiciens et aux physiciens, est caractéristique, quand elle prétend expliquer la musique par la seule résonance naturelle, la réduisant à un phénomène purement physique : c'est cette rigueur toute scientifique appliquée à un phénomène qui ne l'est pas qui explique l'intolérance de certains théoriciens, considérant comme faux tout ce qui ne cadre pas exactement avec leurs théories. Mais comme, faute de connaissances suffisantes dans ces domaines, les accordeurs et les musiciens ne sont pas à même de comprendre ces théories et donc d'en vérifier l'exactitude, celles-ci ont fini, faute de mieux, par s'imposer dans les conservatoires et les écoles d'accord.

D'où ces contradictions dénoncées par R. Dussaut depuis au moins trente ans, mais qu'on peut toujours relever dans les cours de « théorie » : la gamme y est justifiée selon la tradition zarlinienne et les demi-tons sont définis selon la tradition pythagoricienne, certes plus proche de la pratique courante des musiciens, mais à l'opposé de la conception zarlinienne!! Dans la gamme de Zarlin, en effet, les demi-tons chromatiques sont étroits alors que les diatoniques sont larges; dans celle de Pythagore, c'est exactement le contraire! (voir p. 238). On comprend mieux, à l'aide de tels exemples, pourquoi pour les musiciens, la théorie « c'est quelque chose qui s'explique mais ne se comprend pas », comme le dit avec humour R. Dussaut!

Même contradiction dans le domaine de la justesse tempérée et même ignorance totale des réalités, puisque les théoriciens et les accordeurs eux-mêmes continuent de professer une théorie de la gamme tempérée, inspirée par les mathématiciens, qui conclut au raccourcissement de la quinte, théorie dont l'inadéquation au fait musical a été récemment démontrée par l'échec de l'accordeur électronique basé sur cette conception : celui-ci donne en effet un accord théoriquement parfait, c'est-à-dire rigoureusement conforme au tempérament qui divise l'octave en 12 parties strictement égales. Mais il ne donne en réalité qu'un accord parfaitement médiocre.

Il y a donc dans ces domaines un divorce dramatique entre l'« entendre » et le « comprendre ». Certes, l'« entendre » doit ici précéder impérativement le « comprendre »; mais si le musicien entend, il n'est pas souvent à même de comprendre. Quant à l'homme de science, il n'a que fort rarement l'oreille d'un musicien professionnel et jamais celle extraordinairement précise et analytique d'un bon accordeur : il est donc lui aussi dans l'impossibilité de comprendre et d'expliquer parfaitement un savoir-faire qu'il ne possède pas.

C'est cette explication que nous avons tentée ici en tant que musicien et accordeur professionnel. C'est en particulier le fait d'être devenu accordeur qui nous a permis, d'une part, d'acquérir une oreille capable de percevoir et d'analyser les subtilités de la justesse harmonique et mélodique, d'autre part, d'apprendre à manipuler cet outil unique pour l'expérimentation qu'est une clé d'accord. Cependant nous n'avons jamais considéré nos connaissances en musique, ainsi que notre oreille analytique d'accordeur que comme des moyens au service de l'oreille musicienne. C'est pourquoi, loin de nous fier sur ce plan à notre seule oreille, nous avons tenu à soumettre nos expérimentations sur l'accord ou la justesse à de nombreux musiciens, ou professeurs de musique qui ont bien voulu collaborer avec nous.

Pour déterminer quelle est la justesse de référence actuelle, deux sortes d'approches expérimentales et musicales sont possibles :

– on peut passer au crible de l'oreille musicienne les grands systèmes théoriques (le système zarlinien, le système pythagoricien, le système bien tempéré, etc.) en écoutant des œuvres musicales successivement jouées dans ces différents systèmes et en notant les réactions de notre oreille (voir le chapitre « gammes et tempéraments au crible de l'oreille musicienne », p. 139),

– on peut également établir des relevés de fréquences à partir du jeu des instrumentistes à sons variables. C'est une entreprise qui exige un matériel sophistiqué dont nous ne disposons pas encore. Mais il existe déjà dans ce domaine des moyennes statistiques établies par d'autres chercheurs : ce sont ces résultats que nous devons chercher à interpréter en les comparant à ceux obtenus dans l'expérience précédente afin de faire des rapprochements et d'en tirer si possible des conclusions (voir « relevés de fréquences », p. 151).

C'est au compte rendu de ces diverses expériences que nous convions maintenant le lecteur. Il ne pourra cependant en tirer pleinement profit que s'il connaît le principe et les caractéristiques essentielles des gammes et tempéraments abordés. Le principe de la GBTT fondé sur le raccourcissement des quintes (quintes « tempérées ») est rappelé dans la partie théorique « Un problème mal posé, celui du tempérament égal », p. 38. Nous y exposons ensuite le principe du TEQJ. Le calcul des intervalles de ces deux gammes ainsi que celui de leurs battements et jeux d'harmoniques se trouvent respectivement aux p. 201 et 220. Par ailleurs les caractéristiques des gammes de Pythagore et de Zarlin sont rappelées à l'appendice à partir de la p. 238. Nous y indiquons également comment accorder un piano ou un clavecin dans une de ces deux gammes. Les gammes de Zarlin et de Pythagore sont en effet très faciles à réaliser et à la portée de tout amateur éclairé. Ces sortes de travaux pratiques permettront au lecteur qui le désire, d'avoir une connaissance concrète des problèmes abordés en refaisant les expériences décrites dans cet ouvrage. Pour le lecteur qui n'en aurait pas la possibilité, nous comptons réaliser par la suite une cassette où elles seront reproduites. Enfin lors des conférences que nous donnons, nous soumettons toujours ces diverses expériences au public.

A) RECHERCHE EXPÉRIMENTALE

Gammes et tempéraments au crible de l'oreille musicienne

Pour savoir lequel des grands systèmes théoriques se rapproche le plus de notre façon actuelle d'entendre et de concevoir la musique, il convient d'abord d'observer attentivement sans idée préconçue les réactions de notre oreille. En d'autres termes, la justesse ne doit pas être l'objet de théories élaborées à partir de lois mathématiques, physiques ou physiologiques, mais à partir de statistiques établies d'après les réactions de l'oreille ou le jeu des musiciens libres de leurs fréquences[1]. Sinon on risque de retomber dans les interminables querelles de spécialistes dont nous avons fait état ci-dessus. C'est seulement en tenant compte de ces résultats statistiques et à la suite d'une réflexion sur l'évolution de l'écriture musicale que nous pourrons tenter de mettre en lumière les lois sous-jacentes auxquelles obéissent compositeurs et interprètes. La démarche que nous suivrons ici est donc essentiellement expérimentale et de même nature que celle qui nous a permis dans le domaine de l'accord des instruments à clavier de définir le TEQJ comme le tempérament égal vers lequel tendaient empiriquement les meilleurs accordeurs.

Une première série d'expériences consiste à soumettre à notre oreille des extraits d'œuvres musicales interprétées successivement dans différents systèmes et à noter vers lequel de ces systèmes se portent nos préférences.

Même si aucun de ces grands systèmes théoriques ne donne entièrement satisfaction à notre sens de la justesse, cette expérience nous

---

[1] Il en va évidemment autrement pour certaines musiques contemporaines où le choix délibéré d'une échelle particulière (en quart de tons, par exemple), fait partie de la démarche compositionnelle. C'est peut-être le cas de la musique sérielle dodécaphonique qui postule une stricte égalité des demi-tons et pour laquelle la justesse idéale semble bien être, lorsque cette musique est destinée à l'orchestre, le tempérament égal à quintes justes lui-même.

permettra quand même de nous faire une idée plus précise des exigences de notre oreille et par là même des caractéristiques du système et de l'échelle auxquels nous nous référons inconsciemment pour juger de la justesse ou de la fausseté de ce que nous percevons. Une telle expérience nous permettra également de préciser pour chaque intervalle des marges de tolérance qui, de toute évidence, diffèrent selon les intervalles.

Bien que nous ayons nous-mêmes soumis à des tests de ce genre de nombreuses personnes en leur faisant entendre de la musique jouée sur des pianos ou des jeux de clavecin accordés dans des systèmes différents, nous nous appuierons essentiellement, pour commencer, sur les expériences consignées par Van Esbroeck et Monfort dans « Qu'est-ce que jouer juste? ».

Les préférences dont font état ces deux chercheurs vont en effet exactement dans le même sens que celles que nous avons nous-même pu observer, mais elles ont de plus valeur de statistique dans la mesure où elles se dégagent de quelque 53.000 réponses à des tests effectués sur un millier de personnes environ. Par ailleurs, l'objectivité et le sérieux de ces travaux ne peuvent guère être mis en doute, puisque les résultats obtenus vont dans une certaine mesure à l'encontre de ce que ces deux chercheurs tendaient à démontrer dans le reste de leur ouvrage[1]. Il convient donc de saluer ici l'honnêteté et l'humilité de savants qui n'ont pas hésité à publier les résultats d'une expérience qui remettait en question la thèse même qu'ils défendaient. Des réserves ont été formulées sur la valeur musicale des tests proposés par Van Esbroeck et Monfort. Elles nous paraissent en grande partie justifiées, mais ne sont pas de nature à remettre en cause, semble-t-il, les tendances générales qui se sont fait jour à travers ces expériences. Bien au contraire, les résultats que nous avons nous-même obtenus à partir de tests plus musicaux ont paru nettement confirmer et même accuser ces tendances profondes. Il serait sans nul doute utile et intéressant de reprendre de telles expériences sur une grande échelle avec les possibilités qu'offrent maintenant la radiodiffusion en modulation de fréquence, ainsi que certains instruments de synthèse permettant de varier les timbres et de passer rapidement d'un système de justesse dans un autre.

Avant de dégager les résultats essentiels des expériences de Van Esbroeck et Monfort, nous reproduirons fidèlement et intégralement le compte rendu de ces expériences. Puis nous ferons état des expériences plus modestes auxquelles nous avons nous-même procédé en tenant compte des critiques dont avaient fait l'objet les expériences des deux savants belges. Bien que les résultats que nous avons obtenu n'aient pas valeur de statistique dans la mesure où nous n'avons soumis à nos tests qu'une centaine de personnes environ, ils permettent de se

---

[1] A savoir que notre musique était pythagoricienne.

rendre compte du sens dans lequel il faudrait sans doute apporter de légères corrections aux résultats avancés par Van Esbroeck et Monfort.

Expériences de Van Esbroeck et Monfort (1943)

Nos expériences consistèrent à faire entendre sur un orgue à tuyau de flûte, d'intensité constante et franche, des exécutions, dans la tessiture de SOL_2 à DO_4, absolument rigoureuse selon les différents systèmes, et à obtenir de très nombreux auditeurs qu'ils émettent un jugement en répondant aux 3 questions :

1) Entendez-vous une différence? Oui ou Non.
2) Si oui, avez-vous une préférence?
3) Préférez-vous la première ou la seconde version?

A chaque expérience, on présente le même motif successivement selon deux systèmes. Les comparaisons portent en principe sur les 6 paires :

T-P T-Z T-M P-Z P-M Z-M

où les lettres signifient respectivement les gammes :

T = Gamme bien tempérée.
P = Gamme de Pythagore.
Z = Gamme de Zarlin ou gamme naturelle (MI, LA et SI graves).
M = Gamme de Meerens (FA grave et LA juste, MI et SI graves)[1].

Les réponses furent classées comme suit :

nombre total exprimé	X	
pas de réponses	Q	
réponses	X − Q	
réponses négatives	N	
réponses accusant une distinction	D	(N + D = X − Q)
réponses accusant l'indifférence	I	
réponses émettant un jugement	J	(I + J = D)
enfin : préférences pour l'une	P (par ex.)	
préférences pour l'autre	Z (par ex.)	(P + Z = J)

On définit en outre l'indifférence totale par I + N + Q et l'insensibilité totale par N + Q.

Nous avons choisi tout d'abord une série de 9 motifs, donnant lieu chacun à un cycle d'expérience. Les quatre premiers cycles étaient mélodiques, les cinq derniers harmoniques. Trois de ces cycles concernaient l'effet des écarts d'un comma en différents contextes (les n^{os} 1, 2 et 5 ci-dessous). Les six autres se rapportaient au choix de la gamme d'une façon plus directe.

Les événements militaires de 1944-1945 nous ont empêché de poursuivre ces séries, mais les 1.000 auditeurs environ que nous pûmes soumettre à cet interrogatoire nous donnèrent déjà ample matière à conclure. Voici les 9 cycles :

Cycle 1 – Le comma dans le demi-ton attractif.
Cycle 2 – Le comma dans un fragment autour de la tonique.
Cycle 3 – « Frère Jacques » : 6 paires d'expériences.

---

[1] LA juste signifie pour les auteurs, LA pythagoricien. MI et SI graves signifie que ces notes sont baissées d'un comma par rapport aux notes correspondantes de la gamme de Pythagore. On sait en effet qu'une tierce pythagoricienne est plus grande qu'une tierce zarlinienne d'1 comma syntonique (5,4 savarts).

Cycle 4 – Gamme majeure : 6 paires.
Cycle 5 – Le comma dans l'octave et la quinte plaquées.
Cycle 6 – Accord majeur : 3 paires, plus MI trop haut.
Cycle 7 – Accord mineur : 3 paires, plus MI♭ trop bas.
Cycle 8 – Septième de dominante résolu sur l'accord parfait majeur : 6 paires.
Cycle 9 – Septième de dominante résolu sur l'accord parfait mineur : 6 paires.

Nos auditoires furent fournis à peu près comme suit :

1 – les 4 classes supérieures du lycée de Waha (jeunes filles)
2 – les 3 classes supérieures de l'Athénée de Liège (jeunes gens de 15 à 18 ans)
3 – les élèves et certains professeurs du Conservatoire de Liège (cordes, vent et chant).

Nous avons calculé les pourcentages d'insensibilité, d'indifférence, puis rapporté les préférences au nombre de jugements émis. Voici ces valeurs, pour l'ensemble des expériences puis séparément pour des cycles purement mélodiques et pour d'autres purement harmoniques :

		Exprimé en pourcent :						*Pourcent*		Nombre de cycles inter-venant
	X	$\frac{N+Q}{X}$	$\frac{I}{X}$	$\frac{J}{X}$	$\frac{(1)}{X}$	$\frac{(2)}{X}$	J	$\frac{(1)}{J}$	$\frac{(2)}{J}$	
T-P	6621	18	16	66	36	30	4378	55	45	7
T-Z	5643	12	16	72	43	29	4026	60	40	6
T-M	3903	17	18	65	38	27	2561	59	41	4
P-Z	5646	46	13	41	27	14	2287	52	48	6
P-M	3906	26	18	56	37	19	2192	66	34	4
Z-M	3906	36	18	46	26	20	1791	57	43	4
2 cycles mélodiques (3 et 4)										
T-P	1947	33	11	56	36	20	1089	64	36	2
T-Z	1947	19	13	68	50	18	1326	73	27	2
T-M	1947	17	16	67	50	17	1309	75	25	2
P-Z	1950	46	12	42	32	10	814	75	25	2
P-M	1950	29	16	55	40	15	1074	73	27	2
Z-M	1950	39	17	44	28	16	851	64	36	2
2 cycles harmoniques (8 et 9)										
T-P	1956	9	18	73	37	36	1421	50	50	2
T-Z	1956	13	17	70	27	43	1370	39	61	2
T-M	1956	17	19	64	27	37	1252	42	58	2
P-Z	1956	40	15	45	22	23	883	49	51	2
P-M	1956	24	19	57	34	23	1118	61	39	2
Z-M	1956	33	19	48	25	23	940	51	49	2

D'une façon générale, nous avons remarqué que :

1) Si une série d'expériences se poursuit pendant une demi-heure sur un thème identique, l'attention s'accoutume à comprendre ce que l'on attend d'elle; aussi enregistre-t-on plus d'insensibilité et d'indifférence au début de la série.
2) Une très légère distinction de timbre entre notre série de tuyaux tempérés et celle accordée par 53 commas à l'octave provoqua chez les jeunes une augmentation anormale des coefficients d'insensibilité lorsqu'on passait de la 3e série T-M à la 4e P-Z, dont toutes les notes étaient prises parmi les 53 commas. Les instrumentistes du

Conservatoire n'accusaient pas cette tendance : ils font abstraction d'emblée des différences de timbre.

3) Comme on demande un jugement rapide, beaucoup d'auditeurs accusent l'insensibilité ou l'indifférence. Les jeunes gens ont tendance en outre à diriger leur choix « au petit bonheur ». Mais ici joue la loi des grands nombres; toute majorité nette en faveur d'une des deux exécutions sera donc significative d'une majorité plus forte encore chez les auditeurs réellement doués : ces derniers seuls font pencher la balance, et c'est ce qu'il nous faut.

4) Les élèves du Conservatoire marquent effectivement, en général, la tendance indiquée par l'ensemble, mais plus nettement.

5) Les chanteurs s'avèrent cependant fort peu affinés du point de vue de la justesse.

6) Les instrumentistes à cordes accusent fort peu d'insensibilité, mais beaucoup d'indifférence, ceci par prudence, sachant trop bien les tolérances admissibles dans leurs exécutions. Les quelques instrumentistes, qui osent affirmer leur préférence, nous ont fourni des réponses valant autant à elles seules que toute la majorité statistique. Il y avait d'ailleurs très généralement concordance entre ces deux groupes de réponses.

Les conclusions les plus importantes du point de vue musical sont les suivantes :

A — *Gamme bien tempérée*

1) La gamme bien tempérée emporte le plus de suffrage dans le public que nous avions choisi.

2) La quinte isolée et plaquée fait exception : on y préfère la valeur juste.

3) L'accord parfait majeur participe à cette préférence, dans une certaine mesure chez les jeunes gens mais non les jeunes filles (mieux habituées au piano?)

4) Les accords de septième de dominante résolus sur majeur ou mineur voient également les préférences s'écarter de la gamme tempérée.

B — *Gamme de Pythagore et autres*

5) La gamme de Pythagore emporte la préférence, et de loin, sur la gamme dite naturelle et celle purement harmonique à sous-dominante baissée (vers le 7^e^ harmonique de la dominante).

6) La gamme de FA juste est préférée nettement à celle purement harmonique.

7) Ces préférences sont moins marquées en harmonie qu'en mélodie, mais elles y subsistent, fait très important.

8) *La fausseté des tierces se remarque moins dans une quinte juste que dans la quinte tempérée*[1].

C — *Faussement des octaves et des quintes plaquées*

9) Une octave ou une quinte raccourcie d'un comma sonne très faux (préférence 79 contre 21 dans les deux cas).

10) Les mêmes intervalles *élargis d'un comma sonnent presque aussi bien que l'intervalle juste*[1] (préférence pour le juste : 56 contre 44 pour l'octave, 52 contre 48 pour la quinte).

11) Les éléments du Conservatoire font exception et il fallait s'y attendre : c'est à ces deux distinctions que leur pratique les exerce le mieux.

Compte tenu de la présence exclusive de claviers tempérés dans les habitations privées comme au Conservatoire, c'est là un résultat fort probant à l'appui des diverses interprétations que nous avons développées dans la première partie de ce livre.

---

[1] Souligné dans le compte rendu de Van Esbroeck et Monfort.

Nos résultats infligent d'ailleurs un démenti formel à la prétention des théoriciens, car les fragments musicaux qui firent l'objet de nos expériences ne laissaient aucun doute quant aux fonctions de médiante ou de sensible des notes qu'on y faisait varier.

Les effets de la prépondérance de l'éducation tempérée dans notre public démontrent ainsi que l'oreille humaine ne possède pas la propriété de juger des rapports simples.

Résultats et conclusions essentiels des expériences de Van Esbroeck et Monfort

Nous ne ferons pas figurer dans ces résultats la gamme de Meerens qui ne paraît pas présenter un grand intérêt : c'est des quatre systèmes testés, celui qui a en effet recueilli, et de loin, le moins de suffrages.

Si on ne prend en considération que les trois grands systèmes traditionnels, les résultats généraux sont les suivants :

Préférences

Comparaison entre la GBTT et la gamme de Pyth.[1] 55 % contre 45 %.
Comparaison entre la GBTT et la gamme de Zarlin 60 % contre 40 %.
Comparaison entre la gamme de Pyth. et celle de Zarlin 52 % contre 48 %.

Par ailleurs dans cette ample moisson d'informations sur les réactions de notre oreille, les conclusions les plus intéressantes nous paraissent être les suivantes :

1) La GBTT l'emporte assez nettement sur les deux autres gammes, surtout sur celle de Zarlin.

2) La quinte isolée et plaquée fait exception : on y préfère la quinte juste.

3) *La fausseté des tierces* (par rapport à la justesse physique ou naturelle) *se remarque moins dans une quinte juste que dans une quinte tempérée.*

4) *Une octave ou une quinte raccourcie d'un comma sonnent très faux, les mêmes intervalles élargis d'un comma sonnent presque aussi bien que l'intervalle juste*[2].

Le lecteur pourrait peut-être se demander ce qui justifie les affirmations 2) et 3) ci-dessus; ce sont probablement les réponses apportées aux tests du cycle 6 portant sur l'accord parfait majeur, réponses dont la teneur n'est pas comme pour les cycles 3 et 4 ainsi que pour les cycles 8 et 9 indiquée dans le détail, mais simplement intégrée au résultat général. Mais on peut aussi les déduire des réponses apportées aux cycles harmoniques 8 et 9 : on voit en effet qu'ici la gamme de Zarlin l'emporte nettement sur la GBTT (61 % contre 39 %). Si cette préférence était due à ce qu'on préfère la tierce naturelle à la tierce tempérée, elle devrait s'accuser lorsqu'on compare la gamme de Zarlin à celle de Pythagore, puisque, dans cette dernière, la tierce est encore plus

---

[1] Rappelons que nous désignons la gamme bien tempérée traditionnelle (correspondant au partage de l'octave juste en 12 demi-tons égaux) par l'abréviation GBTT et le tempérament égal à quintes justes par TEQJ (voir, « Notions sommaires », p. 31).

[2] Les points 3) et 4) sont souligés dans le compte rendu des deux chercheurs, ce qui indique qu'ils les considéraient comme significatifs.

éloignée de sa valeur naturelle; or il n'en est rien : sur le plan harmonique, la gamme de Zarlin et celle de Pythagore sont pratiquement à égalité (51 % contre 49 %). C'est donc bien la quinte tempérée qui est, dans la comparaison entre la gamme de Zarlin et la GBTT, la cause essentielle de la préférence pour la gamme de Zarlin. Dans cette gamme comme dans celle de Pythagore, la quinte est en effet juste[1]. C'est sans doute pour avoir confirmation de ce résultat que Van Esbroeck et Monfort ont réalisé une série de tests très révélateurs sur les quintes et les octaves plaquées agrandies ou raccourcies, tests qui ont montré les inconvénients qu'il pouvait y avoir effectivement à raccourcir de tels intervalles.

Le TEQJ et les expériences de Van Esbroeck et Monfort

Van Esbroeck et Monfort auraient voulu par leurs expériences justifier le TEQJ (et non la gamme de Pythagore, comme ils l'espéraient sans aucun doute!) qu'ils n'auraient pas procédé autrement!

Dès les deux premières conclusions consignées par ces deux chercheurs, il ressort en effet très nettement que si une gamme bien tempérée présentait à la fois un tempérament dodécaphonique égal et des quintes justes, elle serait cette fois très largement préférée aux deux autres gammes, celles de Pythagore et de Zarlin. Or une telle gamme existe : c'est le tempérament égal à quintes justes, ou TEQJ, celui-là même qui fait l'objet de cet ouvrage!

Mais objectera-t-on peut-être, rien ne permet de l'affirmer : si en effet, dans ce système, les quintes sont justes et le tempérament égal, en revanche ce sont les octaves qui sont cette fois faussées puisque agrandies : ainsi, ce qu'on gagne d'un côté, on le perd de l'autre; tous les tempéraments ne sont-ils pas d'ailleurs des compromis, des cotes mal taillées?

Inexact, semblent rétorquer Van Esbroeck et Monfort; nos expériences montrent clairement que si une quinte même très peu raccourcie, comme l'est, par exemple, la quinte tempérée, sonne mal, il n'en va pas de même d'une octave qui, agrandie d'un comma entier sonne presque aussi bien qu'une octave juste. Or, dans le TEQJ, l'octave n'est agrandie que de 1/7^e^ de comma et, par ailleurs, nombreux sont les musiciens et les compositeurs pour affirmer qu'une octave un peu agrandie sonne mieux qu'une octave rigoureusement juste au sens physique du terme (voir p. 149 et aussi p. 155).

Pourtant les recherches consignées dans « Qu'est-ce que jouer juste », ne concernaient nullement le TEQJ et ne portaient pas non plus sur l'accord du piano ou la justesse tempérée mais sur la justesse instrumentale et vocale en général. Apparemment Van Esbroeck et Monfort n'ont d'ailleurs pas soupçonné l'existence de ce tempérament dont le profil se dessine pourtant nettement à travers les quelque 50.000 réponses apportées à leur enquête. Encore fallait-il pouvoir en

---

[1] A l'exception de la quinte du second degré RÉ LA de la gamme de Zarlin qui est, rappelons-le, raccourcie d'un comma.

formuler l'hypothèse! Ils semblent plutôt avoir été quelque peu déconcertés par les exigences théoriquement inconciliables d'une oreille qui réclamait tout à la fois le maintien de la justesse de la quinte et le tempérament égal fondé en principe sur le raccourcissement de cet intervalle. C'est pourquoi la conclusion générale qu'ils portent sur cette enquête témoigne d'un certain flottement : malgré le résultat des tests donnant une certaine prééminence à la GBTT, ils paraissent maintenir comme référence la justesse pythagoricienne, tout en admettant que, « pour le public qu'ils avaient choisi », cette justesse ait pu être contrebalancée et même quelque peu éclipsée par la justesse tempérée. Ce qu'ils expliquent par « la présence exclusive de claviers tempérés dans les habitations privées et les Conservatoires ».

Or nous sommes persuadés que ce public n'avait rien de bien particulier[1], c'est-à-dire qu'il n'était ni plus ni moins qu'un autre public conditionné à l'accord bien tempéré; en réalité, tout public aurait réagi à très peu de chose près de la sorte, pour la raison très simple que la gamme de référence n'est, à notre avis, ni la GBTT, ni la gamme de Pythagore, mais bien le TEQJ!

Nos propres expériences

Nous avons nous-même procédé à des expériences semblables à celles de Van Esbroeck et Monfort en faisant entendre et comparer à des auditoires des extraits musicaux successivement interprétés dans différents systèmes. Mais alors que l'ambitus des cycles mélodiques et harmoniques des deux chercheurs belges ne dépassait pas une octave et demie (étendue totale de l'orgue expérimental « orthoclavier » utilisé pour leurs expériences), nous avons expérimenté sur les 7 octaves que comporte un piano. Nous avons donc été amené à accorder ainsi plusieurs pianos, chaque piano étant accordé dans un système différent.

Par ailleurs nos tests ne portaient pas seulement sur des gammes ou des accords isolés de tout contexte musical, mais sur de véritables extraits d'œuvres[2].

---

[1] Dans le cas contraire, on serait d'ailleurs en droit de contester le bien-fondé d'une telle enquête!

[2] Les expériences de Van Esbroeck et Monfort avaient fait l'objet, en effet, de certaines réserves d'E. Leipp, réserves consignées dans le *Bulletin du GAM*, n° 76. E. Leipp pensait que si « les résultats globaux obtenus par ces deux chercheurs montraient une préférence pour la gamme bien tempérée assez nette pour ne pas pouvoir être attribuée au hasard », il fallait cependant se garder de tirer trop vite des conclusions. Il reprochait notamment à Van Esbroeck et Monfort :

1) d'avoir utilisé des « artefacts », c'est-à-dire des gammes et des accords isolés de tout contexte musical et non de la musique normale,

2) de n'avoir expérimenté que dans le medium et sur une étendue réduite à une octave et demie seulement,

3) de n'avoir comparé des systèmes ou des intervalles qu'à 1 comma près, puisque l' « ortho-

Enfin nous n'avons pas repris dans nos propres expériences la gamme de Meerens dont l'intérêt musical nous a paru très réduit. En revanche, nous avons introduit le TEQJ. Ce dernier présente précisément avec la GBTT des différences qui sont de l'ordre du savart et non plus du comma (il y a un demi-savart de différence entre une quinte « tempérée » et une quinte juste et environ 1 savart entre une octave de la GBTT et une octave du TEQJ). Nos tests portaient donc en définitive sur la gamme de Pythagore, la gamme de Zarlin, la GBTT et le TEQJ.

Cependant, contrairement à Van Esbroeck et Monfort, nous n'avons pas eu jusqu'ici la possibilité d'expérimenter sur une vaste échelle; en revanche les personnes qui ont bien voulu se soumetttre à nos tests possédaient presque toutes un haut niveau musical.

Pour ce qui est des trois grands systèmes traditionnels (gamme de Pythagore, gamme de Zarlin, GBTT), les réponses que nous avons recueillies ont confirmé et même accusé les tendances déjà mises en lumière par Van Esbroeck et Monfort : les préférences pour la GBTT s'y affirment tandis que la gamme naturelle emporte encore moins de suffrages.

Si la gamme de Zarlin perd encore du terrain, c'est parce que cette gamme présente sur le second degré une quinte raccourcie d'un comma (RÉ LA). Or cette quinte qui sonne très faux, aussi faux qu'une « quinte du loup »[1], n'apparaît jamais dans les cycles harmoniques des deux chercheurs belges, cycles qui ne présentent que des accords isolés. Il en résulte que le système de Zarlin considéré généralement comme médiocre sur le plan mélodique est également – et contrairement, cette fois, à ce qu'on laisse généralement entendre – impraticable sur le plan harmonique!

Bien que, à notre avis, les expériences de Van Esbroeck et Monfort aient nettement avantagé la gamme de Zarlin en omettant d'en montrer les faiblesses harmoniques, il n'en reste pas moins que ces mêmes expériences avaient mis en évidence une préférence pour la GBTT qui, au total, avait déjà recueilli le plus de suffrages; celle-ci avait été préféré non seulement à la gamme de Zarlin, mais même à la gamme de Pythagore (contrairement à ce que supposaient au départ les expérimentateurs!).

Il est donc intéressant d'essayer de déceler les raisons de cette préférence et de savoir, par exemple, lesquels des intervalles de la

---

clavier » présentait 53 touches pour une octave et que les écarts successifs étaient donc d'1 comma. Or E. Leipp pensait comme nous-même, que le comma était un « quanta » musical beaucoup trop gros et qu'il aurait fallu choisir le savart comme étant plus proche de la limite réelle du pouvoir séparateur de l'oreille.

[1] Dans le langage des théoriciens et des accordeurs, un « loup » est un intervalle totalement impraticable en raison de sa fausseté. La quinte du second degré de la gamme de Zarlin est tout aussi fausse que la fameuse « quinte du loup » qui empêche un cycle de 12 quintes justes successives de se refermer sur lui-même et constitue par là même le « pont aux ânes » des théoriciens de l'accord et des accordeurs!

GBTT se différencient le plus des intervalles correspondants des autres gammes et finissent par faire pencher le choix en leur faveur.

Ce ne sont pas les octaves qui sont en principe les mêmes dans les trois systèmes, c'est-à-dire rigoureusement justes physiquement et supposées correspondre alors au rapport 2/1.

Ce ne sont pas non plus les quintes qui, raccourcies dans la GBTT, désavantagent au contraire cette seule gamme dans la mesure où elles restent justes dans les deux autres[1].

Ce sont donc de toute évidence, les tierces et leurs renversements les sixtes qui sont effectivement très différentes dans les trois systèmes. Ainsi une tierce majeure comme FA_2 LA_2, par exemple, vaut 17 commas dans la gamme de Zarlin, 17,7 commas dans la GBTT et 18 dans celle de Pythagore, soit un comma de plus que dans celle de Zarlin, ce qui est considérable! entendues harmoniquement, en effet, la 1^{re} de ces tierces n'émet aucun battement, la seconde en émet 7 à la seconde et la troisième, la pythagoricienne pas moins de 11! seules les tierces et les sixtes du TEQJ, sont très voisines de celles de la GBTT puisque dans le TEQJ, une tierce comme FA_2 LA_2 bat à 7,5 à la seconde (7 dans la GBTT). Notre attention s'est donc plus spécialement portée sur ces intervalles de tierces et de sixtes qui donnent aux trois gammes traditionnelles (gamme de Zarlin, gamme de Pythagore et GBTT) une couleur si différente, en particulier sur le plan harmonique. Or les tests auxquels nous avons procédé comme l'écoute du jeu des musiciens d'orchestre nous ont montré que :
– d'une part, les tierces et les sixtes majeures pythagoriciennes nous paraissent en général trop hautes et trop battantes sur le plan harmonique, excepté lorsque la note formant tierce ou sixte dans un accord ou une agrégation harmonique a fonction de sensible ou, ce qui revient au même, participe à un mouvement chromatique ascendant,
– d'autre part, les tierces et les sixtes majeures naturelles nous paraissent, au contraire, nettement trop basses, même sur le plan harmonique mais cette fois dans presque tous les cas, tout au moins dans la musique allant de Mozart à nos jours.

Cela signifie donc qu'en règle générale, notre oreille s'accommode au mieux d'une tierce moyenne intermédiaire entre la tierce naturelle (qui est donc la valeur la plus resserrée que peut prendre la tierce majeure) et une tierce pythagoricienne. Cette tierce intermédiaire plus proche de la tierce pythagoricienne que de la tierce zarlinienne n'est autre que la tierce de la GBTT ou du TEQJ, ce qui revient au même dans la mesure où ces deux tierces sont pratiquement les mêmes. Dans ces conditions les tierces zarliniennes et pythagoriciennes ne peuvent nous apparaître que plus ou moins fausses toutes les fois que le contexte tonal ou harmonique ne justifie pas une déviation expressive. C'est

---

[1] Puisque la quinte du second degré, très faussée dans la gamme de Zarlin n'apparaît jamais, comme nous venons de le signaler, dans les expériences de Van Esbroeck et Monfort.

bien ce qui explique pourquoi, en règle générale, la GBTT est préférée aux gammes de Zarlin et de Pythagore : en dépit du raccourcissement de ses quintes, c'est elle qui, en moyenne, paraît la plus juste.

Mais le fait qui s'impose à la suite de ces tests lorsqu'on fait intervenir également le TEQJ, c'est que ce tempérament l'emporte de façon très nette sur tous les autres systèmes comme le laissaient prévoir les critiques d'E. Leipp à l'encontre d'un accord réalisé strictement selon les fréquences de la GBTT ou les conclusions de Van Esbroeck et Monfort dont nous avons fait état (voir p. 144). Le nombre toujours croissant d'approbations concernant l'accord des pianos selon le TEQJ ne peut que nous conforter dans cette opinion.

En jouant en effet de véritables extraits d'œuvres musicales qui ne se cantonnent pas au registre du medium mais couvrent une étendue allant de 4 à 7 octaves, on s'aperçoit qu'aucun des trois grands systèmes traditionnels, même la GBTT, n'est de nature à donner entièrement satisfaction à un musicien : lorsqu'un accord selon la GBTT est réalisé conformément à la théorie avec des octaves rigoureusement justes physiquement et des quintes tempérées sur les 7 ou 8 octaves du piano, l'aigu sonne trop bas et le grave trop haut. Ainsi E. Leipp écrit-il, dans *Acoustique et Musique,* 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 anormale; les sons graves sont théoriquement trop bas, souvent de plus d'un quart de ton, les aigus sont trop hauts d'autant... ».

Cette tendance à agrandir les octaves qui n'est pas limitée à l'accord des pianos a été remarquée par de nombreux musiciens, musicologues et acousticiens. Même Van Esbroeck et Monfort qui n'avaient expérimenté que sur une octave et demie l'avaient noté dans la mesure où ils avaient pu établir qu'une quinte ou une octave agrandie d'un comma sonne presque aussi bien qu'une quinte ou une octave juste alors que les mêmes intervalles raccourcis d'un comma sonnent très faux. Mais c'est aussi le cas de Roederer qui écrit dans *Introduction to Physics and Psychophysics of Music,* p. 155 que « l'octave physiquement juste est constamment jugée plate par les musiciens ».

Ce qui est intéressant à relever, c'est que cette tendance à agrandir les octaves n'est pas signalée par ces auteurs comme limitée à l'extrême grave ou à l'extrême aigu, registres où elle serait seulement plus accusée. Différentes explications ont été proposées pour expliquer ce phénomène : E. Leipp dans *Acoustique et Musique* invoque l'inharmonicité des cordes du piano (voir p. 204) et également les propriétés de l'oreille (voir p. 233).

Nous aurions tendance, quant à nous, à y voir une confirmation de la tendance des accordeurs musiciens et des musiciens libres de leurs fréquences à établir un tempérament égal dans le cadre d'une quinte juste, tendance qui débouche sur le TEQJ : le partage de la quinte en 7 demi-tons égaux fournit en effet un demi-ton légèrement plus grand que le demi-ton de la GBTT; il en résulte nécessairement un élargissement des octaves mais également de tous les autres intervalles. Or, on a noté la tendance des musiciens à agrandir systématiquement tous les intervalles même en l'absence d'une attraction tonale caractérisée. L'observation en a été faite par Van Esbroeck et Monfort mais aussi par le Russe Anfilov dans *Physique et Musique* et aussi par l'Américain Roederer. E. Leipp écrit, quant à lui, dans *Acoustique et Musique :* « C'est comme si le musicien était emporté par son élan plus loin qu'il ne le désire. » Cette tendance à l'élargissement des intervalles ne peut guère être remarquée si l'ambitus ne dépasse pas une octave et demie (cas de l'« orthoclavier » de Van Esbroeck et Monfort) puisque, si notre hypothèse est exacte, l'élargissement est d'autant plus marqué que l'intervalle est plus grand et comporte davantage de demi-tons : cela expliquerait pourquoi, lorsqu'il est limité au médium, un accord selon la GBTT reste acceptable; mais tout change lorsqu'on s'écarte vers l'aigu ou le grave : l'écart entre la GBTT et le TEQJ s'accroît alors de façon très sensible : c'est ainsi que dans le TEQJ, une sixte redoublée comme DO$_3$ LA$_4$ ou une tierce deux fois redoublée (17^{e}) comme DO$_3$ MI$_5$ ne présentent plus du tout des valeurs pratiquement équivalentes à celles des intervalles correspondants de la GBTT[1] mais atteignent des valeurs pythagoriciennes : dans le TEQJ, en effet, DO$_3$ LA$_4$ est la somme de trois quintes justes (DO$_3$ SOL$_3$ + SOL$_3$ RÉ$_4$ + RÉ$_4$ LA$_4$) et DO$_3$ MI$_5$ en totalise 4, ce qui rapproche, lorsqu'on atteint des intervalles de cet ambitus, le TEQJ de la gamme de Pythagore.

Bien différent de la GBTT dont il **s'écarte tout autant que la gamme de Pythagore et même bien davantage pour peu que l'ambitus dépasse 2 octaves — et il atteint fréquemment 4 octaves — le TEQJ ne l'est pas moins de la gamme de Pythagore** avec laquelle il n'a en commun du grave à l'aigu qu'un cycle de quintes justes. Mais il s'en écarte par un tempérament égal, la confusion des notes enharmoniques, des tierces et des sixtes voisines de celles de la gamme bien tempérée et un agrandissement progressif de tous les intervalles proportionnellement à leur ambitus. Toutes ces caractéristiques semblent bien répondre aux exigences de l'oreille telles qu'elles ressortent des observations des acousticiens et des nôtres.

Seul d'ailleurs le TEQJ permet de concilier des exigences d'oreille considérées jusqu'ici comme contradictoires telles que le maintien d'un tempérament égal ou de tierces tempérées (sensiblement égales à celle de la GBTT) dans une gamme présentant par ailleurs des quintes rigoureusement justes.

---

[1] Comme c'est le cas pour des intervalles simples, non redoublés comme DO$_3$ MI$_3$ ou DO$_3$ LA$_3$, par exemple.

Relevés de fréquences

Les mesures directes de la hauteur des notes exécutées par les instrumentistes d'orchestre ou les chanteurs n'infirment nullement l'utilisation du TEQJ en tant que justesse de référence. Mais ici le système de référence n'est pas réellement matérialisé comme il peut l'être dans des tests auditifs réalisés à partir d'instruments à sons fixes : c'est que, comme l'ont remarquablement montré Van Esbroeck et Monfort dans *Qu'est-ce que jouer juste?*, un tel système n'existe que dans notre esprit : c'est une échelle mentale, *un code musical implicite* dont le musicien s'écarte à tout instant, soit involontairement parce que toute exécution comporte obligatoirement des imperfections et qu'il existe donc toujours une marge entre la pensée musicale et sa réalisation pratique, soit volontairement lorsque la déviation correspond à une intention expressive commandée par le contexte musical. Citons à ce sujet Carl E. Seashore qui écrit dans *Psychology of Music* (1938 New York, London, Ed. Mc Graw Hill) :

« L'expression artistique du sentiment en musique consiste essentiellement à s'écarter esthétiquement de la règle : du son simple, de la hauteur exacte, etc. »

Et cette règle, ce code implicite entre interprète et auditeur sans lequel la déviation expressive ne pourrait être perçue, c'est, dans le domaine des hauteurs, l'échelle de référence.

Ainsi s'explique qu'au cours de ses diverses réapparitions tout au long d'une œuvre, une même note puisse présenter des hauteurs différentes, l'écart entre les valeurs extrêmes pouvant atteindre jusqu'à 2 commas (1/4 de ton). Cependant ces déviations ne sont pas cumulatives mais s'effectuent pour chaque note, de part et d'autre d'une hauteur moyenne qui appartient à la gamme de référence : il ne peut d'ailleurs qu'en être ainsi sinon, étant donné l'importance même de ces déviations, il se produirait des dérapages qui feraient que le musicien perdrait totalement de vue la tonalité de départ et qu'un morceau commencé dans un ton se terminerait... dans un autre ayant le même nom mais situé un demi-ton ou un ton en dessous. Certaines chorales peu exercées et chantant *a cappella* se permettent bien de tels dérapages; mais rien de tel ne peut se produire dans un ensemble instrumental en raison de l'existence d'un certain nombre de notes absolument fixes comme celles qui sont données par les cordes à vide des instruments à cordes, par exemple.

La fixité moyenne de l'intonation est donc une des données de notre musique instrumentale et, par suite, de toute notre musique dans la mesure où la musique instrumentale lui a imposé ses lois. C'est ainsi que, même en musique vocale où rien ne s'oppose en principe à son existence, le dérapage tonal n'est pas toléré. Lorsqu'en musique instrumentale, un musicien amorce un dérapage, « détonne » comme on dit, il ne tarde pas à se heurter durement à ces sortes de garde-fous que constituent ces notes fixes matérialisées dont nous avons parlé ci-dessus. Pour éviter ces rappels à l'ordre assez douloureux, le musicien doit donc tendre à avoir en mémoire la hauteur de ces notes et si possible celle des notes intermédiaires : c'est l'ensemble de ces notes pensées de façon fixe qui forme l'échelle de référence; ce n'est que lorsque cette échelle s'est parfaitement gravée en mémoire à la suite d'une éducation musicale prolongée, que le musicien peut se permettre n'importe quelle déviation expressive sans pour autant détonner.

Pour parvenir à mettre en lumière cette échelle, il convient donc en principe de multiplier les relevés de fréquences de chacune des notes et d'en faire la moyenne. C'est à un travail de ce genre que se sont livrés un certain nombre d'acousticiens en cherchant à reconnaître à travers ces statistiques l'un des trois grands systèmes traditionnels (mais non le TEQJ dont l'existence ne paraît pas avoir été soupçonnée jusqu'à ce jour).

Cornu et Mercadier de 1869 à 1872 ainsi que Greene en 1937, tous trois cités dans *Qu'est-ce que jouer juste?*, ont fait des relevés d'après des mélodies chantées ou exécutées au violon ou au violoncelle. Tous trois ont conclu à l'usage par les musiciens libres de leurs fréquences, de la gamme de Pythagore; cependant ne s'agissait-il pas encore ici « d'artefacts » au sens où l'entend E. Leipp puisque ces mélodies étaient exécutées sans accompagnement. Rien n'autorise à affirmer que ces instrumentistes se seraient comportés exactement de la même manière s'ils avaient été accompagnés ou s'étaient trouvés au sein d'un ensemble orchestral : on sait en effet que la perception des rapports d'intervalle est beaucoup plus précise en harmonie qu'en mélodie en raison de la présence simultanée des deux sons composant l'intervalle et du phénomène de battements (voir « Acoustique des hauteurs », p. 209).

Les conclusions de Small (1937) également consignées dans *Qu'est-ce que jouer juste?*, sont nettement plus nuancées. Comme la plupart des acousticiens ayant procédé à des relevés, Small désigne par « déviation », l'écart qui existe entre la valeur moyenne des hauteurs ou des intervalles relevés et celle des hauteurs et intervalles correspondants de la GBTT. L'intérêt principal des travaux de Small réside dans le fait qu'il étudie les déviations des notes et des intervalles en rapport avec la fonction tonale des notes et la nature des intervalles considérés, ne se contentant donc pas d'une étude purement statistique. Ayant ainsi dressé le bilan des bons violonistes, il conclut :

1) les déviations des notes tempérées sont prépondérantes vers l'aigu,
2) ces déviations sont en moyenne de 20 cents (environ 1 comma) : on trouve 10 cents ou plus pendant 60 % du temps et 20 cents ou plus pendant 31 % du temps,
3) ces déviations peuvent s'imputer soit des imperfections d'exécution

accidentelles ou systématiques, soit aux déformations subjectives dues à l'intensité, soit à une tendance musicale; on constate que :

a) la sensible est haussée dans 85 % des cas,
b) la sous-dominante baissée dans 80 % des cas,
c) les intervalles mineurs et diminués sont contractés dans 51 % des cas,
d) les intervalles chromatiques dépassent l'altération dans 50 % des cas,
e) les intervalles majeurs et augmentés sont dilatés dans 44 % des cas.

Ces résultats très précis sont fort intéressants car ils montrent que les intervalles majeurs et même augmentés restent tempérés dans 56 % des cas, toutes les fois sans doute où une attraction du type de celles décrites aux points *a)* et *b)* ne s'exerce pas sur l'intervalle considéré, c'est dire qu'une tierce majeure, par exemple, ne se dilate en tendant vers des valeurs pythagoriciennes que si la tierce de l'accord subit une attraction tonale (cas d'une note sensible). Ces faits confortent notre opinion que la norme ou justesse de référence n'est pas la justesse pythagoricienne et que ce qu'on prend quelquefois pour des rapports pythagoriciens est en fait le résultat d'attractions tonales qui écartent l'intervalle de sa valeur moyenne en l'amenant selon les cas, à se dilater ou à se contracter. Il est à noter que les intervalles chromatiques qui sont pourtant toujours le siège d'attractions caractérisées ne donnent également lieu à des déviations que dans 50 % des cas. Cela tend à prouver, qu'en cas d'attraction, un intervalle peut se déformer ou au contraire, ne pas se déformer, sans cesser pour autant de paraître juste : c'est heureux car, dans le cas contraire, *un piano, par exemple, paraîtrait toujours faux!!* il en irait de même si la justesse de référence était de nature pythagoricienne comme on l'a quelquefois avancé : or un piano peut être parfaitement juste, à l'oreille du moins! La réciproque n'est pas vraie : un intervalle déformé, qu'il soit contracté ou dilaté par rapport à l'intervalle juste de référence, paraît toujours faux si cette déformation n'est pas justifiée par le contexte. Ainsi s'explique que dans les expériences de Van Esbroeck et Monfort, la GBTT l'emporte sur la gamme de Pythagore et sur celle de Zarlin; c'est que dans un ambitus réduit à un peu plus d'une octave, c'est, de ces trois gammes, la GBTT qui se rapproche le plus de la gamme de référence, c'est-à-dire à notre avis du TEQJ, par ses tierces et ses sixtes en particulier.

Ce qui est sans doute regrettable, c'est que Small ne paraît pas s'être intéressé à deux catégories d'intervalle : d'une part aux grands intervalles dits intervalles redoublés, par exemple aux 10ᵉ (tierces une fois redoublées), ou aux 15ᵉ (octaves redoublées), d'autre part aux intervalles dits « justes » comme les quintes, les quartes ou les octaves. Sans doute parce qu'il pensait que les déviations qui affectaient les premiers, c'est-à-dire les intervalles redoublés, ne pouvaient être que de même nature que celles qui affectaient les intervalles simples correspondants et que les seconds (quintes quartes et octaves) ne pouvaient pas, contrairement aux sixtes et aux tierces, être le siège de déviations autres qu'accidentelles et dues à la maladresse de l'exécutant. Or, ce sont précisément ces intervalles qui auraient pu nous fournir des indications sur la nature du tempérament utilisé : nous avons vu en effet que l'utilisation du TEQJ a pour conséquence une dilatation systématique de tous les intervalles par rapport à ceux correspondants de la GBTT, dilatation d'autant plus évidente que les intervalles sont plus grands et comportent davantage de demi-tons.

Dans *Vues nouvelles sur le Monde des Sons* (Paris, Dunod, 1960), Fritz Winckel fait un compte rendu des travaux de J. F. Nickerson consignés dans le *Journal de la Société Américaine d'Acoustique* (JASA) chapitre XXI, p. 593-595. Il écrit :

« En ce qui concerne la musique instrumentale, J. F. Nickerson a effectué des travaux très concluants sur l'exactitude de l'intonation. Il a fait jouer le *Kaiserquartett* de Haydn par six associations de quatuors différentes, qu'il a enregistrées sur film sonor de 16 mm. L'enregistrement, dépouillé par stroboscopie, a montré que les sons étaient généralement plus proches de ceux du système pythagoricien que de ceux de la gamme dite " naturelle " ou de Zarlin où les intervalles sont des rapports de fréquences plus simples. Nickerson pense par ailleurs que la justesse absolue de l'accord des instruments n'a qu'une importance relative en ce qui concerne la justesse dans l'exécution musicale. »

C'est aux travaux de Nickerson, mais aussi à ceux de Greene que John Backus fait allusion lorsqu'il écrit dans *The Acoustical fondations of Music* (Éd. John Murray, London, 1970) :

« Il est actuellement possible avec un appareillage acoustique moderne de mesurer les intervalles joués par les violonistes. Il a été établi que les instruments à cordes tendent plutôt vers les intervalles pythagoriciens que vers les intervalles zarliniens... La même chose se produit en chant choral. On a pu montrer que les groupes choraux avaient tendance à chanter les tierces majeures hautes contrairement à l'opinion de ceux qui proclament que les chorales tendent à rétablir la justesse "naturelle". »

En ce qui concerne le chant choral, c'est cette fois aux résultats obtenus par W. Lottermoser et J. Meyer que J. Backus se rapporte, résultats publiés dans la revue allemande *Acoustica* de 1960 (chapitre X, p. 181-184) sous le titre *Frequenzmessungen an Gesungen Akkorden.*

Cette dernière remarque est intéressante car elle montre que les tendances signalées ne sont pas propres aux instruments à cordes et ne tiennent donc pas seulement à l'accord de ces instruments par quintes justes.

Mais les conclusions les plus complètes nous paraissent être celles de J. G. Roederer qui, s'appuyant sur les travaux de W. D. Ward[1], écrit dans *Introduction to Physics and Psychophysics* (Éd. Springer, Heidelberg, 1974) :

« Les résultats expérimentaux montrent d'une façon très convaincante qu'en moyenne, chanteurs et instrumentistes à cordes jouent ou chantent les notes aiguës des intervalles de tierces et de sixtes majeures en les forçant vers l'aigu. On pourrait en conclure à une préférence pour l'échelle pythagoricienne. Cependant, il ne faut pas s'empresser de conclure : les mêmes expériences montrent que les quintes et les quartes et même l'intouchable octave[2] sont en moyenne chantées trop haut. Plutôt que de révéler une préférence pour une gamme donnée qui serait la gamme de Pythagore, ces préférences montrent, *ce qui est tout à fait inattendu, une tendance universelle à jouer et à chanter haut les intervalles musicaux.*

Par ailleurs ces expériences apportent un résultat peut-être encore plus significatif : il apparaît en effet que les fluctuations individuelles en hauteur d'une note donnée au cours d'une exécution musicale sont très importantes. Cela concerne aussi bien le vibrato que les variations de la hauteur de cette note lorsqu'elle réapparaît plusieurs fois au cours d'une même œuvre. Dans les fluctuations de hauteurs, on atteint des écarts qui vont bien au-delà de ceux qui séparent les différentes gammes à tel point qu'aucune d'entre elles ne paraît plus concernée. »

La première conclusion de J. G. Roederer est parfaitement conciliable avec l'utilisation comme justesse de référence du TEQJ qui présente effectivement un élargissement systématique de tous les intervalles de la GBTT. Le problème consiste à savoir si cet élargissement correspond bien, en moyenne, à celui du TEQJ; il semble qu'il ne puisse guère en aller autrement jusqu'au MI_4 correspondant à la chanterelle des violons. En effet, jusqu'à cette hauteur, les notes jouées par les instrumentistes de l'orchestre doivent, en règle générale, rester enserrées dans les quintes justes formées par les cordes à vide des instruments à cordes : dans le cas contraire, il y aurait fatalement dérapage par rapport à ces notes fixes avec les conséquences dommageables que cela peut avoir sur la justesse. Au-delà de MI_4, aucune note fixe matérialisée n'encadre plus l'intonation et un agrandissement plus marqué des intervalles devient possible. Cependant notre expérience de l'accord du piano selon le TEQJ nous a montré qu'un élargissement des intervalles, nettement supérieur à celui présenté par ce tempérament, n'est guère possible excepté pour la dernière octave du piano (au-delà de DO_6) où les notes peuvent être davantage « forcées » vers l'aigu (voir p. 233).

---

[1] W. D. Ward, *Foundations of Modern Auditory Theory*, Ed. Academic Press, New York, 1970.

[2] C'est ainsi que nous traduisons « the almighty octave », ce qui veut dire mot à mot, « la toute-puissante octave », sans doute parce que les physiciens n'ont jamais admis qu'elle puisse correspondre à un rapport différent de 2/1.

La deuxième conclusion de J. G. Roederer rend compte des écarts importants qu'entraîne l'existence de déviations expressives. Il s'agit cette fois de déviations ponctuelles, facultatives et non systématiques comme dans le cas précédent. Ces déviations expressives ne vont pas d'ailleurs forcément dans le sens d'un agrandissement : selon la nature des intervalles et le contexte musical dans lequel ils s'inscrivent, il peut y avoir dilatation ou bien, au contraire, contraction (intervalles diminués ou mineurs, par exemple). L'ampleur de ces déviations dépend aussi de la personnalité de l'interprète : elles jouent dans le domaine des hauteurs un rôle comparable au « rubato » ou plus exactement peut-être au « phrasé » dans celui des mouvements et des rythmes et contribuent à donner à chaque interprète un style bien personnel et parfois aisément reconnaissable. Mais, comme l'indique E. Leipp dans *Acoustique et Musique,* l'étude systématique de toutes ces déviations reste à faire...

B) TRAVAUX DES MUSICOLOGUES

Le TEQJ, nous venons de le voir, semble répondre parfaitement aux exigences de l'oreille musicienne telles qu'elles apparaissent au travers de l'exécution d'œuvres musicales. Il reste maintenant à essayer d'expliquer pourquoi. Cette tentative peut paraître, à vrai dire, quelque peu présomptueuse : en agissant ainsi, n'allons-nous pas simplement élaborer une théorie de plus, tout aussi contestable que celles déjà existantes? Nous ne le croyons pas cependant : l'hypothèse que nous avançons semble cette fois s'appuyer sur des données purement musicales et non sur des idées préconçues, empruntées le plus souvent à des disciplines étrangères à la musique, idées auxquelles on essaie ensuite tant bien que mal de plier le fait musical.

C'est bien plus dans une réflexion d'ordre musicologique portant sur la nature et l'évolution du langage musical occidental que dans une approche purement physique ou physiologique du phénomène de justesse, que nous pensons, en effet, trouver une réponse à cette question : certes l'acoustique physique et la physiologie de l'audition nous apportent un certain nombre de données qu'il serait sans doute imprudent de négliger; il n'en reste pas moins que la diversité des langages musicaux, variables avec le temps et l'espace, prouve que la sensation de justesse est essentiellement liée à des facteurs culturels, et que toute justification faisant appel uniquement à des facteurs physiques ou physiologiques se situe obligatoirement à côté de la question. C'est sans doute ce qui explique, par exemple, le rejet par l'oreille musicienne de la gamme « naturelle » élaborée à partir de données exclusivement physique, alors que c'est à des fins essentiellement sociologiques ou esthétiques que doit répondre en définitive toute échelle musicale. Seule l'autorité des grands physiciens et mathématiciens, conjugués à l'ignorance regrettable des musiciens pour tout ce qui touche à l'acoustique musicale, explique qu'on ait pu, jusqu'à une époque récente, présenter la gamme de Zarlin comme la gamme de référence de la musique occidentale.

Cependant de nombreux musicologues semblent repousser actuellement cette hypothèse : une réflexion sur l'évolution du langage musical, de l'avènement de la GBTT à nos jours, les a convaincus que cette gamme « longtemps considérée comme une simple adaptation de la gamme de Zarlin, adaptation dont le but était seulement de faciliter les passages d'un ton dans un autre... a fini par s'établir comme la véritable gamme de la musique occidentale ». Ainsi s'exprime Alain Danéliou dans l' *Encyclopédie de la Musique* parue en 1959 sous la direction d'Igor Stravinsky (Éd. Fasquelle). C'est également la position de Jean Matras, qui après Alain Daniélou, écrit dans la même encyclopédie :

« La gamme utilisée actuellement en musique est la gamme chromatique bien tempérée. »

C'est aussi celle de S. Gut, telle qu'elle apparaît dans *Sciences de la Musique,* ouvrage paru en 1976 sous la direction de Marc Honegger (Bordas 1976), bien que l'auteur y affirme par ailleurs, que les chanteurs et les violonistes « tendent toujours instinctivement vers des valeurs pythagoriciennes »!

C'est encore celle de Harry Halbreich qui dans *La Musique,* encyclopédie publiée en 1979 sous la direction de Maurice Le Roux déclare :

« On observe dans le domaine des hauteurs l'évolution vers des échelles de tons et de demi-tons de plus en plus égaux avec aboutissement à la gamme bien tempérée, ce compromis spécifiquement européen, purement artificiel, qui a permis les édifices les plus gigantesques de la musique universelle, du Clavecin bien tempéré à la Tétralogie...

« Après un siècle de régence sous tutelle[1], la jeune science de l'harmonie prenait personnellement le pouvoir, régnant en souveraine sur un domaine tonal défriché et aplani par le bulldozer tempéré. On peut dire que les deux grands siècles de musique tonale, le XVIIIe et le XIXe, ont pu s'épanouir à partir du moment où le tempérament égal de Werckmeister leur ouvrait la totale liberté de circulation. Le Clavecin bien tempéré prend donc valeur de manifeste... »

On peut se demander ce qui a amené ces musicologues à affirmer sans hésitation que la GBTT était devenue la gamme de toute la musique occidentale : qu'elle soit devenue celle de toute musique destinée au clavier semble bien, à première vue, aller de soi; mais qu'elle soit également devenue la gamme de la musique orchestrale et vocale paraît moins évident et même contestable : c'est que, dans cette musique, comme nous l'avons déjà dit, la gamme de référence n'est nullement matérialisée en raison de déviations constantes dues soit à des inexactitudes d'exécution, soit à des déviations expressives (justesse expressive). Or ces musicologues ne semblent pas s'être livrés comme Van

---

[1] C'est ainsi qu'Harry Halbreich désigne et stigmatise les contraintes et servitudes qu'entraînait au cours des XVIIe et XVIIIe siècles l'usage de tempéraments inégaux les plus divers, contraintes et servitudes qui amenèrent après bien des aléas l'avènement du tempérament égal, appelé désormais gamme bien tempérée.

Esbroeck et Monfort (ou d'autres chercheurs) à des expérimentations statistiques portant sur le jeu des musiciens d'orchestre ou sur les exigences de l'oreille musicienne, expérimentations qui leur auraient permis d'essayer de dégager les caractéristiques et le profil de la gamme de référence.

Par ailleurs, la GBTT ne peut pas être en toute rigueur la gamme de la musique orchestrale : le principe de la GBTT repose en effet sur le raccourcissement léger mais cumulatif de toutes les quintes : or la musique orchestrale s'inscrit obligatoirement dans le cycle des quintes justes (réellement matérialisées celles-là) des instruments à cordes, cellule essentielle de l'orchestre. C'est d'ailleurs ce dernier constat qui explique la persistance actuelle des thèses pythagoricienne et zarlinienne puisque, dans la gamme de Zarlin comme dans celle de Pythagore, les quintes restent justes [1].

En fait, ce qui justifie la position des musicologues et leur hypothèse d'une généralisation de la GBTT à l'ensemble de la musique, c'est un autre constat : il semble en effet que, depuis l'avènement de la GBTT, il n'y ait plus de différences dans la façon de concevoir, de penser, et même d'interpréter la musique selon qu'elle s'adresse à l'instrument à clavier ou à l'orchestre : d'une part, parce que dans nombre d'œuvres musicales, le piano se mêle à l'orchestre ou à des instruments à cordes sans qu'il soit question de précautions particulières et sans que notre sens de la justesse en souffre, toutes les fois du moins que les musiciens et l'accordeur sont... à la hauteur; d'autre part, parce qu'il existe de nombreuses transcriptions pour le clavier d'œuvres primitivement destinées à l'orchestre et vice versa : Bach lui-même a excellé dans ce domaine comme en témoignent entre autres le célèbre concerto pour quatre clavecins et orchestre à cordes en LA mineur, adaptation d'un concerto pour quatre violons de Vivaldi, ainsi que d'innombrables transcriptions, pour l'orchestre et les chœurs, d'œuvres conçues primitivement pour le clavier. Mais ce qui a sans doute amené ces musicologues à conclure que la GBTT était bel et bien devenue la gamme de référence de toute la musique occidentale, c'est l'utilisation de plus en plus fréquente à l'orchestre de procédés d'écriture qui montrent que le compositeur et les musiciens ont fini par penser toute la musique en tempérament égal. Il en va ainsi de l'équivoque enharmonique où un DO♯ prend soudain le sens d'un RÉ♭ :

« On croit tenir un DO♯ et c'est un RÉ♭ qui vous reste dans la main », disait un critique musical en parlant de la musique de C. Franck : cette forme d'écriture n'a cessé de se développer au cours du XIXᵉ siècle où elle culmine avec Wagner, Franck et Fauré; mais l'effet d'équivoque n'est complet que si le DO♯ peut effectivement

---

[1] A l'exception de la quinte du second degré, raccourcie d'un comma dans la gamme de Zarlin.

être pris comme au piano pour un RÉ♭, ce qui suppose qu'il ne tende pas davantage vers le RÉ que vers le DO mais occupe exactement le milieu du ton DO-RÉ, et donc que le tempérament soit égal.

C'est pourquoi la position des musicologues concluant à la généralisation de la GBTT à toute la musique, pour insatisfaisante qu'elle soit à certains points de vue, nous paraît finalement plus perspicace que celle des théoriciens qui, constatant que la GBTT ne présentait pas de quintes justes, ont d'emblée écarté la possibilité pour l'orchestre de jouer en tempérament égal ou encore de ceux qui, déroutés par les variations continuelles de la hauteur des notes réellement jouées en musique orchestrale, en ont conclu à l'impossibilité de définir un système unique de référence.

La seule erreur de ces musicologues est, à notre avis, d'avoir totalement assimilé le tempérament égal à la gamme bien tempérée : sans doute ont-ils considéré comme négligeable la différence minime qui sépare une quinte juste d'une quinte de la GBTT (quinte « tempérée »); sinon leur hypothèse n'aurait pu que les conduire à définir comme gamme de référence le TEQJ lui-même, **hypothèse implicitement contenue dans l'affirmation que l'orchestre joue lui aussi, comme l'instrument à clavier, en tempérament égal.** En effet, transposé à l'orchestre, le tempérament égal présenté par la GBTT, ne pouvait que se transformer et s'agrandir à la dimension de la quinte juste puisque l'égalisation des demi-tons devait ici se réaliser dans un cadre légèrement plus grand que celui de la quinte « tempérée ». Or, les conséquences de cet agrandissement sont loin d'être négligeables : d'une part, parce qu'une quinte juste sonne fort différemment d'une quinte « tempérée », mais aussi parce que, comme nous l'avons vu, pour peu que l'ambitus dépasse deux octaves, le TEQJ s'éloigne davantage de la GBTT que la gamme de Pythagore (voir p. 150).

Il resterait à expliquer pourquoi, par un curieux effet en retour, c'est maintenant le TEQJ lui-même qui tend à s'imposer à la place de la GBTT, dans l'accord des instruments à clavier, le piano en particulier. C'est sans doute qu'il ne saurait y avoir deux systèmes de référence possibles pour une même musique, c'est-à-dire deux hauteurs différentes pour une même note considérée comme juste.

Or, de ces deux tempéraments, le TEQJ est incontestablement le plus musical : c'est en effet le seul qui soit conciliable avec le maintien de la justesse des quintes, qui est peut-être, comme l'ont montré Van Esbroeck et Monfort, une exigence d'oreille, mais plus sûrement encore, une donnée intangible de la pratique instrumentale orchestrale. Il en résulte que c'est maintenant l'accord du piano qui tend vers le TEQJ, comme le montre la tendance des bons accordeurs à rétablir la justesse des quintes et à agrandir les octaves.

Cette évolution, à notre avis inéluctable, est cependant entravée par la persistance de la théorie traditionnelle de la GBTT basée sur le raccourcissement de la quinte et enseignée dans les écoles d'accord.

Seuls parviennent à s'en échapper empiriquement et au prix de longs tâtonnements certains accordeurs chez lesquels le sens musical l'emporte sur l'application stricte de la théorie admise : c'est ce qui explique peut-être la pénurie partout constatée en accordeurs vraiment compétents.

CONCLUSION

LA JUSTESSE PHÉNOMÈNE ESSENTIELLEMENT CULTUREL

Nous venons de montrer que l'adoption du TEQJ en tant que justesse de référence de la musique occidentale était née de la nécessité de concilier le tempérament égal avec une exigence d'oreille : celle du maintien de la justesse des quintes, exigence matérialisée dans l'accord par quintes justes des instruments à cordes de l'orchestre.

Qu'on adopte notre thèse ou qu'on s'en tienne à celle des musicologues actuels concluant à une généralisation de la GBTT à l'ensemble de la musique occidentale, il apparaît clairement que la gamme de référence actuelle ne saurait s'expliquer par la seule résonance naturelle. De ce point de vue, les deux systèmes sont en effet aussi artificiels l'un que l'autre : à l'exception de l'octave dans la GBTT et de la quinte dans le TEQJ, tous les intervalles s'écartent notablement de la justesse naturelle.

Seul le caractère d'authenticité, de naturel que nous prêtons aux intervalles que nous tenons pour justes, a pu entretenir jusqu'à une époque récente cette illusion que la gamme ne pouvait être constituée que d'intervalles naturels et qu'elle était donc nécessairement la gamme de Zarlin, appelée encore gamme « naturelle ».

S'il en était ainsi, si la justesse était bien un phénomène naturel dérivant de la résonance, elle aurait un caractère universel et il y aurait dans le monde entier une seule échelle perçue comme juste; or, tel n'est pas le cas : pour le Malais ou l'Hindou, c'est nous qui chantons faux.

Il n'est pas davantage possible à notre avis d'expliquer la justesse musicale par la physiologie de l'audition, comme semble le penser R. Sandoz dans *La gamme bien tempérée, une nécessité physiologique* (Éd. des Isles CH – 2.015 Areuse) puisque, répétons-le, il n'existe pas de gamme universelle. A l'opposé de cette conception, mais s'appuyant également sur des considérations physiologiques, se situe celle d'E. Leipp qui, arguant du fait qu'il existe de profondes différences de perception d'un individu à l'autre quant à la perception des hauteurs, semble considérer qu'il existe pour ainsi dire autant de conception de la justesse que d'individus. Nous avons déjà eu l'occasion de déclarer que nous ne partagions pas ce point de vue et que, pour nous, les différences dans l'appréciation de la justesse ne correspondaient qu'à des différences de culture musicale. S'il existe bien en effet, comme l'a montré E. Leipp, des différences physiologiques d'un individu à l'autre en ce qui concerne la perception, il en existe sans doute encore bien davantage d'une race à l'autre. Or, il est évident que les différences de langage musical ne tiennent pas à ces différences physiologiques puisqu'un jeune oriental élevé en Europe ou ayant reçu une éducation musicale occidentale perçoit la musique exactement comme nous[1].

En réalité, le caractère naturel, vrai, authentique, que nous prêtons aux intervalles justes, procède seulement d'un long conditionnement à une échelle particulière : ainsi notre langue musicale nous paraît-elle naturelle au même titre que nôtre langue maternelle.

On comprend mieux ainsi que, sauf cas pathologiques (altérations des organes de l'audition, par exemple), les différences physiologiques n'aient guère de répercussions sur l'appréciation de la justesse : celle-ci ne peut être que la même pour tous les auditeurs se réclamant d'une culture musicale déterminée; elle ne peut varier qu'avec le conditionnement : c'est pourquoi nous n'entendons pas la musique comme un Hindou ou un Malais, ou même comme l'entendait probablement un musicien occidental du Moyen Age ou du XVII^e^ siècle.

Le fait que le conditionnement joue un rôle essentiel dans l'appréciation de la justesse ne signifie nullement que les lois de la résonance ou de la physiologie n'en aient joué aucun dans la constitution des échelles, puisque les sons ont bien une réalité physique et que nous ne les percevons qu'à travers un processus physiologique; mais l'acoustique physique et physiologique se contente apparemment de nous fournir des données que chaque langage musical organise ou interprète différemment, en en rejetant certaines, en en modifiant ou en en

---

[1] En effet, dans le cadre d'une culture musicale déterminée, les modèles de référence sont les mêmes pour tous les individus. Peu importe alors la façon dont ils perçoivent individuellement ces modèles et les différences qui peuvent alors exister effectivement entre les images mentales que chaque individu se fait des modèles en question. Ce n'est pas de cela que résulte la sensation de justesse ou de fausseté mais uniquement d'un processus d'identification visant à apprécier la conformité ou la non-conformité entre une image reçue et l'image du modèle stockée en mémoire à la suite d'un conditionnement prolongé : d'où l'impression trompeuse d'objectivité, de naturel qui s'attache à la sensation de justesse comme à tout autre conditionnement. Lorsque des divergences se font jour dans l'appréciation de la justesse, elles ne sauraient alors venir que d'une définition insuffisante de l'image du modèle stockée en mémoire. Une telle défaillance peut tenir, soit à des causes pathologiques (surdité partielle, par exemple) soit à un manque d'éducation musicale. Il peut enfin arriver qu'à la suite d'une altération subite ou progressive des organes de l'audition, un même modèle ne donne plus une image conforme à celle stockée depuis longtemps en mémoire : le sujet ne reconnaît plus alors les sons, les hauteurs, les intervalles ou les timbres dont il avait l'habitude. Il les entend déformés et porte sur eux des jugements aberrants.

privilégiant d'autres, bref en les soumettant à ses lois particulières et à son évolution.

C'est pourquoi, bien qu'en principe « toutes les échelles musicales soient bonnes et qu'il suffise pour cela d'apprendre à s'en servir et de conditionner suffisamment les auditeurs » (E. Leipp, *Acoustique et Musique,* p. 143), en fait, de toutes les échelles imaginées par les théoriciens, il en est peu qui aient été viables ou le soient demeurées. Il en est en effet un peu en musique des idées théoriques comme des données physiques et physiologiques : le langage musical n'en retient que ce qui est compatible avec ses besoins, son évolution et également avec la pratique instrumentale existante. Comme le déclarent fort pertinemment Van Esbroeck et Monfort :

« Une gamme, l'histoire nous le montre abondamment, n'est qu'*une échelle de sons fixés selon un système extérieur à nous-mêmes* – la technique de l'accordage des instruments – et l'habitude d'entendre ces sons-là à l'exclusion des autres, devient *une éducation de l'oreille, laquelle finit par trouver du charme à ces sons-là et à ceux-là seulement.* » (« Qu'est-ce que jouer juste? », p. 84.)

« Ce n'est pas l'oreille qui a dicté ses lois aux instruments à sons fixes. Au contraire, la technique de l'accordage des instruments a conditionné l'éducation de l'oreille musicale[1]. » (« Qu'est-ce que jouer juste? », p. 114.)

En ce qui concerne la musique occidentale, il est en tout cas hors de doute que l'accordage des instruments à clavier a joué et continue à jouer un rôle de premier plan dans ce conditionnement de l'oreille.

Ainsi s'explique qu'étant actuellement conditionnés aux tierces « hautes » de la GBTT ou du TEQJ, nous trouvions la tierce de Zarlin, pourtant naturelle (puisque conforme aux lois de la résonance), presque toujours trop basse, alors qu'il semble bien que pour les musiciens du XVII^e siècle conditionnés à l'accord mésotonique qui régnait alors sur les clavecins et sur les orgues, c'était exactement le contraire : les tierces de la GBT naissante et celles des tempéraments dits « de transition » (entre la gamme mésotonique et la GBTT proprement dite) leur paraissaient inacceptables voire scandaleuses parce que trop hautes et troublées par de nombreux battements : ne les désignaient-ils pas, selon les cas des noms peu flatteurs de « loups » ou de « chèvres bêlantes »...

Pourtant la gamme mésotonique qui avait sans doute conditionné plusieurs générations de musiciens, ne résista guère à l'évolution inéluctable du langage musical vers la liberté totale de modulation. Bach et Rameau furent sans doute les premiers à le deviner et à opter résolument pour la GBT qui, malgré les réticences de certains puristes et

---

[1] Après une telle déclaration qui semble bien prendre en compte les résultats de leurs expériences montrant une préférence pour la GBTT, excepté pour la quinte tempérée, on peut s'étonner que Van Esbroeck et Monfort n'aient pas remis en question leur conclusion en faveur de la justesse pythagoricienne comme justesse de référence de la musique occidentale.

après une courte période transitoire, s'imposa définitivement dès la seconde moitié du XVIII^e^ siècle, modifiant considérablement les habitudes d'oreille.

De ce nouveau conditionnement, l'oreille semble n'avoir retenu essentiellement que l'égalité des demi-tons et par suite la confusion des notes enharmoniques, mais non le raccourcissement de la quinte *théoriquement* nécessaire pour aboutir à l'égalisation recherchée. Ce raccourcissement, considéré en effet comme une concession faite à l'instrument à clavier pour lui permettre d'aborder tous les tons, ne concernait nullement les instruments d'orchestre et en particulier les instruments à cordes qui continuèrent à s'accorder par quintes justes. Mais, comme dès l'avènement de la GBT sur les claviers, on se mit à penser toute la musique en tempérament égal ainsi que l'atteste la multiplication des équivoques enharmoniques, les musiciens d'orchestre furent nécessairement conduits à concilier le tempérament égal avec l'accord par quintes justes des instruments à cordes. Ainsi naquit sans doute de la pratique elle-même, une gamme bien tempérée à quintes justes qui prit à l'orchestre la place de la gamme bien tempérée théorique (GBTT) et qui n'est autre que le tempérament égal à quintes justes (TEQJ). Celui-ci s'imposa donc en définitive dans le conditionnement de l'oreille : on conçoit en effet aisément que, toutes choses étant égales par ailleurs, la quinte juste en raison de sa prégnance[1] particulière tende à l'emporter sur la quinte « tempérée », intervalle théorique, aussi difficile à concevoir qu'à réaliser et que seul un accordeur longuement entraîné parvient tant bien que mal à faire passer dans la pratique.

En fait cette évolution hautement probable de la pratique instrumentale, et parallèlement du sentiment de la justesse telle que nous venons de la décrire, fut sans doute tout à fait inconsciente. L'étude n'en a jamais été faite pour la raison bien simple que c'est seulement très récemment qu'on a émis l'hypothèse selon laquelle la justesse devait essentiellement résulter d'un processus de conditionnement.

Depuis le XVI^e^ siècle en effet, c'est-à-dire depuis la naissance de la théorie de Zarlin et jusqu'à une époque récente, les physiciens, les acousticiens et à leur suite les musiciens et les musicologues, avaient toujours admis, sans examen approfondi de la question, que la justesse ne pouvait être que « naturelle » et que la gamme occidentale ne pouvait donc être que celle de Zarlin. Aussi les différents systèmes d'accord des claviers, que ce soit l'accord mésotonique du XVII^e^ siècle ou la GBT, à partir du XVIII^e^ siècle, loin d'être considérés comme des modèles de justesse, apparurent-ils plutôt comme des pis-aller destinés seulement à permettre aux instruments à clavier de moduler mais toujours au détriment de la justesse (naturelle!!!) de certains intervalles : les quintes dans

---

[1] C'est ainsi que les philosophies de la structure désignent la force et la stabilité d'une structure perceptive qui s'impose à nous plus vivement que les autres structures possibles. Exemple : l'angle droit en géométrie.

la gamme mésotonique, les quintes et surtout les tierces dans la GBT. D'où cette idée fausse qu'il existait deux sortes de justesses : d'une part, la justesse musicale confondue avec la justesse naturelle, celle qu'on attribuait à l'orchestre à cordes et à tous les instruments à sons variables, d'autre part, la justesse tempérée fatalement imparfaite (puisque s'écartant de la justesse « naturelle ») et réservée à l'accord des instruments à sons fixes et à clavier. Bien des chercheurs s'en tinrent à cette théorie duelle. Même Van Esbroeck et Monfort n'y échappèrent point : en émettant l'hypothèse que la justesse musicale n'était pas d'essence zarlinienne mais pythagoricienne, ils n'en continuaient pas moins à opposer la justesse musicale à la justesse tempérée.

Sans doute la théorie traditionnelle du tempérament égal (GBT) fondée sur le raccourcissement des quintes est-elle responsable de cet état de chose puisqu'elle a longtemps empêché chercheurs et musicologues d'émettre l'hypothèse que l'orchestre, lui aussi, jouait maintenant en tempérament égal, celui-ci paraissant inconciliable avec l'existence de quintes justes! Il est pourtant possible de montrer que depuis l'avènement du tempérament égal, il n'existe qu'une conception de la justesse qui soit parfaitement conciliable avec les règles implicites de la pratique instrumentale.

Quelles sont en effet les règles implicites de la pratique instrumentales qui fixent avec précision la hauteur moyenne de chaque note de l'échelle de référence actuelle? Elles sont, croyons-nous, au nombre de trois :

– la première, c'est l'accord des instruments à cordes par quintes justes, qui fournit un certain nombre de notes absolument fixes et constitue, ainsi que nous l'avons déjà dit, une sorte de garde-fou de l'intonation,

– le deuxième, qui découle de la première, c'est la nécessaire **fixité moyenne** de l'intonation qui fait que, tout au long d'une œuvre, le diapason choisi doit, dans toute la mesure du possible se maintenir en raison même de l'existence d'un certain nombre de notes fixes matérialisées. Cela est vrai même en chant choral *a capella* où n'existe pourtant aucune note fixe réellement matérialisée; pourtant une chorale qui baisse laisse une impression fâcheuse. La règle, c'est donc bien la fixité moyenne de l'intonation et le respect du diapason choisi au départ,

– la troisième, qui tient à notre conditionnement au tempérament égal, c'est qu'à tout moment une note quelconque peut se transformer en la note enharmonique : un DO♯ peut se transformer en RÉ♭, un MI♯ en FA, etc.

Les deux premières règles excluent formellement de la musique occidentale la justesse naturelle à base de quintes justes, d'octaves justes et de tierces naturelles, car il est mathématiquement impossible de conserver à la fois les quintes et les octaves justes et les tierces naturelles. Non seulement il est impossible, comme on le sait depuis longtemps, d'accorder un instrument à clavier de cette façon, mais il est également impossible à un instrument d'orchestre et à l'orchestre lui-même de jouer ainsi, contrairement à ce qu'on a longtemps prétendu ou laissé entendre. En effet, on sait que toutes les notes de notre musique sont reliables par un cycle de quintes; si, à partir des notes données par les cordes à vide des instruments à cordes de l'orchestre, on maintient toutes les octaves et toutes les quintes justes, les tierces et les sixtes qui en résultent sont forcément pythagoriciennes (et non naturelles). Supposons alors qu'un instrumentiste veuille émettre à partir de l'une des notes fournies par les cordes à vide (ou tout autre note du système fixe pythagoricien défini ci-dessus) une sixte ou une tierce naturelle. Il va alors se décaler dans un sens ou un autre (selon que l'intervalle est ascendant ou descendant) d'un comma syntonique [1] par rapport au cycle des quintes justes auquel appartiennent les notes des cordes à vide. Si le musicien continue à jouer, conformément à notre hypothèse selon la justesse naturelle avec des quintes et des octaves toutes justes, le décalage d'un comma va se prolonger jusqu'à ce qu'intervienne une nouvelle tierce ou sixte naturelle. Un nouveau décalage va alors se produire dans un sens ou un autre, les commas s'ajoutant ou se retranchant selon le contexte à chaque apparition d'un intervalle de tierce ou de sixte et entraînant alors une mouvance généralisée de l'intonation absolument incompatible avec l'existence de notes fixes matérialisées (celles des cordes à vide) et avec la fixité du diapason choisi. Un morceau commencé en MI pourrait très bien se terminer sur un MI situé un ou deux tons plus haut ou plus bas que le ton du début...

La stabilité ne pourrait être sauvegardée qu'en faussant certaines quintes afin de compenser les décalages inévitables entraînés par l'utilisation de tierces ou de sixtes naturelles. Mais alors, pour maintenir certains intervalles naturels, il faudrait en fausser d'autres. C'est bien pour cette raison que la fameuse gamme « naturelle » ou gamme de Zarlin présente sur le second degré une quinte fausse amputée d'un comma. Ainsi cette gamme dite « naturelle » est-elle amenée à renier ses propres principes pour prétendre à l'existence *puisque le maintien de la justesse naturelle de tous les intervalles ne permet absolument pas de définir une échelle : toutes les notes de la gamme pouvant alors occuper toute les hauteurs possibles!*

Ce qui est curieux et paradoxal, c'est que ce sont de grands physiciens et de grands mathématiciens qui, du XVI^e au XX^e siècle, se sont faits les défenseurs souvent acharnés d'une théorie illogique et, en tout cas, parfaitement incompatible avec la pratique musicale. Nous ne voyons qu'une explication possible, c'est qu'ils n'étaient pas aussi fins musiciens que savants physiciens [2]. Pour eux sans doute, fausser une quinte

---

[1] Rappelons qu'on appelle comma syntonique le comma qui sépare une tierce zarlinienne d'une tierce pythagoricienne. Il correspond en gros à ce que les musiciens appellent un comma ($1/9^e$ de ton).

[2] Un ingénieur, M. François Michelin, a pu présenter il y a quelques années à l'Académie des Sciences de Paris, comme un système idéal, le système d'accord pythagoricien chromatique avec quinte du loup (voir, p. 244) système connu depuis très longtemps et probablement utilisé dès l'apparition des premiers claviers chromatiques, sans provoquer de réaction notable de

d'un comma ne prêtait guère à conséquence. Et effectivement, sur le papier, cela ne pose pas tellement de problèmes... mais allez donc faire entendre une quinte raccourcie d'un comma à un musicien, à un violoniste en particulier!

La gamme de Pythagore, quant à elle, paraît à première vue parfaitement adaptée au jeu orchestral et tout particulièrement à celui des instruments à cordes : ne semble-t-elle même pas en découler? D'une part, elle est fondée du grave à l'aigu sur un cycle de quintes justes auquel correspond parfaitement l'accord des instruments à cordes, d'autre part, dans le système pythagoricien chromatique (voir p. 240), chaque note occupe une position fixe et bien définie.

C'est pourquoi, comme de nombreux autres théoriciens et musiciens, nous avons longtemps cru que l'orchestre, l'orchestre à cordes en particulier, ne pouvait jouer en moyenne que dans ce système. En fait, la gamme de Pythagore pourrait être la gamme de référence de notre musique si l'enharmonie n'existait pas. Elle l'a peut-être été, comme le suggèrent certains historiens ou musicologues, au Moyen Age et à la Renaissance jusqu'au milieu du XVI^e siècle, c'est-à-dire avant la généralisation probable de systèmes d'accords privilégiant la tierce naturelle. Mais elle ne l'est plus, comme l'atteste notre préférence pour la GBTT (à l'exception de la quinte qu'on préfère juste) et surtout pour le TEQJ. C'est donc que notre oreille n'est plus conditionnée à la gamme de Pythagore parce qu'en raison d'une écriture orchestrale qui peut à tout moment faire appel à l'enharmonie, il est parfaitement impossible à un instrumentiste de jouer ainsi sans risquer là encore des dérapages continuels qui amèneraient le musicien à détonner.

Supposons en effet qu'un musicien joue dans le système de Pythagore et émettre un DO♯ qui, dans la partition abordée, se transforme en RÉ♭ sur une note tenue; il est évident que ce RÉ♭ se trouvera 1 comma plus haut que le RÉ♭ issu du cycle des quintes puisque, dans le système de Pythagore, le RÉ♭ se trouve 1 comma pythagoricien plus bas que le DO♯. A chaque modulation enharmonique, il y aura donc un danger de dérapage d'un comma dans un sens ou dans l'autre (vers l'aigu, si l'enharmonie transforme une note diésée en note bémolisée, vers le grave dans le cas contraire), avec possibilité de cumul, ce qui, à travers la forêt des modulations du XIX^e siècle finissant, par exemple, ferait perdre totalement de vue au musicien la tonalité de départ. Certes, un dérapage d'un comma, cela peut paraître négligeable pour un théoricien : d'où peut-être la minimisation de cet intervalle dans les théories musicales en vigueur, théories souvent dictées par certains physiciens. Mais, dans la pratique, un tel dérapage est proprement inconcevable!! un comma, c'est ce qui sépare, par exemple, un LA 440 d'un LA 446, 2 commas,

la part de la docte assemblée... Cet accord n'utilise que des quintes justes... à l'exception d'une quinte du loup totalement impraticable! Il présente par ailleurs un tempérament inégal. Il ne faut surtout pas le confondre avec le TEQJ, qui présente un tempérament égal et ou toutes les quintes sont justes... sans exception!

c'est un quart de ton!! même un décalage permanent d'un demi-comma est déjà gênant pour des musiciens : c'est ainsi que lorsqu'un chef demande qu'un piano appelé à jouer avec orchestre soit accordé au LA 443 et non au LA 440 pour mettre le piano au diapason actuel des instruments à vent, il sait parfaitement ce qu'il fait. On nous rétorquera sans doute que, en cours d'exécution, les musiciens se permettent souvent des écarts dépassant le comma; c'est vrai, mais il s'agit alors de déviations expressives concernant une note isolée, une sensible, par exemple, et non d'un décalage permanent. De telles déviations qui sont ponctuelles ne remettent pas du tout en cause la stabilité moyenne de l'intonation, qui s'en trouve, bien au contraire renforcée puisque, en musique tonale du moins, ce sont les degrés forts et parfaitement fixes qui commandent les attractions.

Enfin le musicien ne pourra pas jouer non plus en GBTT, car si cette gamme permet bien l'enharmonie tout en assignant cette fois à chaque note une hauteur moyenne bien définie, elle n'est pas conciliable avec l'accord par quintes justes des instruments à cordes de l'orchestre.

En moyenne donc et aux attractions expressives près, le musicien d'orchestre ne pourra jouer que dans le TEQJ. C'est pourquoi notre oreille a fini par se conditionner à ce tempérament, le seul qui réponde parfaitement aux trois exigences de la pratique instrumentale actuelle telles que nous les avons définies ci-dessus.

Certes les musiciens d'orchestre ne jouent pas strictement selon cette gamme puisque, pour des raisons de justesse expressive, une même note ne présente pas toujours la même hauteur lors de ses diverses réapparitions à travers une même œuvre. Mais, comme l'ont bien montré encore Van Esbroeck et Monfort, ce n'est pas la fixité absolue de chacun des degrés qui compte pour l'oreille, mais leur hauteur moyenne :

« Nous pouvons sans doute définir le beau en fonction des habitudes acquises, comme une moyenne de tout ce que nous avons jamais perçu dans le rôle de l'objet à juger. Chacun des degrés de la gamme ne nous fait-il pas l'effet d'une vieille connaissance que nous sommes heureux de retrouver dans la foule des sons étrangers qui le précèdent et le suivent le long de l'échelle continue des hauteurs? » (« Qu'est-ce que jouer juste? » p. 86).

Ainsi l'oreille fait-elle sans doute instinctivement à travers les multiples expériences musicales auxquelles elle est confrontée depuis notre naissance, la moyenne statistique des hauteurs qu'occupe dans l'échelle sonore de référence chaque degré par rapport aux autres. La formation de cette échelle est donc le résultat d'une opération mentale et la position de chaque degré sera d'autant plus précise dans notre esprit que notre éducation musicale sera plus poussée et que nous serons plus exercés à la pratique de la musique. Remarquons d'ailleurs que cette échelle, qui se grave peu à peu en mémoire, est pratiquement indépendante de la hauteur absolue des sons : c'est donc essentiellement au rapport des sons entre eux que s'intéresse et se conditionne notre oreille, et non à leur hauteur absolue; sans doute parce que conformément à notre thèse, les rapports moyens qui existent entre les différentes notes de l'échelle de référence sont constants et parfaitement définis, alors qu'on n'a jamais pu s'entendre avec précision sur la hauteur du LA^3 qui n'est guère fixé qu'à 1 ou 2 commas près, ce qui n'est guère favorable à un processus de conditionnement :

« En général, une première note une fois prise pour point de départ, la position des autres forme la gamme type qui s'est gravée dans notre mémoire. Toute déviation intempestive de ces autres notes nous choquera. Mais que la note initiale ait été choisie un peu plus haut, puis toutes les autres haussées en conséquence, la plupart des auditeurs ne s'en apercevront pas. Plus rien ne sonne faux. » (« Qu'est-ce que jouer juste? » p. 82.)

En conclusion, on voit donc que la question posée au début de cet ouvrage « Quelle justesse tempérée se rapproche le plus de la justesse musicale? » se trouve finalement vidée de signification : il n'y a pas en effet de différence entre la justesse tempérée et la justesse musicale. La justesse est une, comme le laissait prévoir dès le départ le terme même de justesse. Cette conclusion inattendue quoique logique ne résulte nullement de spéculations hasardeuses; elle consiste plutôt à reconnaître les faits tels qu'ils sont! La justesse musicale ne s'écarte de la justesse de référence que par l'existence de déviations expressives. Celles-ci ne sont pourtant nullement nécessaires à la sensation de justesse; elles apparaissent plutôt comme des sortes de licences justifiées par l'expression. S'il en allait en effet autrement, c'est-à-dire si ces déviations s'avéraient nécessaires à la sensation de justesse, les instruments à clavier devraient paraître toujours faux puisque de telles déviations y sont impossibles, chaque note occupant une position parfaitement fixe : or, tel n'est pas le cas. De telles déviations ne constituent donc qu'un moyen d'expression supplémentaire dont peuvent user les instrumentistes à sons variables. Bien que ces déviations ne soient pas, en principe, à la disposition des pianistes, ceux-ci arrivent cependant à en donner l'illusion par de subtiles variations de mouvement, d'intensité ou de sonorité. Ils ne le peuvent cependant que si l'accord du piano leur fournit avec toute la rigueur désirable, la justesse musicale de référence, afin que cette liberté de jeu et d'interprétation ne soit pas entravée par les défaillances de l'accord.

De là, l'illusion de certains pianistes ravis de l'accord de leur instrument selon le TEQJ et qui, le trouvant ainsi plus facile à jouer, croyaient de bonne foi que nous avions également modifié le réglage de la mécanique et le toucher de l'instrument dans un sens favorable à la musicalité et à l'aisance du jeu, alors que nous nous étions contenté de réaliser avec soin un accord selon le TEQJ.

3^e^ PARTIE

ACOUSTIQUE DES HAUTEURS

Rapport entre la hauteur et la justesse

La sensation de justesse est, on le sait, liée à la hauteur des sons ou, plus exactement, aux différences de hauteur entre les sons, appelées intervalles. Parmi toutes les qualités que les musiciens assignent aux sons, c'est donc la hauteur qui retiendra ici particulièrement notre attention. Nous ne parlerons de l'intensité, du timbre, ou de la durée, que dans la mesure où ces autres paramètres sonores peuvent dans certains cas influer sur notre perception de la hauteur et par là même de la justesse.

Cependant nous distinguerons très nettement l'étude physique du son, et celle de la perception de la hauteur, de celle de la justesse proprement dite : l'étude physique du son et celle de la perception de la hauteur peuvent, en effet, faire l'objet d'une approche scientifique expérimentale valable pour tous les musiciens, à quelque civilisation ou à quelque époque qu'ils appartiennent. En revanche, la notion de justesse varie d'une civilisation à l'autre : ce qui est juste pour le musicien occidental ne l'est pas pour le musicien oriental et réciproquement : tout dépend du conditionnement reçu! En ce sens, un rapport d'intervalle, une mélodie ou un accord ne sont en eux-mêmes ni justes, ni faux : ils ne le sont que par rapport à une gamme ou à une échelle de référence en usage à une époque donnée, dans une civilisation déterminée. Vouloir faire dépendre essentiellement la justesse d'un phénomène physique, la loi de la résonance, par exemple, est donc une erreur; sinon il y aurait dans le monde une justesse unique, universelle. C'est une autre erreur de fonder la justesse sur la perception et de croire, par exemple, que les différences qui existent d'un individu à l'autre dans le domaine de la physiologie de l'audition, peuvent – sauf cas pathologique – entraîner de notables divergences d'appréciation en matière de justesse. Il existe bien de profondes différences dans l'appréciation de la justesse d'une civilisation à l'autre, mais, à l'intérieur d'un groupe se réclamant d'une culture musicale déterminée, ces différences restent, au contraire, très limitées. Elles le sont d'autant plus que les individus sont plus éduqués musicalement et donc plus conditionnés à un certain langage musical (voir p. 162).

S'il n'est donc pas ici question de nier le rôle important que peuvent jouer les données physiques et physiologiques dans l'élaboration d'un système de justesse déterminé, il importe de se rendre compte que la justesse ne peut s'expliquer à partir de ces seules données. Chaque civilisation – et, en ce qui concerne notre époque, chaque école ou presque – les utilise et les interprète en fonction d'exigences culturelles ou esthétiques qui lui sont propres, se forgeant ainsi un langage particulier. L'étude de la justesse proprement dite fait donc l'objet d'une étude distincte de celle de la hauteur (voir la seconde partie de cet ouvrage : « Qu'est-ce que la justesse? »).

Cependant pour aborder les problèmes d'esthétique liés à l'appréciation de la justesse et à l'apparition à travers les siècles des différentes gammes ou tempéraments, un minimum de connaissances de physique et de physiologie concernant le son et sa perception sont indispensables : elles font l'objet de cette « Acoustique des hauteurs ».

Le son – rapports entre la perception de la hauteur et la fréquence – le Hertz

On sait qu'un son est produit par un corps en vibration : c'est ce que nous pouvons facilement constater en observant un diapason émettant un LA_3, par exemple, ou la corde d'un piano après l'impact du marteau; ces vibrations se propagent à travers l'air qui nous environne et parviennent à notre oreille. Pour qu'il y ait alors perception d'un son, il faut que le nombre de vibrations à la seconde soit suffisamment élevé, de l'ordre d'une vingtaine au moins, pour les sons les plus graves; en deçà de cette limite inférieure, nous entendons une sorte de roulement, mais nous sommes incapables de lui attribuer une hauteur précise : c'est le domaine des infra-sons. Dans l'aigu, nous percevons des sons présentant jusqu'à 15.000 ou 20.000 vibrations à la seconde; cette limite varie d'ailleurs selon les individus et s'abaisse progressivement avec l'âge; au-delà de cette limite supérieure, nous n'entendons plus rien : c'est le domaine des ultra-sons. Mais les sons utilisés en musique restent bien en dessous de cette limite supérieure : les sons émis par un piano, par exemple, vont de 28 vibrations à la seconde environ pour le son le plus grave, le LA_{-1}, jusqu'à 4.000 environ pour les sons les plus aigus, soit une octave et demie à deux octaves en dessous de la limite supérieure audible.

On appelle *fréquence* le nombre de vibrations à la seconde présentées par un son : ainsi, on dira que le LA_3, c'est-à-dire le LA du diapason, a une fréquence de 440 vibrations à la seconde; il arrive fréquemment que les chefs d'orchestre actuels choisissent un diapason légèrement supérieur : ils demandent alors dans ce cas que le piano ou le clavecin qui doit jouer avec leur orchestre, soit accordé à 442 ou 445, ce qui veut dire au LA 442 ou au LA 445, ces chiffres désignant en effet la fréquence que devra présenter le LA_3. Il existe une mesure de fréquence utilisée par les acousticiens et les électroniciens qui s'appelle le *Hertz* et qui correspond à 1 vibration à la seconde; ainsi on peut dire qu'un LA_3 correspond à 440 ou 442 Hertz, ce qui s'écrit souvent en abrégé : 440 ou 442 hz.

L'abréviation couramment utilisée pour désigner la fréquence est N (1re lettre de *N*ombre de vibrations à la seconde). On peut donc indifféremment écrire pour désigner la fréquence d'un son le LA_3, par exemple :

$$\text{soit N } LA_3 = 440 \text{ soit } LA_3 = 440 \text{ hz}$$

La période correspond au temps que dure une seule vibration : ainsi, comme un LA_3 présente 440 hz, sa période vaut 1/440e de seconde. On représente la période par la lettre T (*T*emps d'une vibration), on peut donc écrire :

$$T = \frac{1 \text{ seconde}}{\text{Nombre de vibrations}} \qquad \text{ou } T = \frac{1}{N}$$

Pour savoir la fréquence d'un son lorsqu'on connaît sa période, il suffit donc de diviser 1 seconde par le Temps d'une vibration, c'est-à-dire par la période T :

$$N = \frac{1}{T}$$

En mathématiques, des grandeurs comme N et T, telles que $N = \frac{1}{T}$ ou $T = \frac{1}{N}$, sont dites inverses l'une de l'autre, on dira que la période est l'inverse de la fréquence.

La hauteur d'un son est une qualité du son qui nous permet de distinguer un son aigu ou haut d'un son grave ou bas; le terme de hauteur est purement conventionnel : si un son aigu est considéré comme haut, c'est sans doute parce qu'il paraît léger, aérien, impression qui s'oppose à celle de lourdeur que donnent les sons graves et bas, généralement émis par des corps volumineux ou denses.

Cela pourrait venir également des rapports qui existent entre la fréquence d'un son et sa hauteur : en effet, plus la fréquence est élevée, plus le son est haut ou aigu. Ainsi un son de 440 hz est plus aigu ou plus haut qu'un son de 220 hz. Nous verrons par la suite que cette conception traditionnelle des rapports entre la perception de la hauteur et la fréquence est un peu schématique et qu'elle ne suffit pas à rendre complètement compte de cette perception.

Harmoniques d'un son

C'est un phénomène qui joue un rôle capital en musique et en acoustique musicale : d'une part, il permet de mieux comprendre l'origine et l'évolution des divers langages musicaux, le nôtre en particulier; d'autre part, il est, comme nous le verrons, directement lié à notre perception des timbres, mais également à celle des hauteurs – comme cela a été récemment établi –; enfin, en musique harmonique, lorsque nous entendons plusieurs sons simultanément (accords), il se produit des battements d'harmoniques qui donnent une coloration particulière et caractéristique aux intervalles et accords utilisés. Nul doute que le secret d'une bonne sonorité présenté par un ensemble orchestral ou vocal, un piano ou un instrument soliste dont le jeu se détache sur un accompagnement harmonique, ne réside dans l'utilisation habile de ces jeux d'harmoniques : une des tâches les plus importantes de l'accordeur est donc de savoir les maîtriser (voir la partie de cet ouvrage consacrée à l'accord au TEQJ, p.53).

Rappelons donc d'abord comment se présente le phénomène des sons harmoniques, désigné parfois sous le nom de *« génération harmonique »* ou aussi de *« loi de la résonance »*.

Lorsque nous percevons un son quelconque, un SOL_1 de violoncelle, par exemple, de fréquence $N = 100$, nous avons l'impression d'entendre un son unique. Pourtant l'expérience montre que ce son est accompagné d'un cortège d'autres sons appelés sons harmoniques ou, simplement, *harmoniques*, dont les fréquences sont des multiples du son entendu appelé *son fondamental* : ainsi, le premier harmonique a une fréquence double du son fondamental, le second a une fréquence triple, le troisième une fréquence quadruple, etc. Dans le cas de la corde du violoncelle émettant un SOL_1, le premier harmonique présentera donc $100 \times 2 = 200$ hz, le second 300 hz, le troisième 400 hz, etc. L'intensité de ces harmoniques décroît généralement en fonction de leur rang et donc de leur éloignement du son fondamental; cependant l'intensité des premiers harmoniques $2N$, $3N$, par exemple, c'est-à-dire des harmoniques qu'on dit « de rang inférieur », serait suffisante pour que nous les entendions en même temps que le son fondamental; or, à moins que nous ne nous soyons spécialement entraînés à cela (ce qui est précisément le cas de l'accordeur), nous ne les entendons généralement pas. C'est qu'il se produit au plan de la perception un curieux phénomène de fusion entre le son fondamental et ses harmoniques, si bien que nous ne percevons en fin de compte qu'un seul son à la hauteur du son fondamental.

Par ailleurs, quel que soit le son fondamental, les harmoniques se présentent toujours dans le même ordre, formant avec le son fondamental des intervalles caractéristiques :

le 1er harmonique	2N est toujours à l'octave
le second	3N à la douzième (quinte redoublée)
le 3e	4N à la 15e (double octave)
le 4e	5N à la 17e majeure (tierce maj. 2 fois redoublée)
le 5e	6N à la 19e (quinte 2 fois redoublée)
le 6e	7N à la 21e mineure (7e min. 2 fois redoublée)
le 7e	8N à la triple octave
le 8e	9N à la 9e 2 fois redoublée
le 9e	10N à la tierce 3 fois redoublée
le 10e	11N à la quarte augmentée 3 fois redoublée
etc.	

Nous arrêterons au 10e harmonique ce tableau, car au-delà, leur intensité est généralement trop réduite pour qu'il joue un rôle dans la musique en général ou dans l'accord des instruments à clavier.

En examinant le tableau ci-dessus, nous pouvons constater que le rang de l'harmonique est toujours décalé d'une unité par rapport au multiple de N : ainsi le premier harmonique correspond à 2N, le 2e correspond à 3N, etc. Pour simplifier, on a convenu de désigner le rang de l'harmonique par le même chiffre que le multiple, c'est-à-dire que l'harmonique de fréquence 2N est considéré comme le 2e harmonique, l'harmonique 3N comme le 3e harmonique etc.; dans cette optique, le 1er harmonique, devient le son fondamental lui-même : comme on continue généralement par le désigner sous le nom de son fondamental, on ne parle généralement jamais en acoustique de 1er harmonique puisque la série des harmoniques commence alors par le second; ce que bien des musiciens ignorent : comment s'étonner après cela de certains dialogues de sourds entre acousticiens et musiciens!

Ainsi, notre corde de violoncelle SOL$_1$ de fréquence égale à 100 hz, qui paraît n'émettre qu'un son unique, fera entendre de nombreux harmoniques conformément au tableau suivant :

SONS	*FRÉQUENCES*	*HAUTEURS*
11e harmonique	11 N = 1.100 hz	DO$\sharp_4$
10e harmonique	10 N = 1.000 hz	SI$_4$
9e harmonique	9 N = 900 hz	LA$_4$
8e harmonique	8 N = 800 hz	SOL$_4$
7e harmonique	7 N = 700 hz	FA$_4$
6e harmonique	6 N = 600 hz	RÉ$_4$
5e harmonique	5 N = 500 hz	SI$_3$
4e harmonique	4 N = 400 hz	SOL$_3$
3e harmonique	3 N = 300 hz	RÉ$_3$
2e harmonique	2 N = 200 hz	SOL$_2$
Son fondamental	*N = 100 hz*	*SOL$_1$*

La corde la plus grave du violoncelle le DO$_1$, d'une fréquence voisine de 65 hz, émettrait les harmoniques suivants :

SONS	*FRÉQUENCES*	*HAUTEURS*
11^e harmonique	11 N = 715 hz	$\mathrm{FA}\sharp_4$
10^e harmonique	10 N = 650 hz	MI$_4$
9^e harmonique	9 N = 585 hz	RÉ$_4$
8^e harmonique	8 N = 520 hz	DO$_4$
7^e harmonique	7 N = 455 hz	$\mathrm{SI}\flat_3$
6^e harmonique	6 N = 390 hz	SOL$_3$
5^e harmonique	5 N = 325 hz	MI$_3$
4^e harmonique	4 N = 260 hz	DO$_3$
3^e harmonique	3 N = 195 hz	SOL$_2$
2^e harmonique	2 N = 130 hz	DO$_2$
Son fondamental	*N = 65 hz*	*DO$_1$*

Intervalles naturels

Les harmoniques résultent d'un phénomène naturel bien connu des physiciens sous le nom de résonance ou d'ondes stationnaires[1]. Les intervalles que les harmoniques forment entre eux ou avec le son fondamental sont appelés pour cette raison *intervalles naturels.* En examinant les différents harmoniques de DO$_1$, nous voyons que la nature se charge apparemment de nous donner le modèle de tous les intervalles et par conséquent de toutes les notes dont nous nous servons couramment :

entre *N* et 2N nous trouvons l'octave (DO$_1$ DO$_2$)
entre 2N et 3N — — la quinte (DO$_2$ SOL$_2$)
entre 3N et 4N — — la quarte (SOL$_2$ DO$_3$)
entre 4N et 5N — — la tierce majeure (DO$_3$ MI$_3$)
entre 5N et 6N — — la tierce mineure (MI$_3$ SOL$_3$)
entre 6N et 7N — — une autre tierce mineure (SOL$_3$ $\mathrm{SI}\flat_3$)

[1] Ce phénomène est facile à comprendre dans son principe : on a vu que lorsqu'on raccourcit une corde, le son qu'elle émet devient plus aigu. Si nous prenons, par exemple, la corde SOL d'un violoncelle qui émet un son de 100 hz et que nous la partageons en 2 parties égales, chacune de ces parties émettra une fréquence double de 200 hz, c'est-à-dire un SOL$_2$ correspondant à la hauteur du 2^e harmonique de la corde SOL$_1$; si nous partageons la corde en 3 parties égales, chacune de ces 3 parties émettra un RÉ$_3$ de 300 hz correspondant au 3^e harmonique de la corde SOL$_1$; en poursuivant ce partage de la corde SOL$_1$ en 4, 5, 6... n parties égales, nous obtiendrons des sons correspondants aux différents harmoniques de la corde SOL$_1$. L'émission de sons harmoniques tient donc à ce que la corde ne vibre pas selon un mode unique de vibration concernant toute sa longueur mais qu'elle tend à vibrer selon un très grand nombre de modes de vibration, chacun de ces modes correspondant au partage de la corde en 2, 3, 4... en parties égales et étant responsable de l'émission d'un harmonique.

entre 7N et 8N — — un ton (SI♭$_3$ DO$_4$)
entre 8N et 9N — — un autre ton (DO$_4$ RÉ$_4$)
entre 9N et 10N — — un troisième ton (RÉ$_4$ MI$_4$)
entre 10N et 11N — — un quatrième ton ! ! (MI$_4$ FA♯$_4$)

Il est évident que ces divers tons successifs, comme d'ailleurs les tierces mineures successives, ne correspondent pas à des intervalles exactement semblables : il est en effet évident que l'intervalle entre deux harmoniques successifs se rétrécit au fur et à mesure qu'on s'éloigne du son fondamental.

Remarquons enfin qu'on trouve les autres intervalles entre des harmoniques non successifs; ainsi :

entre 3N et 5N nous trouvons la sixte majeure (SOL$_2$ MI$_3$)
entre 5N et 8N — — la sixte mineure (MI$_3$ DO$_4$)
entre 4N et 7N — — la septième mineure (DO$_3$ SI♭$_3$)
etc.

On pourrait continuer et justifier par la génération harmonique tous les intervalles que nous utilisons.

Une question se pose alors immédiatement : ces intervalles dits naturels sont-ils ceux dont nous nous servons en musique, autrement dit ceux que les musiciens considèrent comme idéalement justes ? Si la réponse est affirmative, il est en effet tout à fait inutile de conserver pour les désigner le qualificatif de « naturel » puisqu'ils ne se distinguent pas alors des intervalles utilisés par les musiciens.

Il n'y a pas de réponse simple à cette question sur laquelle nous revenons longuement dans la 2^{e} partie de cet ouvrage, consacrée à la justesse. Disons simplement ici que, lors de la découverte progressive des sons harmoniques, du XVI^{e} (Zarlin) au XVIII^{e} siècle (Sauveur), les physiciens et les musiciens, dans leur enthousiasme, furent convaincus qu'ils avaient trouvé là une justification physique, naturelle, des intervalles, des gammes, et même de la musique ! Cette idée, après avoir fortement influencé les musiciens du XVI^{e} siècle et de l'époque baroque, fut reprise et confirmée avec éclat par le grand physicien Helmholtz à la fin du XIX^{e} siècle et, à sa suite, par de nombreux physiciens et acousticiens tels Delézenne, Bouasse et Becquerel en France; elle fut cependant toujours plus ou moins contestée par certains musiciens, mais elle conserve apparemment toujours des partisans, et des ouvrages récents continuent à prendre pour référence la justesse naturelle comme celle que cherchent à réaliser d'instinct les musiciens. Pourtant, depuis une trentaine d'années, on a effectué à l'aide d'instruments précis, de plus en plus de relevés de fréquences à partir du jeu des grands solistes et des meilleurs ensembles instrumentaux et vocaux; ces relevés montrent clairement que la justesse musicale ne correspond pas toujours, loin de là, à la justesse « naturelle » : certains intervalles, telle la quinte juste ou l'octave juste, sont en moyenne très proches des valeurs naturelles avec toutefois une tendance à l'agrandissement d'autant plus marquée qu'on s'éloigne du medium; mais d'autres, comme les tierces, les sixtes et leurs redoublements, s'en écartent très sensiblement : la tierce majeure musicale est en moyenne plus haute que l'intervalle naturel (d'un comma environ) et la tierce mineure est plus basse d'autant, si bien que ces intervalles se rapprochent beaucoup plus des intervalles de la gamme bien tempérée, voire de la gamme de Pythagore que des intervalles naturels.

En conclusion, il semble inutile de conserver le qualificatif de « naturel » lorsqu'on désigne ainsi des intervalles qui ne s'écartent pas, comme l'octave ou la quinte, des intervalles utilisés en musique : aussi parle-t-on couramment de quinte juste ou d'octave juste puisque, pour ces intervalles, justesse naturelle et justesse musicale sont pratiquement confondues. En revanche il vaut mieux éviter de parler de tierce ou de sixte justes dans la mesure où dans ce cas, la justesse naturelle ne correspond pas à la justesse musicale; il est alors préférable de parler selon les cas de tierce ou de sixte naturelle, tempérée ou pythagoricienne. Nous examinons dans « Qu'est-ce que la justesse? » ce qui distingue ces trois formes de justesse.

LA MESURE DES INTERVALLES EN MUSIQUE ET EN ACOUSTIQUE

Il s'agit de l'évaluation des différences de hauteur entre deux sons, différences évaluées en musique sous forme d'intervalles tels que l'octave, la quinte, la quarte, etc., eux-mêmes subdivisés en tons, demi-tons et commas. Or cette évaluation liée à notre notation traditionnelle de la musique est insuffisante pour pouvoir bien comprendre les problèmes liés à la justesse et à l'accord des instruments : elle est en effet étroitement associée à notre conception occidentale de la justesse et ne possède une certaine précision que pour des musiciens exercés et déjà conditionnés à cette justesse, pour lesquels elle ne constitue qu'un moyen mnémotechnique; mais elle n'a aucune précision scientifique et sans doute n'a-t-elle pas à présenter une telle précision pour laisser au musicien une certaine liberté d'interprétation dans le domaine des hauteurs[1] : c'est ainsi que nous avons pu voir qu'une différence sensible séparait une tierce naturelle, comme DO_3 MI_3, par exemple, de la même tierce jouée par un musicien dans un contexte musical; pourtant les deux tierces s'écrivent et se désignent de la même façon; par ailleurs, une tierce comme DO_3 MI_3 jouée par un musicien ne pré-

---

[1] Voir dans la seconde partie de cet ouvrage, « Qu'est-ce que la justesse? », ce qui concerne la justesse expressive.

sente pas exactement la même grandeur en DO majeur qu'en FA majeur; dans ce dernier cas, le musicien est souvent amené à hausser plus ou moins le MI_3 en raison de l'attraction exercée par la tonique FA_3 sur la sensible MI_3; mais quelles que soient les dimensions réelles de cette tierce, son écriture et sa désignation restent la même : DO_3 MI_3, tierce majeure.

Si nous voulons saisir et évaluer ces différences, certes subtiles mais importantes sur le plan expressif, c'est-à-dire comprendre ce qu'est la justesse, nous ne pouvons nous contenter de l'évaluation et de la notation traditionnelle, trop imprécise, mais nous devons revenir à une mesure physique et très précise de la hauteur des sons : de leurs fréquences et de celles de leurs principaux harmoniques. Il nous sera ainsi possible de savoir entre quelles limites physiques peut évoluer un intervalle sans cesser d'être juste à l'oreille et alors même qu'il conserve à travers ses transformations la même écriture et la même dénomination musicale comme la tierce DO_3 MI_3 dont nous parlions ci-dessus; notre opinion est d'ailleurs que cette marge n'est pas la même pour les divers intervalles, certains comme la tierce précisément, étant beaucoup plus malléables que d'autres. On pourra alors se demander quelle est la raison musicale de ces déviations et quelle est la valeur moyenne de l'intervalle, car c'est évidemment cette valeur moyenne qui est à prendre en considération pour l'accord des instruments à sons fixes. Bref, il importe de savoir avec précision quelles correspondances existent entre les intervalles musicaux et les données physiques.

Bien des polémiques, mésententes, voire querelles sur la justesse entre physiciens et musiciens, accordeurs et musiciens, ou entre musiciens eux-mêmes, seraient sans objet si les musiciens et les accordeurs connaissaient un peu mieux la nature physique du son et l'évaluation précise des intervalles; en revanche, si certains physiciens avaient davantage pratiqué la musique, ils n'auraient sans doute pas défendu des théories aussi manifestement irréductibles au fait musical que la gamme de Zarlin! Réjouissons-nous donc de voir bien des musiciens actuels s'intéresser de nouveau à ces problèmes fondamentaux au lieu de les ignorer superbement comme c'était encore le cas il y a quelques dizaines d'années; cette ignorance qui s'étendait d'ailleurs également à la facture instrumentale confinait parfois au mépris et trahissait souvent en fait une sorte de complexe inavoué : pourtant au XVIIIe siècle, de nombreux musiciens comme Bach ou Rameau, par exemple, pour ne citer que les plus célèbres, manifestaient un vif intérêt pour toutes ces questions; il ne semblait pas y avoir cette sorte de cloison étanche qui existe encore entre les deux domaines; sans doute le Romantisme est-il pour quelque chose dans cette désaffection à l'égard des bases matérielles et physiques de la musique; mais il convient aussi de dire très clairement que s'il existe un enseignement rébarbatif et incohérent dans certains conservatoires et écoles de musique, c'est bien en général celui de la théorie musicale, chargée en principe de montrer les liens qui existent entre l'acoustique physique et l'art musical : il n'y a rien à comprendre à la plupart des ouvrages encore en vigueur, où voisinent des vues théoriques empruntées à la thèse tout à fait dépassée de la justesse naturelle (constitution de la gamme majeure à partir de trois accords parfaits dits « générateurs ») avec des définitions des demi-tons, de la composition des intervalles ou de la tonalité issue, au contraire, de la pratique musicale mais malheureusement en pleine contradiction avec les vues théoriques exposées auparavant; ce qui explique sans doute la réserve de bien des musiciens, voire le scepticisme pour tout ce qui touche à la « théorie ». Pourtant, tout cela n'est pas si compliqué! et la connaissance par les musiciens et les accordeurs des rapports existant entre l'évaluation des intervalles en musique et en physique leur aurait sans doute permis de ne pas s'en laisser compter par les physiciens sur le plan de la justesse; ils n'auraient pas été ainsi contraints de faire leurs des thèses manifestement étrangères et donc néfastes à la pratique et à la compréhension de la musique.

Ce n'est pas par hasard que nous aborderons ces calculs et évaluations d'intervalles à partir des intervalles naturels : ceux-ci sont, en effet déterminés par les écarts qui existent entre les harmoniques d'un son; or ces harmoniques présentent comme nous l'avons vu des fréquences multiples de la fréquence du son fondamental (multiplication de la fréquence du son fondamental N par la suite des nombres entiers : 1, 2, 3, 4, 5, etc.). Il en résulte des calculs très simples; c'est d'ailleurs cette simplicité des rapports présentés par les intervalles naturels qui a séduit les physiciens et les mathématiciens, les poussant à croire que les rapports mathématiques les plus simples et les plus naturels devaient forcément correspondre aux intervalles les plus justes et les plus harmonieux; mais il faut se rappeler que les intervalles naturels ne sont pas, à l'exception de la quinte et de l'octave, ceux dont usent généralement les musiciens; ces derniers intervalles ont généralement des expressions mathématiques plus compliquées et surtout fort variables. Nous n'en aborderons l'étude qu'après nous être d'abord familiarisés avec les calculs très simples auxquels donnent lieu les intervalles naturels.

Nous savons que les harmoniques d'un son se présentent toujours du grave à l'aigu dans le même ordre, formant entre eux une suite d'intervalles caractéristiques appelés intervalles naturels, conformément au tableau suivant :

(1) HARMONIQUES	(2) NOTES	(3) FRÉQUENCES	(4) NOTES	(5) FRÉQUENCES	(6) INTERVALLES	(7) RAPPORT
12 N	RÉ$_5$	1.200	SOL$_4$	780		
					Demi-ton	12/11
11 N	DO$\sharp_5$	1.100	FA$\sharp_4$	715		
					ton	11/10
10 N	SI$_4$	1.000	MI$_4$	650		
					ton	10/9
9 N	LA$_4$	900	RÉ$_4$	585		
					ton	9/8
8 N	SOL$_4$	800	DO$_4$	520		
					ton	8/7
7 N	FA$_4$	700	SI$\flat_3$	455		
					tierce min.	7/6
6 N	RÉ$_4$	600	SOL$_3$	390		
					tierce min.	6/5
5 N	SI$_3$	500	MI$_3$	325		
					tierce maj.	5/4
4 N	SOL$_3$	400	DO$_3$	260		
					quarte juste	4/3
3 N	RÉ$_3$	300	SOL$_2$	195		
					quinte juste	3/2
2 N	SOL$_2$	200	DO$_2$	130		
					octave juste	2/1
N *(fondamental)*	*SOL$_1$*	*100*	*DO$_1$*	*65*		

La première colonne (1) correspond au cas général : N est la fréquence du son fondamental, 2N le second harmonique, 3N le 3^e harmonique, etc. La colonne (2) donne un premier exemple d'une série harmonique à partir de *SOL$_1$* comme son fondamental; la colonne (3) indique les fréquences des différents harmoniques de SOL$_1$ qui sont toutes des multiples de 100, fréquence du son fondamental SOL$_1$. La colonne (4) donne une second exemple de série harmonique à partir de DO$_1$ comme son fondamental; la colonne (5) indique les fréquences de ces différents harmoniques de *DO$_1$* qui sont toutes des multiples de 65, fréquence du son fondamental DO$_1$. La colonne (6) montre les intervalles qu'on trouve toujours entre deux harmoniques successifs de rang déterminé et la colonne (7), le rapport de fréquence qui leur correspond.

On peut constater qu'il y a toujours la même différence de fréquence entre deux harmoniques de rang voisin d'un même son fondamental : il y a, par exemple, toujours 100 hz entre les harmoniques successifs de SOL$_1$, ce qui correspond à la fréquence du SOL$_1$ lui-même; il y a également toujours 65 hz entre tous les harmoniques successifs du DO$_1$ qui a précisément pour fréquence 65 hz. Comme les différences de fréquences entre deux harmoniques successifs d'un même son fondamental sont toujours les mêmes, alors que l'intervalle qui sépare les harmoniques en question n'est jamais le même (puisqu'on trouve successivement, à partir du son fondamental, une octave, une quinte, une quarte, une tierce majeure, etc.) on peut en déduire qu'une différence de fréquence entre deux sons ne caractérise nullement un intervalle; en d'autres termes, si nous savons qu'il y a 100 hz de différence de fréquence entre deux sons, nous ne pouvons absolument pas savoir quel intervalle sépare ces deux sons puisque cette différence existe aussi bien entre SOL_2 et SOL_1 (200 − 100), c'est-à-dire entre 2 sons séparés par une octave, qu'entre LA_4 et SOL_4 (900 − 800) où il n'y a qu'un ton, par exemple.

En revanche, on peut constater que quelle que soit la fréquence du son fondamental, les fréquences de deux harmoniques voisins, le 5ᵉ et le 4ᵉ harmoniques, par exemple, sont toujours dans le même rapport : ici 5N/4N c'est-à-dire 5/4, et que l'intervalle entendu est toujours dans ce cas une tierce majeure. On voit donc qu'à la perception d'un intervalle donné correspond toujours le même rapport de fréquences, quelle que soit la hauteur à laquelle se situe cet intervalle : lorsque, par exemple, nous passons du son fondamental de fréquence N au second harmonique de fréquence 2N, nous entendons toujours un intervalle d'octave; c'est dire que l'octave est caractérisée par le rapport 2/1 = 2; lorsque nous passons d'un son qui a une fréquence double d'un premier son à un son qui présente une fréquence triple de ce premier son, c'est-à-dire de 2N à 3N, nous percevons toujours un saut de quinte : c'est donc que la quinte est caractérisée par le rapport 3/2. En consultant les colonnes (6) et (7) du tableau de la p. 183, on voit ainsi à quel rapport précis correspondent les intervalles naturels et comment ces rapports peuvent facilement se déduire de la série harmonique (1).

On peut remarquer :

1) qu'il existe deux sortes de tierces mineures naturelles : l'une qui vaut 6/5 et l'autre 7/6; la seconde est donc plus petite que la première. Il existe également 4 sortes de ton : ce qui, de toute évidences ne correspond pas à la pratique musicale où le ton, contrairement au demi-ton, est un intervalle très stable : c'est que, comme nous l'avons déjà signalé, parmi les intervalles naturels, seules l'octave et la quinte (et son renversement la quarte) correspondent à des intervalles effectivement utilisés dans notre musique : au-delà du 4ᵉ harmonique, les intervalles naturels qu'on trouve entre les divers harmoniques ne correspondent plus en général aux intervalles musicaux : la justesse musicale ne coïncide donc plus avec la justesse naturelle et l'écart s'accroît de plus en plus avec le rang des harmoniques; il en résulte que la notation musicale traditionnelle des sons harmoniques ne peut être qu'approximative puisqu'à partir du 5ᵉ harmonique, les notes indiquées ne correspondent plus exactement aux notes que jouerait un musicien.

2) qu'il manque dans le tableau de la p. 166 certains rapports d'intervalle comme ceux de sixte ou de septième qui ne peuvent être établis à partir des fréquences de 2 harmoniques voisins; on trouve la sixte majeure entre 5N et 4N et son rapport correspond donc à 5/4. La sixte mineure qui se trouve entre 8N et 5N et la 7ᵉ mineure entre 7N et 4N correspondent donc respectivement à des rapports de 8/5 et de 7/4.

Application : calcul de la fréquence d'un son à partir d'un autre son de fréquence connue.

1^er^ exemple : calcul de la fréquence d'un son $RÉ_2$ se trouvant à la quinte juste supérieure d'un SOL_1, sachant que $N\ SOL_1 = 100$ hz.

Nous savons que le rapport de quinte juste correspond à 3/2. On doit donc avoir :

$$\frac{N\ RÉ_2}{N\ SOL_1} = \frac{3}{2} \text{ donc } N\ RÉ_2 = N\ SOL_1 \times \frac{3}{2}$$
$$= 100 \text{ hz} \times \frac{3}{2}$$
$$= 150 \text{ hz}$$

2^e^ exemple : calcul de la fréquence d'un son SOL_1 se trouvant à la quinte juste inférieure d'un son $RÉ_2$, sachant que $N\ RÉ_2 = 150$ hz.

$$\text{Nous savons que : } \frac{N\ RÉ_2}{N\ SOL_1} = \frac{3}{2} \text{ donc } \frac{N\ SOL_1}{N\ RÉ_2} = \frac{2}{3}$$
$$\text{d'où } N\ SOL_1 = N\ RÉ_2 \times \frac{2}{3}$$
$$= 150 \text{ hz} \times \frac{2}{3}$$
$$= 100 \text{ hz}$$

Conclusion : étant donné un son quelconque de fréquence N_1, pour savoir la fréquence N_2 d'un autre son qui se trouve à un intervalle déterminé du son de fréquence N_1, il suffit de multiplier N_1 par le rapport correspondant à cet intervalle, si N_2 est plus aigu que N_1 et par le rapport renversé si N_2 est plus grave que N_1.

Calculs d'intervalles

En musique l'addition d'une tierce majeure et d'une tierce mineure donne une quinte juste :

SOL SI + SI RÉ = SOL RÉ

C'est-à-dire qu'un intervalle peut être considéré comme la somme des intervalles le composant.

En physique acoustique, les intervalles sont évalués sous forme de rapport. Comment peut-on alors savoir à quel rapport correspond un intervalle connaissant le rapport auquel correspond chacun des intervalles le composant? En d'autres termes, comment peut-on connaître le rapport correspondant à une quinte juste comme SOL RÉ, connaissant le rapport de la tierce majeure SOL SI $= \frac{5}{4}$ et celui de la tierce mineure complémentaire SI RÉ $= \frac{6}{5}$?

Pour bien comprendre ce qui suit, il faut se rappeler qu'en acoustique, les intervalles correspondent à des rapports de fréquences alors qu'en musique ce sont des différences de hauteurs. Or des différences s'ajoutent ou se retranchent alors que des rapports se multiplient ou se divisent l'un par l'autre : lorsque pour l'oreille, il semble qu'on ajoute un intervalle à un autre, dans la réalité, on multiplie un premier rapport de fréquences correspondant au premier intervalle par un second rapport de fréquences correspondant au second intervalle ainsi que nous allons le montrer de deux manières différentes, la première étant plus spécialement destinée aux lecteurs peu habitués à manipuler les chiffres et les fractions.

1^re^ démonstration

Nous cherchons à connaître le rapport de quinte juste SOL RÉ, (c'est-à-dire par quel facteur il faut multiplier la fréquence de SOL pour obtenir celle de RÉ) sachant que le rapport de tierce majeure SOL SI est égal à $\frac{5}{4}$ et que celui de tierce mineure SI RÉ vaut $\frac{6}{5}$.

Dire que le rapport de tierce majeure est égal à $\frac{5}{4}$ signifie que pour obtenir la fréquence de SI à partir de celle de SOL, il faut multiplier la fréquence de SOL par $\frac{5}{4}$, ce qui peut s'écrire :

$$\text{N SI} = \text{N SOL} \times \frac{5}{4} \qquad (1)$$

Dire que le rapport de tierce mineure SI RÉ correspond à $\frac{6}{5}$ signifie que pour obtenir la fréquence de RÉ par rapport à celle de SI, il faut multiplier la fréquence de SI par $\frac{6}{5}$:

$$\text{N RÉ} = \text{N SI} \times \frac{6}{5} \qquad (2)$$

remplaçons alors dans (2), N SI par sa valeur par rapport à N SOL qui nous est donnée dans (1) :

$$\text{N RÉ} = \text{N SOL} \times \frac{5}{4} \times \frac{6}{5} \qquad (3)$$

En examinant (3), nous voyons clairement que le rapport de quinte que nous cherchons (c'est-à-dire par quel rapport il faut multiplier la fréquence de SOL pour obtenir la fréquence de RÉ) est égale à $\frac{5}{4} \times \frac{6}{5}$

c'est-à-dire *au rapport de tierce majeure* $\frac{5}{4}$ *multiplié par celui de tierce mineure* $\frac{6}{5}$.

Et en effet, $\frac{5}{4} \times \frac{6}{5} = \frac{30}{20} = \frac{3}{2}$

Nous avons donc bien retrouvé à partir de la tierce majeure et de la tierce mineure et en multipliant les rapports auxquels ces intervalles correspondent l'un par l'autre, le rapport de quinte juste : $\frac{3}{2}$

2e démonstration

(pour ceux qui ont conservé quelques souvenirs du maniement des fractions !)
Nous cherchons $\frac{\text{N RÉ}}{\text{N SOL}}$, connaissant $\frac{\text{N SI}}{\text{N SOL}} = \frac{5}{4}$ et $\frac{\text{N RÉ}}{\text{N SI}} = \frac{6}{5}$.
Il est clair que $\frac{\text{N SI}}{\text{N SOL}} \times \frac{\text{N RÉ}}{\text{N SI}}$ nous fournit le rapport cherché puisque N SI est éliminé. Il suffit donc pour obtenir le rapport de quinte juste de multiplier le rapport de tierce majeure par celui de tierce mineure.

Cas général

Il est facile à comprendre si on se souvient de deux propriétés des fractions :
1) pour multiplier 2 fractions l'une par l'autre, il suffit de multiplier entre eux d'une part les numérateurs, d'autre part les dénominateurs :

$$\frac{5}{4} \times \frac{4}{3} = \frac{5 \times 4}{4 \times 3} = \frac{20}{12}$$

fractions que nous pouvons simplifier en divisant par 4 le numérateur et le dénominateur :

$$\frac{20}{12} = \frac{20 : 4}{12 : 4} = \frac{5}{3}$$

2) si on rencontre le même nombre au numérateur et au dénominateur, ce qui est le cas pour le 4 dans le calcul ci-dessus, on peut grandement simplifier le calcul en éliminant ce nombre et éviter ainsi tous les calculs inutiles effectués ci-dessus :

$$\frac{5}{4} \times \frac{4}{3} = \frac{5 \times \cancel{4}}{\cancel{4} \times 3} = \frac{5}{3}$$

Ces propriétés étant rappelées, considérons une suite de fréquences (notes) se succédant en croissant du grave à l'aigu et déterminant des intervalles successifs selon le schéma suivant :

Fréquences : $N_1 \quad N_2 \quad N_3 \quad N_4 \quad N_5$ etc.

Rapports d'intervalle $\frac{N_2}{N_1} \quad \frac{N_3}{N_2} \quad \frac{N_4}{N_3} \quad \frac{N_5}{N_4}$

quel sera alors le rapport correspondant à l'intervalle total ou résultant, c'est-à-dire, par exemple, $\frac{N_5}{N_4}$?

Il est évident qu'il suffit pour l'obtenir de multiplier tous les rapports des intervalles successifs intermédiaires l'un par l'autre : toutes les fréquences intermédiaires s'éliminent et il ne reste plus que l'intervalle cherché :

$$\frac{N_2}{N_1} \times \frac{N_3}{N_2} \times \frac{N_4}{N_3} \times \frac{N_5}{N_4} = \frac{\cancel{N_2} \times \cancel{N_3} \times \cancel{N_4} \times N_5}{N_1 \times \cancel{N_2} \times \cancel{N_3} \times \cancel{N_4}} = \frac{N_5}{N_1}$$

Conclusion

En musique, un intervalle peut être considéré comme la somme des intervalles qui le composent. En acoustique, par contre, un intervalle est égal au produit des intervalles qui le composent, ces intervalles étant alors exprimés en rapports de fréquences.

On peut encore dire que, là où en musique, on ajoute l'un à l'autre ou on retranche l'un de l'autre des intervalles exprimés en unités musicales (quinte, tierce, comma, savart, etc.), il convient en acoustique, lorsque ces intervalles sont exprimés en rapports de fréquences, de les multiplier ou de les diviser l'un par l'autre.

Quelques applications pratiques

1) Calcul de la sixte majeure naturelle à partir de la quarte juste correspondant au rapport $\frac{4}{3}$ et de la tierce naturelle correspondant à $\frac{5}{4}$:

– *en musique :* une sixte majeure = une quarte juste + une tierce maj.
= 2 tons + 1/2 ton diat. + 2 tons
= 4 tons + 1/2 ton diatonique

– *en acoustique :*
rapport de sixte majeure = rap. de quarte juste × rap. de tierce maj.

$$= \frac{\cancel{4}}{3} \times \frac{5}{\cancel{4}}$$

$$= \frac{5}{3}$$

2) Calcul de la quarte juste connaissant l'octave $\frac{2}{1}$ et la quinte juste $\frac{3}{2}$:

– *en musique :* une quarte juste = une octave juste – une quinte juste
– = 5 tons 2 demi-tons diatoniques – 3 tons 1 demi-ton diatonique
– = 2 tons et 1 demi-ton diatonique

– *en acoustique :*

rapport de quarte juste = rap. d'octave juste : rap. de quinte juste

$$= \frac{2}{1} : \frac{3}{2}$$

$$= \frac{2}{1} \times \frac{2}{3}$$

(pour diviser une fraction par une autre, on multiplie la première par la seconde renversée)

rapport de quarte juste $= \frac{4}{3}$

3) Calcul du ton séparant la quinte juste de la quarte juste

– *en musique :* 1 ton = une quinte juste – une quarte juste

– *en acoustique :*

1 ton = une quinte juste : une quarte juste

1 ton $= \frac{3}{2} : \frac{4}{3} = \frac{3}{2} \times \frac{3}{4}$

1 ton $= \frac{9}{8}$

Nous venons ainsi de vérifier la loi de multiplication et de division des rapports d'intervalles en recalculant des intervalles dont nous connaissions déjà l'expression sous forme de rapport de fréquences puisque nous l'avions établie au tableau concernant les intervalles naturels à la page 183. Mais nous pouvons maintenant calculer des intervalles qui n'y figurent pas comme le demi-ton qui sépare une tierce majeure naturelle d'une quarte :

– *en musique* 1/2 ton = une quarte juste – une tierce majeure
– *en acoustique* 1/2 ton = une quarte juste : une tierce majeure

$$1/2 \text{ ton} = \frac{4}{3} : \frac{5}{4} = \frac{4}{3} \times \frac{4}{5} = \frac{16}{15}$$

Et nous sommes maintenant capables de calculer n'importe quel intervalle qu'il soit naturel ou non. Il reste une dernière difficulté : celle qui consiste à évaluer un rapport d'intervalle, résultant d'une addition d'intervalles de même nature : une somme d'octaves, par exemple, ou, au contraire, de trouver le rapport correspondant au partage d'un intervalle en plusieurs parties égales : c'est le cas dans l'accord du piano, par exemple, où on divise l'octave en 12 demi-tons égaux. Après avoir examiné ce dernier problème, nous serons suffisamment armé pour comprendre la plupart de ceux touchant à la justesse ou à l'accord exposés dans les autres parties de ce livre. Nous pourrons aussi tirer le maximum de profit des travaux pratiques préparant à l'accord (voir « Initiation à l'accord », p. 76) ou visant à la réalisation de certaines gammes ou tempéraments : gamme de Zarlin ou de Pythagore, par exemple.

Avant de quitter les intervalles naturels, sachons que ceux-ci n'ont pas pour seule utilité de nous permettre d'aborder sans peine les calculs d'intervalles tels qu'ils se présentent en physique et en acoustique; certes les musiciens, comme nous l'avons déjà dit, se servent la plupart du temps d'intervalles qui s'écartent sensiblement des valeurs naturelles, qu'ils jouent de l'orgue, du piano ou du clavecin (justesse tempérée) ou bien du violon ou de la flûte (justesse musicale proprement dite). Mais les intervalles naturels jouent néanmoins un très grand rôle en musique; c'est qu'ils existent en effet parallèlement aux intervalles musicaux puisque tous les sons musicaux émettent des harmoniques! les deux justesses : la naturelle et la musicale entrent donc continuellement en conflit ou, plus exactement peut-être, convolent pour donner naissance à de subtils jeux d'harmoniques ainsi que nous le verrons bientôt.

L'étang aux nénuphars ou les sommes d'octaves

Afin de permettre au lecteur peu habitué au langage des chiffres de mieux comprendre certains problèmes liés à la nature physique des sons et à leur perception, nous allons commencer à lui soumettre l'amusant petit problème suivant : chaque jour qui passe, un nénuphar se divise en deux, donnant ainsi naissance à deux nénuphars; sachant qu'il a fallu 10 ans aux nénuphars pour couvrir la moitié de la surface d'un étang, combien leur faudra-t-il de temps pour couvrir l'étang tout entier? (il faut répondre très vite! voir la solution p. 193).

Quelques rappels utiles pour comprendre plus aisément les problèmes de sommes ou de partages d'intervalles en parties égales.

a) *Puissance*

Prenons un nombre quelconque, 3 par exemple, et multiplions-le 2 fois par lui-même : 3 × 3, on dit alors que ce nombre est élevé au carré ou encore à la puissance 2, ce qui s'écrit :

$$3^2 = 9$$

Le nombre 2 placé ainsi en haut et à droite s'appelle exposant : il indique la puissance, c'est-à-dire combien de fois le nombre 3 a été multiplié par lui-même.

Si nous multiplions maintenant le nombre 2, six fois par lui-même, nous l'élevons à la puissance 6, ce qui s'écrit :

$$2^6 = 64$$

Réciproquement 8^5 qui s'énonce : 8 puissance 5 signifie :

$$8 \times 8 \times 8 \times 8 \times 8 = 32.768$$

b) *Racine*

C'est l'opération inverse : chercher la racine carrée d'un nombre, c'est chercher un autre nombre qui, multiplié 2 fois par lui-même redonne le premier nombre. Ainsi, chercher la racine carrée de 16, ce qui s'écrit $\sqrt[2]{16}$ ou, en abrégé $\sqrt{16}$, c'est trouver le nombre qui, élevé au carré (c'est-à-dire à la puissance 2) redonne 16, d'où :

$$\sqrt{16} = 4 \text{ car } 4^2 = 16$$ [1]

De même chercher la racine cubique (ou 3e) d'un nombre, c'est chercher un autre nombre qui, multiplié 3 fois par lui-même, c'est-à-dire élevé à la puissance 3 (ou au cube) redonne le premier nombre; exemple :

$$\sqrt[3]{27} = 3 \text{ car } 3^3 = 3 \times 3 \times 3 = 27$$

Chercher la racine 4e, 5e, 6e ou... n^{ieme} d'un nombre, c'est donc trouver un autre nombre qui, élevé à la puissance 4, 5, 6 ou... n redonne le premier nombre.

En conclusion $\sqrt[n]{y} = x$ si $x^n = y$

Remarque importante

On voit qu'élever un nombre à une puissance et chercher la racine d'un nombre constituent des opérations inverses comme la multiplication et la division; c'est pourquoi on indique souvent la recherche d'une racine comme celle d'une puissance par un exposant; mais l'exposant est alors indiqué sous la forme d'un nombre inversé; ainsi $\sqrt{\ }$ peut s'écrire également $16^{\frac{1}{2}}$.

De même chercher la racine 4e de 625, par exemple, peut s'écrire

---

[1] On voit que $\sqrt{\ }$ signifie $\sqrt[2]{\ }$ c'est-à-dire racine carrée; mais à partir de la racine cubique, on indique toujours la nature de la racine par un nombre situé au-dessus du symbole :
$\sqrt[3]{\ }$ signifie racine cubique ou 3e, $\sqrt[4]{\ }$ racine 4e, etc.

indifféremment $\sqrt[4]{625}$ ou $625^{\frac{1}{4}}$. Cette racine est 5 puisque 5^4 c'est-à-dire $5 \times 5 \times 5 \times 5 = 625$.

Cette manière d'indiquer une racine peut surprendre de prime abord; elle est pourtant parfaitement logique : nous avons dit que la division et la multiplication étaient des opérations inverses : il en résulte qu'une division peut très bien se présenter sous la forme d'une multiplication par un nombre inversé : 64 : 4 peut donc s'écrire $64 \times \frac{1}{4}$, ce qui nous paraît tout naturel. Il en va de même pour les racines et les puissances, mais nous sommes simplement moins habitués à les manipuler.

Sommes d'octaves

Partons d'un SOL_1 = 100 hz et cherchons quelles vont être les fréquences de SOL_2, SOL_3, SOL_4, etc.

Lorsque nous passons d'un SOL au SOL qui se trouve à l'octave supérieure, nous devons à chaque fois multiplier la fréquence du SOL inférieur par 2 pour obtenir celle du SOL le plus aigu :

Notes	SOL_1	SOL_2	SOL_3	SOL_4	SOL_5	SOL_6	SOL_7	SOL_8
Fréquences	100	200	400	800	1.600	3.200	6.400	12.800

Calculons alors les intervalles obtenus entre ces différents SOL et le SOL_1 de départ sous deux formes différentes : indiquons à gauche l'évaluation musicale en octaves, par exemple, et à droite l'évaluation physique ou acoustique sous forme de rapport de fréquences; puis comparons ces deux évaluations :

Musique	*Acoustique*
$SOL_1\ SOL_2 = 1$ octave	$\frac{N\ SOL_2}{N\ SOL_1} = \frac{200}{100} = 2$
$SOL_1\ SOL_3 = 2$ octaves	$\frac{N\ SOL_3}{N\ SOL_1} = \frac{400}{100} = 4$
$SOL_1\ SOL_4 = 3$ octaves	$\frac{N\ SOL_4}{N\ SOL_1} = \frac{800}{100} = 8$
$SOL_1\ SOL_5 = 4$ octaves	$\frac{N\ SOL_5}{N\ SOL_1} = \frac{1.600}{100} = 16$
$SOL_1\ SOL_6 = 5$ octaves	$\frac{N\ SOL_6}{N\ SOL_1} = \frac{3.200}{100} = 32$
$SOL_1\ SOL_7 = 6$ octaves	$\frac{N\ SOL_7}{N\ SOL_1} = \frac{6.400}{100} = 64$
$SOL_1\ SOL_8 = 7$ octaves	$\frac{N\ SOL_8}{N\ SOL_1} = \frac{12.800}{100} = 128$

On peut résumer ainsi les résultats obtenus :

Musique	*Acoustique*
1 octave	2 ou 2^1
2 octaves	4 ou 2^2
3 octaves	8 ou 2^3
4 octaves	16 ou 2^4
5 octaves	32 ou 2^5
6 octaves	64 ou 2^6
7 octaves	128 ou 2^7

On voit que la progression musicale, c'est-à-dire l'augmentation progressive du nombre des octaves s'accompagne d'une progression beaucoup plus rapide des rapports de fréquences : ainsi un son situé une octave au-dessus d'un son initial n'a qu'une fréquence double de ce premier son : un son situé à 7 octaves au-dessus présente une fréquence 128 fois supérieure! C'est que lorsque notre oreille perçoit une addition régulière d'intervalles (ici d'octaves), il se produit en réalité une multiplication régulière des rapports fréquences (ici par 2, le rapport 2/1 caractérisant l'intervalle d'octave).

Une suite de nombres où pour passer d'un nombre au nombre suivant immédiatement supérieur, on *ajoute* toujours un même nombre s'appelle une *progression arithmétique,* c'est le cas de 1, 2, 3, 4, 5, etc., ou de 2, 4, 6, 8, 10, etc. La différence constante qu'on trouve entre deux nombres qui se suivent s'appelle « raison »; dans le premier cas : 1, 2, 3, 4, 5, etc., la raison est 1 ; dans le second cas : 2, 4, 6, 8, 10, etc., la raison est 2.

En revanche, une progression où pour passer d'un terme[1] au suivant, on *multiplie* toujours le terme inférieur par un même nombre s'appelle *progression géométrique.* C'est le cas de 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, etc., ou encore de 3, 9, 27, 81, 243, 619, etc. Dans le premier exemple, la raison est 2, dans le second, c'est 3.

C'est pourquoi on peut dire que, dans le domaine de la hauteur, notre oreille perçoit une progression arithmétique (une succession d'octaves, par exemple, ou de tout autre intervalle musical) là où les fréquences des notes forment en réalité une progression géométrique.

La question se pose alors de savoir si on peut passer facilement de l'évaluation acoustique des intervalles à l'évaluation musicale, c'est-à-dire si, étant donné un rapport d'intervalle quelconque 16/11 par exemple, on peut savoir rapidement à quel intervalle musical

[Réponse au problème posé p. 190 : « L'étang aux nénuphars. » Il leur faudra 10 ans et un jour (et non 20 ans!).]

---

[1] On appelle « termes » les nombres d'une progression, que cette progression soit arithmétique ou géométrique.

correspond ce rapport et de combien de tons, demi-tons et fractions de tons (commas, savarts, etc.), cet intervalle se compose. Or, ce moyen existe bien : les logarithmes permettent en effet de passer d'une progression géométrique (comme celle des fréquences) à une progression arithmétique (comme celle des intervalles musicaux). Il est donc intéressant et utile de connaître le calcul logarithmique. Toutefois sa connaissance n'est nullement indispensable à la compréhension de la plupart des phénomènes dont il est question dans cet ouvrage; comme par ailleurs, ces calculs risqueraient d'effaroucher tout lecteur rebelle au langage des chiffres, nous n'y ferons allusion qu'à titre facultatif. Les petites calculatrices de poche d'un prix très modique, qui existent actuellement dans le commerce, permettent d'ailleurs de passer automatiquement, et sans aucun calcul, des rapports de fréquences aux unités musicales : c'est la machine qui fait elle-même les calculs logarithmiques, encore faut-il savoir se servir de ces calculatrices dont le mode d'emploi varie de l'une à l'autre. S'il n'est pas du tout indispensable de s'embarquer dans les calculs logarithmiques, il faut cependant bien connaître les unités (commas, savarts, cents) utilisées couramment pour évaluer avec précision les intervalles musicaux : le ton, le demi-ton et même le comma sont en effet des valeurs beaucoup trop grandes et beaucoup trop imprécises pour aborder les problèmes liés à la justesse ou à l'accord des instruments : il existe en effet plusieurs sortes de demi-tons et de commas!

Unités musicales de hauteur : commas, savarts, cents

Les unités de hauteur dont nous allons maintenant parler, sont des unités musicales en ce sens qu'elles sont liées à la perception des hauteurs et non aux fréquences : elles jouissent donc des propriétés additives et soustractives de tous les autres intervalles musicaux : ainsi le ton tempéré (celui de la gamme bien tempérée traditionnelle) valant 50 savarts, 2 tons vaudront 100 savarts, 3 tons 150 savarts et 6 tons ou une octave juste 300 savarts; autre exemple : une quinte tempérée vaut 175 savarts et une quarte tempérée 150; il en résulte que :

$$\begin{aligned}\text{un demi-ton tempéré} &= \text{une quinte tempérée} - \text{une quarte tempérée}\\ &= 175 \text{ savarts} - 150 \text{ savarts}\\ &= 25 \text{ savarts}\end{aligned}$$

Le comma

Les théoriciens désignent sous le nom de comma des intervalles de grandeur fort variable. Cependant ce que les musiciens appellent comma correspond en gros à 1/9^e de ton, c'est-à-dire au comma holdérien qui vaut 1/53^e d'octave. Les commas pythagoriciens et syntoniques qu'on trouve respectivement dans les gammes de Pythagore et de Zarlin (voir l'Appendice) étant très proches du comma holdérien, peuvent donc être également considérés comme des commas au sens où l'entendent les musiciens.

D'après certains instrumentistes à cordes et conformément a la tradition pythagoricienne, le comma serait l'intervalle qui sépare un RÉ♯ d'un MI♭, le RÉ♯ se trouvant 1 comma plus haut que le MI♭. En fait, s'il est vrai que le RÉ♯ est souvent joué plus haut que le MI♭ par les instrumentistes d'orchestre, l'écart qui sépare les deux notes est cependant très variable et dépend du contexte, comme c'est d'ailleurs le cas pour bien d'autres intervalles musicaux (voir justesse expressive, p. 134).

Par ailleurs et contrairement à ce qu'on pense généralement, le comma défini comme le 1/9e de ton est une unité beaucoup trop grande pour cerner les phénomènes liés à la justesse et à l'accord des instruments à clavier. Nous pouvons ainsi affirmer en tant qu'accordeur, qu'un piano dont toutes les notes ne seraient accordées qu'à 1 comma près, *sonnerait tout à fait faux* : une quinte ou une octave raccourcie d'un comma, par exemple, sonne abominablement faux. C'est l'enseignement néfaste de la théorie musicale qui a répandu cette idée que le comma était la plus petite différence de hauteur perceptible, une sorte de molécule de son : il n'en est absolument rien comme nous allons le voir; mais cela explique que, les musiciens appellent « comma » tout intervalle à peine perceptible et l'associe au 1/9e de ton conformément aux définitions desdites théories.

Le savart — passage de l'évaluation acoustique d'un intervalle à son évaluation musicale en savarts

Il correspond à 1/300e d'octave (très exactement 1/301e d'octave). C'est une unité beaucoup plus précise que le comma : il représente à peu près, en effet, la plus petite différence de hauteur perceptible entre deux sons lorsque ces deux sons sont entendus successivement[1]; c'est environ l'intervalle qui sépare, par exemple, un LA 440 d'un LA 441.

Le savart est par ailleurs, une unité commode à manipuler puisque :

une octave juste	vaut	300 savarts
un ton tempéré	—	50 savarts
un demi-ton temp.	—	25 savarts.

Enfin il est très facile de passer de l'évaluation acoustique d'un intervalle exprimé sous forme de rapport de fréquences à son évaluation musicale en savarts : un intervalle exprimé en savarts vaut en effet 1.000 fois le logarithme du rapport de fréquences auquel il correspond. Si nous appelons N_2 la fréquence de la note aiguë d'un

---

[1] C'est-à-dire en audition mélodique.

intervalle et N_1 la fréquence de sa note grave, l'intervalle exprimé en rapport de fréquences vaut $\frac{N_2}{N_1}$; nous avons alors :

$$\text{intervalle exprimé en savarts} = 1.000 \text{ Log } \frac{N_2}{N_1}$$

Même si on ignore tout du calcul logarithmique et de son principe (dont nous donnerons un aperçu ci-dessous), il est facile de procéder à de telles conversions en utilisant une petite calculatrice de poche effectuant automatiquement les calculs logarithmiques. Supposons, par exemple, que nous voulions savoir combien une octave juste vaut de savarts : nous savons qu'une octave correspond au rapport de fréquences $2/1 = 2$; nous avons donc :

$$\text{octave juste exprimée en savarts} = 1.000 \text{ Log } 2$$

Prenons alors notre « calculette » et appuyons sur la touche 2 puis sur la touche Log (à moins qu'il ne faille d'abord appuyer sur la touche Log et ensuite seulement sur le 2 ! Tout dépend du mode d'emploi de la « calculette »). Nous voyons alors apparaître sur l'écran le nombre 0,301... c'est-à-dire le logarithme de 2, donc :

$$\begin{aligned} \text{octave juste en savarts} &= 1.000 \times 0{,}301 \\ &= 301 \text{ savarts} \end{aligned}$$

Supposons maintenant que nous voulions connaître en savarts la valeur de la quinte juste (rapport $3/2 = 1{,}5$)

$$\begin{aligned} \text{quinte juste} &= 1.000 \text{ Log } 1{,}5 = 1.000 \times 0{,}176 \\ &= 176 \text{ savarts} \end{aligned}$$

Comme on sait qu'en musique, une quarte juste est égale à une octave juste à laquelle on retranche une quinte juste et que le savart est une unité qui jouit des propriétés additives et soustractives des autres intervalles musicaux, on peut en déduire la valeur en savarts de la quarte juste :

$$\begin{aligned} \text{quarte juste} &= \text{octave juste} - \text{quinte juste} \\ &= 301 \text{ savarts} - 176 \text{ savarts} \\ &= 125 \text{ savarts} \end{aligned}$$

On aurait pu également calculer la valeur en savarts de la quarte à partir des rapports de fréquence de l'octave et de la quinte en procédant ainsi :

$$\begin{array}{ccccc} \text{rapport de quarte} & = & \text{rapport d'octave} & : & \text{rapport de quinte} \\ - & = & \frac{2}{1} & : & \frac{3}{2} \\ - & = & 2 & \times & \frac{2}{3} \\ - & = & \frac{4}{3} & & \end{array}$$

intervalle de quarte = 1.000 Log $\frac{4}{3}$ = 1.000 Log 1,333···
— = 1.000 × 0,125 (en arrondissant au 1/1.000)
— = 125 savarts

Le cent ou 1/1.200^e d'octave

Si le savart est une unité suffisamment précise pour aborder les problèmes de justesse mélodique, il n'en va pas tout à fait de même en justesse harmonique.

On sait que la plupart des intervalles harmoniques (plaqués) émettent des battements d'harmoniques qui sont très utiles aux accordeurs dans l'accord des pianos et des instruments à clavier (voir « Accord au TEQJ », p. 45 et également un peu plus loin, p. 209). Ainsi une tierce majeure du TEQJ comme FA$_2$ LA$_2$, par exemple, émet 7,5 battements à la seconde; le calcul montre qu'une telle tierce vaut alors 100,6 savarts. Supposons que le LA$_2$ soit accordé 1 savart trop haut : la tierce FA$_2$ LA$_2$ va valoir dans ce cas 101,6 savarts; si on joue alors mélodiquement ces deux tierces l'une après l'autre, il sera très difficile de les distinguer puisque le savart représente à peu près la plus petite différence de hauteur perceptible : *mais cela n'est vrai qu'en mélodie.* Si nous jouons, en effet, les deux tierces harmoniquement, c'est-à-dire en les plaquant l'une après l'autre, la seconde n'aura ni la même couleur ni la même justesse harmonique que la première : le calcul comme l'expérience montre que la seconde émettra alors 9,5 battements contre 7,5 seulement pour la première; or, un bon accordeur arrive à distinguer sur des tierces du médium comme celles-ci, une différence d'environ seulement un demi-battement à la seconde; une erreur de 2 battements serait donc une erreur importante : en langage d'accordeur, une tierce qui présenterait ainsi 2 battements de trop serait considérée comme « malade » et l'accordeur qui l'aurait commise, comme un « accordaillon »; pour des musiciens, le piano, sans être vraiment faux, paraîtrait inégal à cet endroit; la sonorité trop brillante de cette tierce ressortant sans raison sur celle de ses voisines!

Pour cerner avec toute la précision souhaitable, ce que perçoivent les musiciens et les accordeurs dans le domaine de la justesse et de l'accord, il convient donc d'utiliser une unité 4 fois *plus petite que le savart* qui s'appelle *le cent.*

On appelle donc cent le 1/1.200^e d'octave. Il en résulte que :

— une octave vaut 1.200 cents
— un ton — 200 cents
— un demi-ton — 100 cents
— un comma — 22 cents
— un savart — 4 cents

On voit l'extraordinaire finesse d'oreille d'un bon musicien ou d'un bon accordeur et combien nous sommes loin des affirmations fantaisistes de certaines « théories musicales ».

Principe du passage de l'évaluation acoustique d'un intervalle à son évaluation musicale – logarithmes (facultatif!)

En observant p. 193 le tableau permettant de comparer l'évaluation musicale de sommes d'octaves à leur évaluation acoustique, on peut observer un phénomène curieux : certes la progression du nombre des octaves est beaucoup moins rapide que celles des fréquences correspondantes puisque, dans le premier cas, on a affaire à une progression arithmétique et dans le second à une progression géométrique; mais si on indique la progression des fréquences sous la forme de puissances successives de 2 :

$$2^1,\ 2^2,\ 2^3,\ 2^4,\ \text{etc.},$$

on constate que les exposants des puissances successives de 2, forment quant à eux, une progression géométrique : 1, 2, 3, 4, etc., correspondant exactement à la progression arithmétique du nombre des octaves.

On appelle chacun des exposants, logarithme de base 2 du nombre correspondant de la progression géométrique qu'on obtient en élevant 2 à la puissance indiquée par l'exposant.

Ainsi on dira que 4 est le logarithme de base 2 du nombre 16 puisque $2^4 = 16$.

Il est donc toujours possible de passer d'une progression géométrique à une progression arithmétique : il suffit pour cela de noter la progression géométrique sous la forme de puissances successives d'un nombre quelconque x, les exposants qui forment alors une progression arithmétique, sont appelés logarithmes de base x des nombres correspondants de la progression géométrique; il est donc facile de passer de l'évaluation acoustique d'un intervalle à son évaluation musicale : ainsi un rapport de fréquence tel que $8/1 = 8$, peut être mis sous la forme de 2^3, l'exposant 3 nous indique immédiatement que nous avons affaire à un intervalle de 3 octaves. Cependant il nous serait bien difficile, en utilisant comme nous venons de le faire, un logarithme de base 2, de savoir à quel intervalle correspond un rapport quelconque comme 11,5, par exemple; il faudrait pour cela savoir combien 11,5 représente de puissance de 2, c'est-à-dire combien de fois il convient de multiplier 2 par lui-même pour obtenir 11,5 : comme $2^3 = 8$ et que $2^4 = 16$, l'intervalle recherché vaut entre 2 et 3 octaves, mais, par cette méthode, beaucoup de tâtonnements seraient nécessaires pour déterminer cet intervalle avec précision.

Aussi utilise-t-on les logarithmes décimaux ou népériens (du nom de Neper, leur inventeur) : par définition, le logarithme décimal d'un nombre, c'est la puissance à laquelle on doit élever 10 pour obtenir ce nombre; or il est très facile de se procurer les logarithmes de tous les nombres : on les trouve en effet en librairie sous le nom de « tables de logarithmes ». Comme nous l'avons expliqué, il suffit alors de prendre le logarithme d'un rapport de fréquences quelconque et de le multiplier par 1.000, pour obtenir la valeur de l'intervalle correspondant en savarts. A vrai dire, l'usage des tables de logarithme a tendance à tomber en désuétude depuis qu'il existe de petites calculatrices de poche qui évitent, pour ainsi dire, tout calcul.

On peut se demander pourquoi on multiplie le logarithme du rapport de fréquences par 1.000 au lieu de prendre comme mesure musicale le logarithme lui-même : c'est que l'unité retenue serait alors beaucoup trop grande puisqu'une octave en valant 0,301 n'en représenterait même pas le tiers[1], on a donc préféré utiliser une unité 1.000 fois plus petite, le savart, qui correspond à peu près au plus petit pouvoir séparateur de l'oreille en justesse mélodique.

Passage de l'évaluation musicale d'un intervalle exprimé en savarts à son évaluation acoustique exprimé en rapports de fréquences

C'est une opération un peu moins courante que l'opération inverse mais il faut quand même savoir l'effectuer, ce qui est très facile avec une « calculette ».

1^re solution

C'est la plus simple et la plus rapide si on dispose d'une « calculette » permettant d'obtenir la puissance d'un nombre; dans ce cas, la « calculette » présente généralement une touche x^y symbolisant une élévation d'un nombre quelconque x à la puissance y. Il suffit alors d'élever le rapport correspondant à 1 savart, soit 1,0023052, à une puissance n correspondant au nombre de savarts que comprend l'intervalle :

$$\text{rapport } \frac{N_2}{N_1} = 1{,}0023052^{\,n}$$

C'est exactement la même opération que nous faisions p. 193 avec les calculs d'octave : on a vu en effet que, comme l'octave correspond au rapport $2/1 = 2$, 3 octaves correspondant à $2^3 = 8$, 4 octaves à $2^4 = 16$, etc.

Soit à calculer, par exemple, le rapport de fréquences correspondant à une quinte « tempérée » (de la GBT ou gamme bien tempérée), qui vaut 175,6 savarts :

$$\text{rapport de quinte tempérée} = 1{,}0023052^{175\ 6}$$

---

[1] Le logarithme de 2 est en effet égal à 0,301...

Formons sur l'écran de notre « calculette » le nombre 1,0023052, puis appuyons sur la touche x^y et formons ensuite le nombre 175,6; appuyons enfin sur la touche = (si tel est le mode d'emploi de la « calculette »), nous obtenons : 1,4983, soit un peu moins de 1,5 rapport correspondant à la quinte juste.

2^e^ solution

La seule qui était possible, il y a 5 ou 10 ans, lorsque les calculettes n'existaient pas encore!

On sait que :

$$\text{intervalle en savarts} = 1.000 \text{ Log } \frac{N_2}{N_1}$$

Il est donc facile de connaître le logarithme de $\frac{N_2}{N_1}$

$$\text{Log } \frac{N_2}{N_1} = \frac{\text{intervalle en savarts}}{1.000}$$

Il reste ensuite à chercher dans des tables de logarithmes à quel nombre correspond le logarithme de $\frac{N_2}{N_1}$: ce nombre n'est autre que le rapport cherché. Mais pour y parvenir, il faut apprendre à se servir des tables de logarithmes!

Reprenons notre exemple concernant la quinte tempérée qui vaut 175,6 savarts, nous aurons :

$$\text{Log } \frac{N_2}{N_1} = \frac{175{,}6}{1.000} = 0{,}1756$$

En consultant les tables de logarithmes, nous constaterons que ce logarithme correspond au nombre 1,4983 qui est bien le rapport de fréquences de 2 notes séparées par une quinte tempérée.

N.B. — Si on ne dispose pas de tables de logarithmes, on peut là encore se servir d'une « calculette ». Nous savons qu'un nombre qui a pour logarithme 0,1756 s'obtient en élevant 10 à la puissance 0,1756, donc :

$$\frac{N_2}{N_1} = 10^{0{,}1756}$$

On forme alors le nombre 10 sur l'écran, on appuie sur la touche de puissance x^y, puis sur 0,1756 et enfin sur = et on obtient le rapport cherché soit 1,4983.

Insistons encore sur le fait que les symboles correspondants aux différentes opérations ainsi que les modes d'emploi varient d'une calculatrice à l'autre; les procédures que nous avons décrites ci-dessus doivent donc être adaptées à chaque type de calculatrice.

Partage égal d'un intervalle ou la mare aux canards

Nous avons vu comment il était possible d'évaluer sous forme de rapports de fréquences des sommes d'intervalles égaux successifs comme, par exemple, 4 octaves ou 175 savarts.

Abordons maintenant le problème inverse et supposons qu'on nous demande à quel rapport de fréquences correspond une octave sachant que celui de 4 octaves successives correspond au rapport $16/1 = 16$. Si nous sommes encore peu experts dans ce genre de calcul nous risquons de répondre que le rapport correspondant à une octave sera :

$$16 : 4 = 4!!!$$

Pourtant nous savons bien que l'octave correspond au rapport $2/1 = 2$! c'est que nous sommes tombé une fois de plus dans l'étang aux nénuphars devenu en l'occurrence, la mare aux canards : celle où l'on patauge et où l'on fausse les intervalles ! Si en effet, nous divisons 16 par 4, c'est que nous supposons implicitement que le rapport de 4 octaves correspond à :

$$4 + 4 + 4 + 4 = 16$$

mais alors nous faisons l'erreur qui consiste à additionner des rapports d'intervalles alors qu'en acoustique, il faut en réalité multiplier ces rapports l'un par l'autre; il ne faut donc pas chercher le nombre qui, multiplié par 4 donne 16, mais le nombre qui, *multiplié 4 fois par lui-même* donne 16, c'est-à-dire la racine 4e de 16, ce qui s'écrit $\sqrt[4]{16}$ ou encore $16^{\frac{1}{4}}$; or ce nombre, c'est bien 2 puisque $2^4 = 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 16$.

Application pratique : accord des pianos ou clavecins selon la gamme bien tempérée (GBT) et selon le tempérament égal à quintes justes (TEQJ)

Avant l'apparition de la GBT au XVIIIe siècle, les instruments à clavier étaient accordés dans des systèmes où l'octave était divisée en 12 demi-tons inégaux : les demi-tons chromatiques n'étaient pas en effet égaux aux demi-tons diatoniques; il en résultait qu'un RÉ♯ ne pouvait pas servir de MI♭ et que la touche noire (blanche sur les clavecins !) située entre RÉ et MI était tantôt accordée comme un RÉ♯, tantôt comme un MI♭, mais ne pouvait être les deux à la fois : il était donc impossible de jouer dans tous les tons sans modifier l'accord de l'instrument; seuls six tons majeurs et trois tons mineurs étaient directement accessibles, ce qui bloquait l'évolution tonale de la musique pour clavier et même celle de la musique d'ensemble dans la mesure où le clavecin était, à cette époque, intégré à l'orchestre.

Pour permettre aux clavecinistes et aux pianistes d'aborder tous les tons avec seulement 12 notes par octave, on imagina d'égaliser les demi-tons en confondant en une seule et même note les sons enharmoniques (tels que RÉ♯ et MI♭), ce qui revient à diviser l'octave en 12 parties égales ou demi-tons égaux. Ce système d'accord qui porte le nom de gamme bien tempérée devait triompher après J.-S. Bach et se maintenir, en théorie du moins, jusqu'à nos jours; nous expliquons dans « Qu'est-ce que la justesse », pourquoi ce système qui apportait une solution au problème des modulations était aussi parfaitement acceptable pour l'oreille : il s'éloignait pourtant considérablement des systèmes d'accord antérieurs comme l'accord à tons moyens ou accord mésotonique et il souleva, à l'époque, les protestations véhémentes de nombreux physiciens, philosophes (Rousseau entre autres) et musiciens... Pour l'instant, cependant, notre propos sera plus prosaïque, il consistera à calculer à quel rapport de fréquences correspond le demi-ton de la gamme bien tempérée sachant que le rapport d'octave juste est égal à 2/1 et qu'une octave comprend 12 demi-tons égaux.

Si nous pensons que le rapport correspondant au demi-ton tempéré, c'est :

$$\frac{2}{12} = \frac{1}{6} = 0{,}1666...$$

nous tombons directement dans la mare aux canards et il vaut mieux que l'audition d'un tel demi-ton épargne nos oreilles!

En réalité le rapport correspondant au demi-ton, c'est celui qui, multiplié 12 fois par lui-même redonne 2, ce qu'on appelle la racine douzième de 2 : $\sqrt[12]{2}$ ou $2^{\frac{1}{12}}$

$$\text{Or } 1^{12} = 1 \text{ et } 2^{12} = 4096\,!!!$$

C'est donc un peu plus que 1 et beaucoup moins que 2! Si on ne connaît pas le calcul logarithmique ou si on ne dispose pas d'une « calculette » permettant d'obtenir les puissances ou les racines, on risque de passer un bon moment à remplir des gribouillis chiffrés en essayant successivement d'élever à la puissance 12, une certaine quantité de nombres situés entre 1 et 1,1 : ce qui est assez fastidieux! Avec une « calculette », c'est l'enfance de l'art : on appuie sur 2, puis sur la touche $x^{\frac{1}{y}}$ qui symbolise la recherche d'une racine, sur 12 et enfin sur =, et on obtient :

$$2^{\frac{1}{12}} = 1{,}0594631$$

Un demi-ton de la gamme bien tempérée (GBTT) vaut donc en savarts :

$$\begin{aligned} \text{demi-ton (GBTT)} &= 1.000 \times \text{Log } 1{,}0594631 \\ &= 1.000 \times 0{,}002508 \\ &= 25{,}08 \text{ savarts} \end{aligned}$$

Comme tous les intervalles de la GBTT comprennent un nombre entier de demi-tons de cette espèce, pour connaître le rapport de fréquences correspondant à un intervalle quelconque de cette gamme, il suffit d'élever 1,0594631 à une puissance égale au nombre de demi-tons tempérés que comprend l'intervalle :

rapport d'intervalle (GBTT) = $1,0594631^{n}$

Pour savoir combien cet intervalle vaut de savarts, il suffit de multiplier 25,08 par le nombre de demi-tons :

valeur de l'intervalle en savarts = 25,08 × n demi-tons

Dans un accord au TEQJ, le demi-ton correspond cette fois à la division en 7 parties égales d'une quinte juste, donc :

rapport de demi-ton (TEQJ) = $\sqrt[7]{1,5}$ ou $1,5^{\frac{1}{7}}$
= 1,059634...
demi-ton (TEQJ) en savarts = 1.000 × Log 1,059634..
= 1.000 × 0,02515
= 25,15 savarts

Comme il s'agit là encore d'un tempérament égal : un rapport d'intervalle du TEQJ = $1,059634^{n}$
et un intervalle du TEQJ = 25,15 × n demi-tons
(n étant le nombre de demi-tons que comprend cet intervalle).

Intervalles de la GBTT exprimés en rapports de fréquences et en savarts

demi-ton	= $1,0594631^{1}$	= 1,0594	25,085 × 1 =	25,08 savarts
seconde majeure	= $1,0594631^{2}$	= 1,1224	25,085 × 2 =	50,17 savarts
tierce mineure	= $1,0594631^{3}$	= 1,1892	25,085 × 3 =	75,25 savarts
tierce majeure	= $1,0594631^{4}$	= 1,2599	25,085 × 4 =	100,34 savarts
quarte	= $1,0594631^{5}$	= 1,3348	25,085 × 5 =	125,42 savarts
quinte diminuée	= $1,0594631^{6}$	= 1,4142	25,085 × 6 =	150,51 savarts
quinte	= $1,0594631^{7}$	= 1,4983	25,085 × 7 =	175,60 savarts
sixte mineure	= $1,0594631^{8}$	= 1,5874	25,085 × 8 =	200,68 savarts
sixte majeure	= $1,0594631^{9}$	= 1,6817	25,085 × 9 =	225,77 savarts
septième mineure	= $1,0594631^{10}$	= 1,7817	25,085 × 10 =	250,85 savarts
septième majeure	= $1,0594631^{11}$	= 1,8877	25,085 × 11 =	275,94 savarts
octave	= $1,0594631^{12}$	= 2	25,085 × 12 =	301,02 savarts
……	……	……	……	……
10ᵉ majeure	= $1,0594631^{16}$	= 2,5198	25,085 × 16 =	401,36 savarts
……	……	……	……	……
double octave	= $1,0594631^{24}$	= 4	25,085 × 24 =	602,04 savarts
……	……	……	……	……
17ᵉ majeure	= $1,0594631^{28}$	= 5,0396	25,085 × 28 =	702,38 savarts
……	……	……	……	……
quadruple oct.	= $1,0594631^{48}$	= 16	25,085 × 48 =	1204,08 savarts

Intervalles du TEQJ exprimés en rapports de fréquences et en savarts

demi-ton	= $1,059634^{1}$	= 1,0596	25,156 × 1 =	25,15 savarts
seconde majeure	= $1,059634^{2}$	= 1,1228	25,156 × 2 =	50,31 savarts
tierce mineure	= $1,059634^{3}$	= 1,1897	25,156 × 3 =	75,46 savarts
tierce majeure	= $1,059634^{4}$	= 1,2607	25,156 × 4 =	100,62 savarts
quarte	= $1,059623^{5}$	= 1,3359	25,156 × 5 =	125,78 savarts
quinte diminuée	= $1,059634^{6}$	= 1,4158	25,156 × 6 =	150,93 savarts
quinte	= $1,059634^{7}$	= 1,5	25,156 × 7 =	176,09 savarts
sixte mineure	= $1,059634^{8}$	= 1,5894	25,156 × 8 =	201,24 savarts
sixte majeure	= $1,059634^{9}$	= 1,6842	25,156 × 9 =	226,4 savarts
septième mineure	= $1,059634^{10}$	= 1,7846	25,156 × 10 =	251,56 savarts

septième majeure	= $1{,}059634^{11}$	= 1,8911	25,156 × 11 =	276,71 savarts
octave	= $1{,}059634^{12}$	= 2,00387	25,156 × 12 =	301,87 savarts
……	……	……	……	……
10ᵉ majeure	= $1{,}059634^{16}$	= 2,5263	25,156 × 16 =	402,49 savarts
……	……	……	……	……
double octave	= $1{,}059634^{24}$	= 4,0155	25,156 × 24 =	603,74 savarts
……	……	……	……	……
17ᵉ majeure	= $1{,}059634^{28}$	= 5,0624	25,156 × 28 =	704,36 savarts
……	……	……	……	……
quadruple oct.	= $1{,}059634^{48}$	= 16,124	25,156 × 48 =	1207,49 savarts

Les harmoniques et le timbre

Nous avons vu que lorsque nous pensons percevoir un son unique, comme, par exemple, un SOL$_1$ de violoncelle, nous avons bien souvent affaire en réalité à un son complexe et riche en harmoniques; même s'ils sont nombreux et se situent à des hauteurs diverses, ces divers harmoniques n'altèrent donc pas l'impression de hauteur unique que nous donne le son complexe : il se produit en effet, entre le son fondamental et ses harmoniques, un phénomène de fusion dont nous donnerons plus loin une explication (voir p. 207).

En revanche, les harmoniques d'un son contribuent à donner à ce son un caractère, une couleur particulière que nous appelons le timbre; la variété des timbres tient donc uniquement à des combinaisons diverses des sons harmoniques; chaque timbre dépend ainsi du nombre des harmoniques, de leur hauteur et de leur intensité relative : cette combinaison particulière à chaque timbre s'appelle son spectre harmonique.

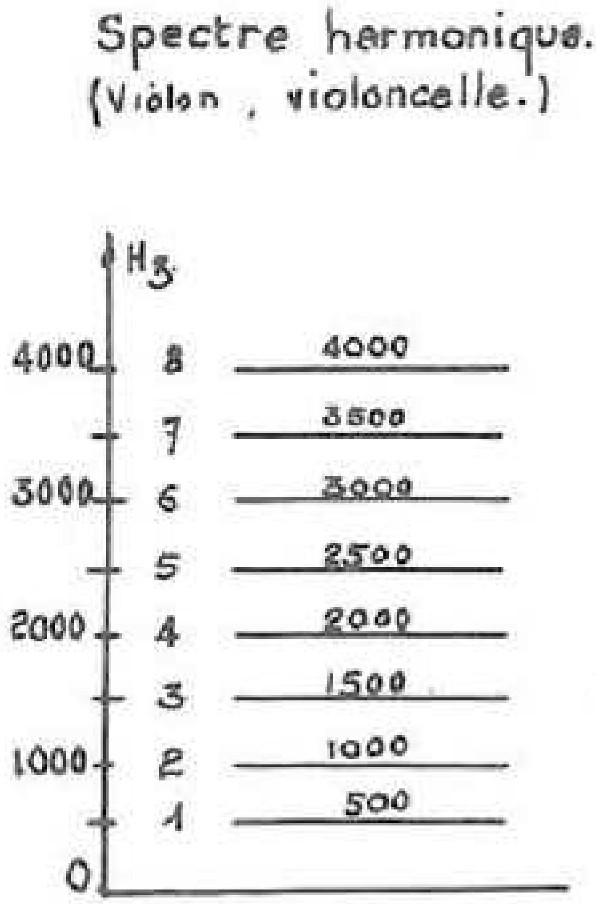
Ainsi un son présentant un fondamental intense mais très peu d'harmoniques paraît doux, transparent, détimbré : c'est le cas de la flûte dans son registre grave et medium; un son qui possède des harmoniques nombreux et relativement intenses dont l'intensité décroît progressivement avec le rang de l'harmonique est riche, plein, bien timbré (violoncelle), dans le registre aigu, il devient éclatant (violon); un son auquel il manque certains rangs d'harmoniques et qui ne possède, par exemple, que des harmoniques de rang impair (N, 3N, 5N, 7N, etc.) donne l'impression d'être creux ou profond (clarinette).

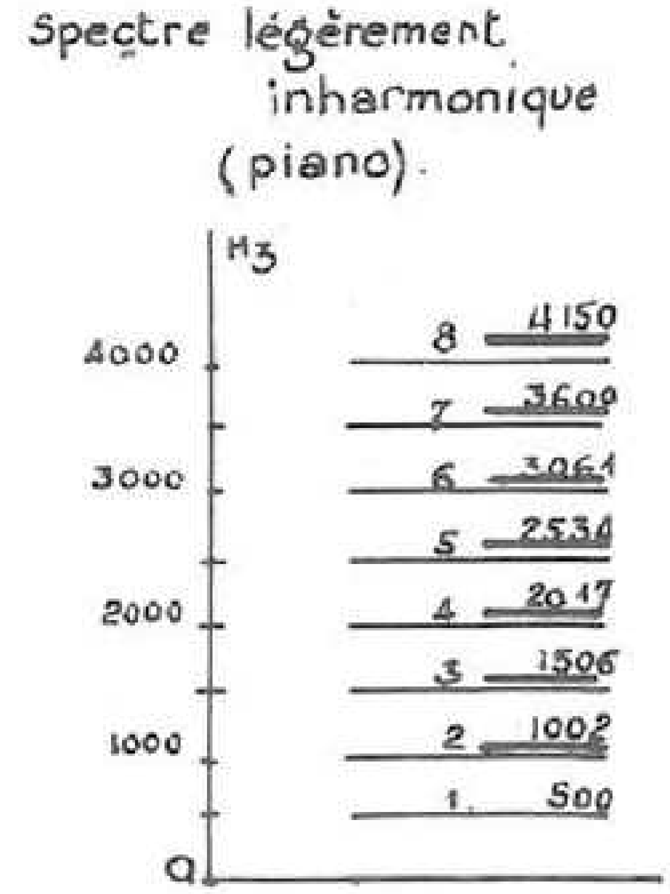
Sons harmoniques et partiels — inharmonicité

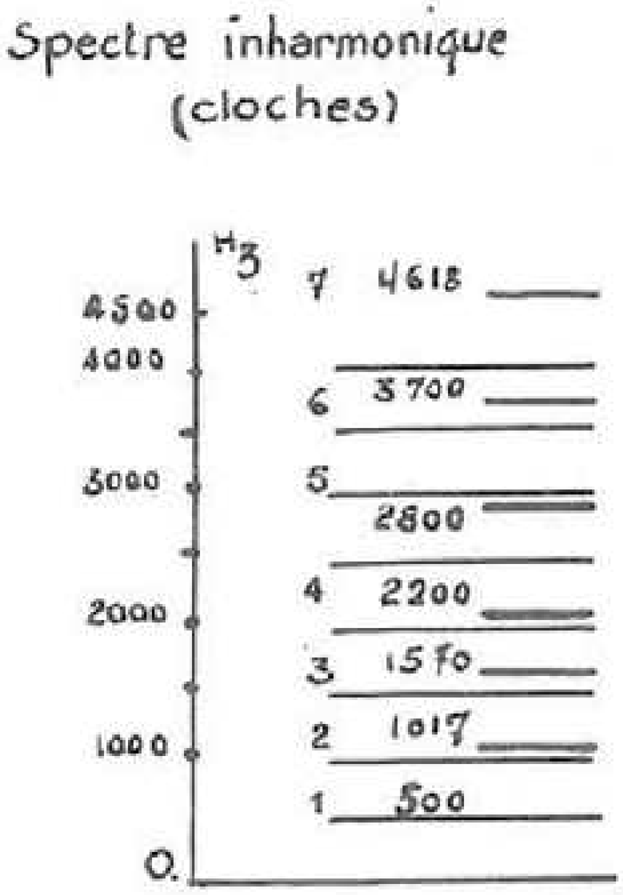
Nous avons dit que la plupart des sons musicaux étaient des sons complexes qui présentaient à côté d'un son fondamental de fréquence N, divers sons harmoniques 2N, 3N, 4N, 5N, etc., dont les fréquences étaient des multiples du son fondamental; bien souvent cependant, ces fréquences ne sont pas des multiples exacts de la fréquence du son fondamental mais s'en rapprochent seulement plus ou moins :

on appelle partiels ces harmoniques imparfaits. On les appelle partiels harmoniques s'ils sont très proches de véritables harmoniques : l'écart plus ou moins grand qui sépare une série de partiels ou de partiels harmoniques d'une véritable série harmonique s'appelle inharmonicité.

En ce qui concerne les cordes vibrantes, l'inharmonicité qu'elles présentent est d'autant plus faible que le rapport entre la longueur d'une corde et son diamètre est plus grand : plus une corde est longue et fine, plus elle émet des sons partiels voisins de véritables harmoniques : c'est précisément le cas des instruments de l'orchestre à cordes et du clavecin : le spectre harmonique d'un violon ou du violoncelle présente des raies harmoniques pratiquement équidistantes, ce qui signifie que la différence des fréquences entre deux harmoniques successifs reste constante et que les partiels peuvent être considérés comme de véritables harmoniques :







Les cordes d'un piano ne présentent pas, quant à elles, des raies de partiels tout à fait équidistantes : celles-ci s'écartent progressivement et de façon quasi imperceptible les unes des autres; le piano présente donc une légère inharmonicité; cette inharmonicité est d'autant plus manifeste que les cordes sont plus raides et plus courtes : ainsi les cordes graves d'un piano droit sont relativement très courtes par rapport à leur diamètre : c'est pourquoi elles sont assez souvent inharmoniques; il en va souvent de même des premières cordes d'acier qu'on trouve à partir du croisement dans les pianos de taille relativement restreinte : pianos surbaissés, crapauds, etc. Cette inharmonicité se traduit alors par des sons dont la hauteur paraît imprécise et le timbre pauvre; ce n'est jamais le cas sur les pianos présentant des dimensions suffisantes, les grands « queue » de concert en particulier qui ont des cordes très longues dont l'inharmonicité est très faible.

Le taux d'inharmonicité varie donc d'un piano à l'autre. Cette inharmonicité a pour conséquence de modifier les fréquences et les rapidités théoriques d'un accord. Celles-ci varient sensiblement en fonction de l'inharmonicité du piano, que le piano soit accordé en GBTT ou en TEQJ.

A partir des travaux sur l'inharmonicité réalisés par l'acousticien et électronicien américain Young et par l'ingénieur et facteur de pianos allemand Klaus Fenner, nous avons entrepris une étude des conséquences de l'inharmonicité sur l'accord des pianos. Nous poursuivons actuellement ces travaux avec la collaboration d'un électronicien qui conçoit et réalise des appareils extrêmement performants; nous publierons prochainement un compte rendu détaillé concernant ce problème. Mais dès maintenant un certain nombre de conclusions s'impose :
1) Sur un bon piano, présentant des cordes graves suffisamment longues, l'inharmonicité très faible dans le grave croît régulièrement et en progression géométrique du grave à l'aigu;
2) sur un piano aux cordes graves trop courtes, l'inharmonicité décroît à peine du medium à l'extrême grave et elle décroît très irrégulièrement; quelquefois, elle remonte même dans les extrêmes basses;
3) sur tous les pianos, la croissance de l'inharmonicité est à peu près la même du medium à l'extrême aigu et les distorsions de fréquences ou de rapidités sont sensiblement les mêmes.

Ces trois premières conclusions avaient déjà été solidement établies par Young et K. Fenner;
4) sur un bon piano, l'inharmonicité entraîne des déviations sensibles des fréquences par rapport aux fréquences théoriques mais elle n'entraîne pas des distorsions très sensibles de la rapidité des intervalles : les recherches que nous poursuivons viendront sans doute confirmer cette affirmation. Cependant on peut déjà expliquer ainsi qu'il soit impossible d'accorder un piano en utilisant un accordeur électronique réglé sur les fréquences théoriques de la GBTT : on obtient dans ce cas, comme le déclare E. Leipp, un accord « tout à fait faux ». Par contre, un accordeur réalisant « à l'oreille » un accord en respectant, comme on lui a appris à le faire, les rapidités théoriques de la GBTT, obtient un accord sinon excellent, du moins satisfaisant, comme l'expérience le montre. Cependant un relevé de fréquences d'un accord ainsi réalisé montre que, dans un tel cas, les fréquences théoriques ne sont pas respectées et que l'accordeur, en particulier, agrandit les octaves pour compenser l'inharmonicité. C'est évidemment l'empirisme de l'accordeur qui a raison contre les prétentions des théoriciens qui ne tiennent pas compte de ce phénomène.

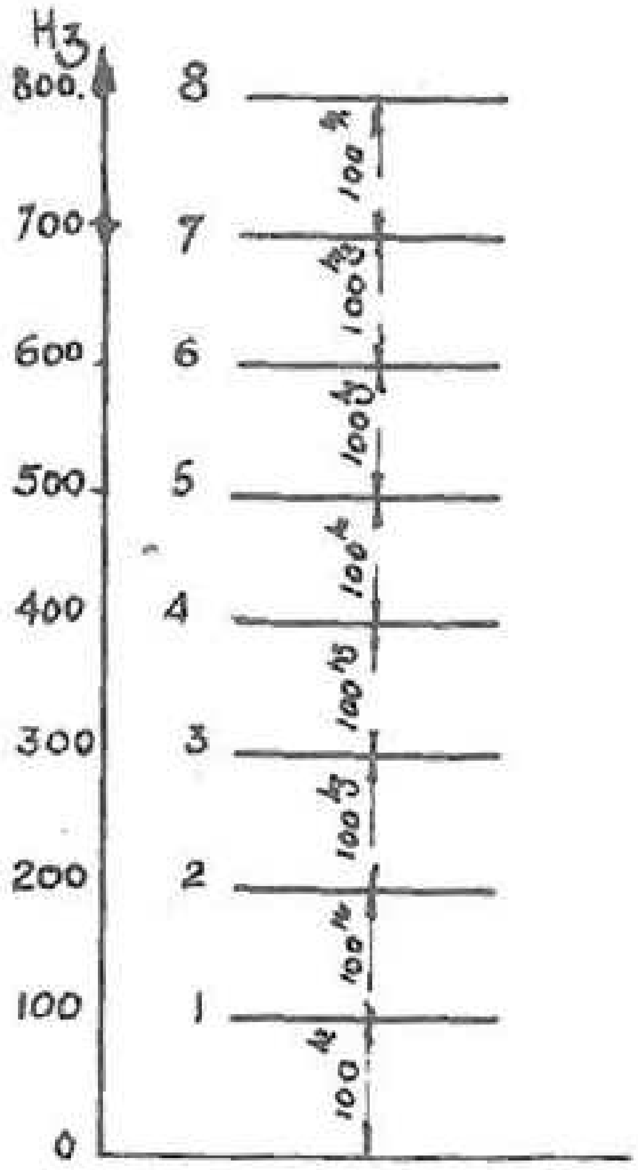
Sons harmoniques ou partiels et sensation de hauteur

La conception traditionnelle de la hauteur lie cette perception à la fréquence du son fondamental; en fait, comme l'a montré E. Leipp[1]

---

[1] *Acoustique et Musique*, p. 122.

il semble bien que la perception de la hauteur soit déterminée par l'équidistance des harmoniques d'un son complexe; considérons, en effet, un son ayant pour fréquence fondamentale 100 hz; celui-ci émettra également dans la plupart des cas une série d'harmoniques présentant des fréquences de 200 hz, 300 hz, 400 hz, etc., conformément au spectre harmonique suivant :

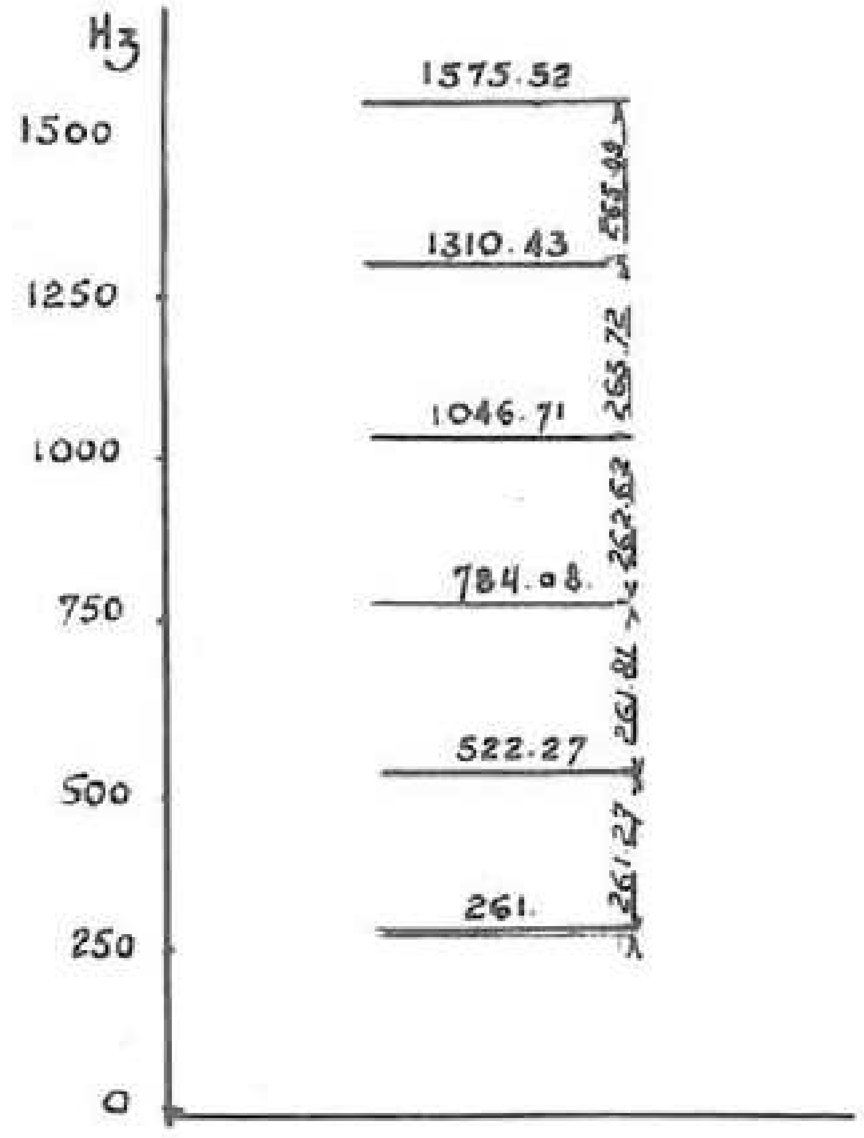


on peut enregistrer ce son sur bande magnétique et lors de la reproduction éliminer certaines fréquences en plaçant un filtre entre le magnétophone et le haut-parleur : si on élimine ainsi le son fondamental de 100 hz et les harmoniques 2 et 3 ayant respectivement 200 et 300 hz, on continue néanmoins à percevoir un son de 100 hz. « On peut » déclare Leipp, « couper tout ce qu'on veut dans le spectre; pour peu qu'il subsiste quelque part deux ou trois raies voisines perceptibles, on continue à entendre un son de 100 hz... Percevoir la hauteur, c'est jauger l'écartement entre harmoniques voisins. »

Cette hypothèse rend bien compte, à notre avis, du phénomène de synthèse ou de fusion des harmoniques dans le son fondamental; loin de nuire à la sensation d'une hauteur unique perçue à la hauteur du son fondamental, la multiplicité des harmoniques ne peut dès lors que la renforcer et la préciser même quand il n'existe aucun son réel à cette hauteur! C'est bien pourquoi, comme on le constate effectivement, la sensation de hauteur est paradoxalement d'autant plus nette qu'un son possède plus d'harmoniques.

On peut alors se demander à quelle hauteur on perçoit exactement un son qui présente non des harmoniques véritables mais des partiels comme dans le cas du piano, par exemple. Tout dépend alors du degré d'inharmonicité :

– si l'inharmonicité est modérée et croît progressivement en fonction du rang du partiel, conformément au spectre suivant :



l'écartement entre les partiels sera successivement de 261,27 hz, 261,81 hz, 262,62 hz, 263,72 hz, 265 hz, etc., notre oreille fera alors une sorte de moyenne entre ces écarts et nous percevrons un son unique de 263 hz environ qui ne sonnera pas exactement comme un son de 263 hz présentant des harmoniques équidistants : il présentera un caractère particulier dû à sa légère inharmonicité, caractère auquel nous reconnaîtrons le timbre du piano. Il s'agit là encore d'un phénomène de fusion, dite « fusion de voisinage » qui se produit entre sons de fréquences voisines. Ce genre de fusion se produit également dans les grands orchestres : ainsi lorsqu'une mélodie est jouée par une trentaine de violons, chaque note de la mélodie nous paraît juste et unique; pourtant les relevés de fréquences montrent qu'aucun des violonistes ne joue exactement à l'unisson des autres; mais les légères déviations personnelles de part et d'autre de la note pensée comme juste se compensent, si bien que nous ne percevons qu'une seule note résultante d'autant plus juste que le nombre des violonistes est plus élevé.

– si l'inharmonicité est trop élevée et très irrégulière, comme cela arrive malheureusement sur certaines « casseroles » affectant la forme d'un piano et en usurpant la fonction, il y aura hésitation sur la hauteur : le son fondamental peut même entrer en conflit avec un fondamental « subjectif » fourni par l'écart entre certains partiels; il se produit alors des battements impossibles à régler ou à éliminer : on est alors en présence de ce que les accordeurs appellent une corde fausse et parfaitement inaccordable, qui est en fait une corde présentant une inharmonicité anarchique.

BATTEMENTS ET JEUX D'HARMONIQUES

C'est en essayant de tenir compte des hypothèses et des apports les plus récents émanant de divers chercheurs ou laboratoires d'acoustique que nous avons abordé jusqu'ici des phénomènes liés à l'existence des sons harmoniques; nous les avons cependant présentés sous une forme volontairement simplifiée afin d'en rendre la compréhension accessible au plus grand nombre de lecteurs; par ailleurs, nous ne nous y sommes pas attardé dans la mesure où il suffit d'en connaître l'essentiel pour comprendre certains problèmes concernant la justesse ou l'accord; le lecteur désireux de compléter ses connaissances pourra toujours se reporter à des ouvrages spécialisés.

Nous allons en revanche étudier en profondeur un phénomène qui joue un rôle très important dans l'appréciation de la justesse et dans l'accord : il s'agit des battements d'harmoniques qui, lors de l'audition simultanée de deux ou plusieurs sons, naissent de la rencontre de certains de leurs harmoniques; nous y insisterons d'autant plus que l'importance musicale de ce phénomène paraît avoir été sous-estimée et qu'à notre connaissance, on n'en trouve nulle part une étude approfondie : c'est sans doute parce que ce phénomène est encore souvent considéré comme contraire à la justesse définie par une absence totale de battements en audition harmonique (thèse de la justesse « naturelle »). Or l'impression de justesse parfaite et de musicalité donnée par un bon ensemble orchestral ou vocal, ou par un piano bien accordé naît, non pas de l'absence de ces battements mais, bien au contraire de leur existence! pas de piano vraiment juste, pas de piano qui ne « sonne » sans un réglage et un dosage minutieux de tous les battements d'harmoniques : là réside tout l'art d'un véritable accordeur.

Rappel préalable du phénomène de battement

1) *Battements entre sons fondamentaux de fréquences voisines*

Lorsque nous entendons deux sons de fréquences voisines et de même intensité, deux LA émis par deux diapasons, l'un de 440 hz, l'autre de 441 hz, par exemple, nous ne percevons pas deux sons distincts mais un son unique d'une hauteur intermédiaire entre celle des deux LA; par ailleurs l'intensité de ce son n'est pas constante : elle passe régulièrement d'un maximum à un minimum toutes les secondes, c'est-à-dire avec une fréquence égale à la différence des fréquences des deux sons; on dit alors que ces deux sons « battent » ensemble et on appelle *rapidité* (en abrégé R) la fréquence des battements qu'ils émettent. Si on appelle N_2 la fréquence du son le plus aigu et N_1 celle du son le plus grave, on a donc :

$$R = N_2 - N_1$$

Dans l'exemple ci-dessus :

$$R = 441 \text{ hz} - 440 \text{ hz}$$
$$R = 1 \text{ hz}$$

On explique généralement le phénomène de battement de la manière suivante : lors de leur première vibration, les branches des deux diapasons vont vibrer dans le même sens parallèlement. Les effets des deux vibrations vont alors s'ajouter; elles seront « en phase » comme disent les physiciens et l'intensité sera maximum; au départ de la seconde vibration, il y aura un début de décalage entre les deux diapasons puisque le diapason qui vibre à 441 hz va distancer un peu celui qui ne présente que 440 hz. Ce décalage va s'accentuer à chaque vibration et il sera maximum au bout d'une demi-seconde : les branches du premier diapason se déplacent alors en sens contraire des branches du second (opposition de phase) et l'intensité est minimum puisque les vibrations propagées par l'air se contrarient. Puis le décalage va devenir de plus en plus faible et au bout d'une seconde les deux diapasons vont se retrouver « en phase » : l'un aura effectué 440 vibrations complètes et l'autre 441, le son entendu atteindra à nouveau son intensité maximum. Si l'un des diapasons présente 450 hz et l'autre 440, la différence de fréquence est alors de 10 hz. En une seconde le diapason le plus rapide accomplit 10 vibrations de plus que l'autre et se trouve donc 10 fois en phase et 10 fois en opposition de phase. On entend donc, dans ce cas, 10 battements ou fluctuations d'intensité en une seconde.

Ces battements entre sons fondamentaux d'intensité voisine sont généralement marqués, voire brutaux et sont généralement considérés comme désagréables, d'où peut-être le nom de battements; ils peuvent donner l'impression de fausseté, d'instrument désaccordé : c'est ce qui se passe sur un piano lorsque les 3 cordes d'une même note ne sont plus à l'unisson : il se produit alors des battements désagréables et caractéristiques. L'une des tâches de l'accordeur consistera précisément à les supprimer : c'est dire que les battements entre sons fondamentaux sont le plus souvent considérés comme indésirables en musique; ils manquent, en effet, de finesse et de subtilité; cette rugosité est d'autant plus accusée que le timbre des sons à l'origine des battements est plus riche en harmoniques, sans doute parce que des battements accompagnant ceux des sons fondamentaux se reproduisent alors à tous les niveaux de la série harmonique. Ils sont toutefois utilisés dans l'orgue où ils affectent alors des jeux peu timbrés comme la « voix céleste » ou « l'unda maris ».

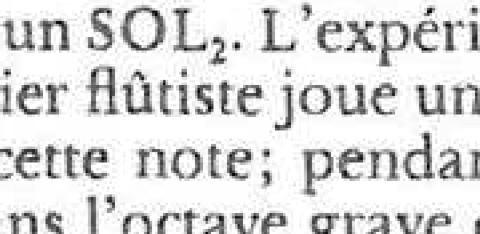
2) *Battements entre plusieurs sons voisins*

Lorsque le nombre des sons de hauteur voisine entendus simultanément augmente, les battements qui se créent entre chacun de ces différents sons se multiplient et finissent par se neutraliser : il s'ensuit une impression de fusion d'autant plus parfaite que le nombre des sons mis en présence est plus grand; on perçoit alors une hauteur précise qui n'est autre que la hauteur moyenne de ces différents sons : c'est ce qui explique la pureté et la justesse des grands orchestres où une mélodie, par exemple, est jouée à l'unisson par une trentaine de violons : les écarts individuels se compensent et la note entendue, résultat d'une fusion, paraît d'autant plus juste et plus stable que les exécutants sont plus nombreux.

3) *Accélération des battements entre deux sons — dissonance — sons différentiels*

Si deux sons de fréquences voisines s'écartent l'un de l'autre, la fréquence des battements : $R = N_2 - N_1$, augmente et aboutit à une stridence qui caractérise la dissonance : à ce moment il n'y a plus fusion en un son unique mais, au contraire, conflit aigu entre deux sons proches mais distincts (dissonance de seconde majeure ou mineure, par exemple). Si l'écart entre N_2 et N_1 s'accroît encore, la dissonance finit par s'atténuer peu à peu; mais alors apparaît parfois un troisième son appelé son différentiel dont la fréquence est égale à $N_2 - N_1$. Pour que ce phénomène assez surprenant se produise, il faut que les deux sons réels aient entre eux une différence de fréquence de plus de 50 hz et qu'ils soient l'un et l'autre très pauvres en harmoniques, presque réduits à leur son fondamental; c'est pourquoi il est pratiquement impossible d'entendre des sons différentiels sur un piano, instrument dont le timbre est trop riche; mais il est facile de mettre ce phénomène en évidence avec des flûtes à bec : ainsi en jouant sur une première flûte un SOL_4 de 800 hz environ et simultanément sur une seconde flûte, un SI_4 de 1.000 hz, on entend distinctement un son grave de 200 hz, soit un SOL_2. L'expérience suivante est également facile à réaliser : un premier flûtiste joue un $RÉ_5$ aigu de 1.200 hz environ et tient longuement cette note; pendant ce temps un second flûtiste joue assez lentement dans l'octave grave de la flûte les sons SOL_4, LA_4, SI_4 dont les fréquences respectives avoisinent 800, 900 et 1.000 hz; on entend alors très bien une flûte basse fantôme qui donnera la « basse suivante » :

SOL_3 = 1.200 hz – 800 hz = 400 hz
$RÉ_3$ = 1.200 hz – 900 hz = 300 hz
SOL_2 = 1.200 hz – 1.000 hz = 200 hz



Le phénomène des sons différentiels est à rapprocher du fait que notre perception de la hauteur paraît bien plus déterminée par l'écart constant qui existe entre harmoniques d'un son complexe (équidistance des raies voisines d'un spectre harmonique) que par la fréquence du son fondamental lui-même; on peut en effet admettre que les harmoniques d'un son complexe sont eux-mêmes des sons simples, peu riches en harmoniques; la différence de fréquence entre deux harmoniques voisins est donc à l'origine d'un son différentiel dont la fréquence est égale à celle du fondamental et qui est donc perçu à la même hauteur que ce dernier. Plus un son est donc riche en harmoniques, plus le son fondamental se trouve précisé et renforcé par l'existence de nombreux sons différentiels à tel point que, si au moyen d'un filtre, on supprime le son fondamental et même les premiers harmoniques, on continue néanmoins, comme nous l'avons vu, à entendre un son fondamental virtuel.

Jeux d'harmoniques

L'audition simultanée de deux ou plusieurs sons complexes riches en harmoniques et de fréquences non voisines s'accompagne généralement de battements d'harmoniques; il arrive en effet fréquemment qu'un harmonique d'un des deux sons soit voisin de l'autre son ou de l'un des harmoniques de l'autre son : il se produit alors des battements que nous préférerions appeler « jeux d'harmoniques » dans la mesure où ils n'ont pas ce côté brutal ou désagréable (impression de désaccord) qu'ont généralement les battements entre sons fondamentaux. La plupart des musiciens ne perçoivent d'ailleurs pas ce phénomène en tant que battement mais ils le perçoivent de façon synthétique, globale, sous la forme d'un certain caractère, d'une certaine couleur qu'ils prêtent à un intervalle, un accord et le plus souvent à une note : celle qui est l'objet de ce phénomène est dans bien des cas la note la plus aiguë de l'accord ou de l'agrégation harmonique : caractère chaud ou chantant, si la fréquence des jeux d'harmoniques est peu élevée et se situe entre 4 et 7 battements à la seconde environ, couleur claire, brillante si elle est supérieure à 12, caractère tendu, stridence au-delà de 20; ces caractères varient également avec le registre où se trouvent les notes qui sont l'objet de ces battements et avec l'intensité de ces battements : c'est ainsi que les battements de 10^e ou de 17^e majeures sont très puissants et affectent beaucoup la sonorité des notes sur lesquelles ils s'exercent alors que ceux des tierces ou des sixtes sont beaucoup plus discrets. C'est sans doute parce qu'il s'agit là d'un phénomène synthétique, s'apparentant aux phénomènes de fusion (fusion des sons de la série harmonique dans le son fondamental, fusion des sons de hauteurs voisines en un son de hauteur unique) que l'importance des jeux d'harmoniques semble avoir été généralement sous-estimée : on n'a pas toujours fait peut-être le rapprochement entre certaines impressions sonores et la présence de ces battements inaudibles en tant que battements. Les accordeurs compétents savent pourtant bien, quant à eux, que l'une des conditions essentielles d'une bonne justesse mais aussi d'une bonne sonorité réside dans le synchronisme, l'équilibre ou la judicieuse progression de ces jeux d'harmoniques. C'est grâce à eux qu'un piano peut donner l'impression d'être un instrument vivant et expressif, capable de sonner avec éclat dans l'aigu et avec chaleur dans le medium qui semble alors animé d'un « vibrato » comme le son du violoncelle ou la voix d'un chanteur.

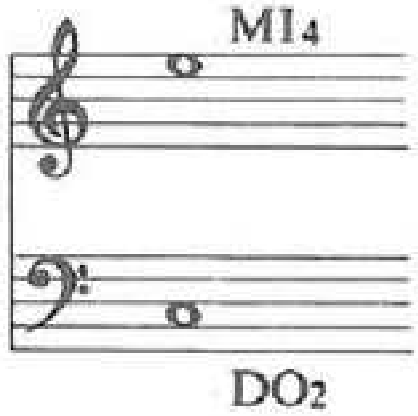
Un long entraînement permet à l'accordeur d'entendre distinctement ces phénomènes sous la forme de battements, d'en apprécier la rapidité et de la régler au plus juste; c'est aussi sans doute le cas de certains musiciens, des solistes en particulier, qui désignent parfois ces jeux d'harmoniques sous le nom de « vibrations », de « grains » ou de « scintillements » du son, montrant qu'ils en ont perçu la nature discontinue et périodique sans en connaître peut-être toujours l'origine exacte; il semble donc que ces jeux d'harmoniques jouent également un rôle au sein des ensembles vocaux ou instrumentaux : les solistes (flûtistes, violonistes, etc.) dont le jeu se détache avec netteté sur la trame harmonique orchestrale ou pianistique en utilisent sans doute empiriquement les possibilités expressives. La possibilité de varier les jeux d'harmoniques et donc de modifier les nuances, l'éclairage, le coloris des combinaisons sonores semble ici pratiquement infinie puisque l'instrumentiste est maître de ses fréquences. Comme l'ont remarqué des musiciens et acousticiens comme Van Esbroek et Monfort, « les battements entre harmoniques impriment à un accord un cachet qui peut varier extrêmement pour des forcements relativement insignifiants des notes de ces intervalles... Il est très aisé de distinguer, si on s'y exerce l'oreille, les nombreuses variétés de tierces qui peuvent meubler une quinte juste ». Il ne semble pas que l'étude systématique de ces déviations expressives, toujours génératrices de jeux d'harmoniques ait été entreprise, si toutefois elle est possible : il s'agit là, en effet, de phénomènes fuyants, éphémères, difficiles à cerner et à analyser.

Il est plus facile d'étudier le rôle qu'ils jouent dans la justesse et la sonorité des instruments à clavier tels que le piano : leur nombre est ici fatalement réduit par la fixité des notes et leur limitation à 12 seulement par octaves; on a par ailleurs tout le temps de les étudier systématiquement dans des accords isolés ou, au contraire, dans des contextes musicaux et en faisant varier les hauteurs et les « tempi » à volonté. On peut alors s'apercevoir que des écarts imperceptibles sur le plan de la justesse mélodique peuvent effectivement avoir des conséquences importantes sur la couleur harmonique des intervalles; c'est ce qui explique que certains accordeurs sachent accorder un piano sans parvenir pour autant, à le faire « sonner » comme certains autres, plus rares, savent le faire. La différence ne viendra pas alors de l'accord des sons fondamentaux qui, à quelques cents près (200^e de ton!) sera le même, mais de l'accord des harmoniques ou plus exactement des battements d'harmoniques, accord qui n'entraînera aucune variation perceptible de la hauteur des sons fondamentaux.

On peut distinguer deux sortes de battements où les harmoniques interviennent :

1) *Les battements entre un son fondamental et un harmonique d'un autre son*

Prenons par exemple, un intervalle de 17^e majeure ou tierce majeure deux fois redoublée comme DO_2 MI_4 :



Si le MI_4 émis en même temps que le DO_2 est exactement à la hauteur du 5^e harmonique de DO_2 qui est lui-même un MI_4, les deux MI_4 sont alors à l'unisson; l'intervalle est alors dit naturel et ne donne lieu à aucun battement. Si, au contraire, le MI_4 entendu en même temps que le DO_2 est un peu plus haut ou un peu plus bas que le 5^e harmonique de DO_2, il se produit des battements à la hauteur de MI_4 c'est-à-dire, dans ce cas, entre un harmonique et une note réelle; leur fréquence est égale à la différence de fréquences entre le MI_4 et le 5^e harmonique de DO_2 :

$$R = N\ MI_4 - 5\ N\ DO_2$$

2) *Les battements entre harmoniques de deux sons différents*

Prenons maintenant le cas d'une tierce comme DO_2 MI_2; le MI_2 a pour 4^e harmonique un MI_4; si ce MI_4 est exactement à la même hauteur que le 5^e harmonique de DO_2 qui est lui-même un MI_4, les deux harmoniques sont à l'unisson et l'intervalle DO_2 MI_2 n'émet aucun battement : la tierce est dite naturelle car le rapport de fréquences auquel elle correspond est effectivement dans un tel cas, celui qui caractérise une tierce naturelle. En effet si le 5^e harmonique de DO_2 est à la même hauteur que le 4^e de MI_2, c'est que :

$$4\ N\ MI_2 = 5\ N\ DO_2$$

et donc que :

$$\frac{N\ MI_2}{N\ DO_2} = \frac{5}{4}$$

Si, au contraire, le MI_2 n'est pas exactement en rapport de tierce naturelle avec le DO_2, les deux harmoniques ne sont pas exactement à la même hauteur et il se produira alors des battements à la hauteur de MI_4 dont la rapidité est égale à :

$$R = 4\ N\ MI_2 - 5\ N\ DO_2$$

si la tierce bat par excès, et à

$$R = 5\ N\ DO_2 - 4\ N\ MI_2$$

si la tierce bat par défaut, c'est-à-dire présente un rapport de fréquences inférieur à 5/4.

Plus les harmoniques qui battent ensemble sont d'un rang élevé et moins les battements sont puissants; c'est pourquoi les battements de 17^e qui se produisent entre un harmonique et un son fondamental (considéré comme l'harmonique de rang 1) sont beaucoup plus intenses que ceux de tierce majeure, par exemple, qui ont lieu entre deux harmoniques.

D'après notre expérience personnelle d'accordeur, pour que des battements entre un son fondamental et un harmonique ou entre deux harmoniques soient suffisamment intenses pour avoir une influence sur la sonorité, il faut :

1) que leur rapidité soit au moins de 3 à 4 hz; pour des rapidités de cet ordre, il faut d'ailleurs, si on désire bien percevoir les battements, que les notes qui le provoquent soient assez longuement tenues, ce qui suppose un mouvement lent (largo, adagio andante); les battements peuvent alors prendre l'aspect d'un véritable « vibrato ». Au-dessus d'une rapidité de 8 à 10 hz, les battements influent toujours sur la sonorité d'un intervalle, quel que soit le mouvement.

2) que les battements soient produits par des harmoniques d'un rang inférieur à 8. Au-delà, les harmoniques sont trop peu intenses excepté ceux qui sont émis par les cordes filées les plus graves du piano : les harmoniques 9, 10 et 11 peuvent alors donner lieu à des battements bien perceptibles; il est alors hautement souhaitable pour l'accordeur que ces partiels ne soient pas trop inharmoniques, ce qui est loin d'être toujours le cas, sauf sur les grands pianos de concert.

Nous tenons enfin à signaler ici un phénomène curieux et intéressant sur le plan musical : lorsque une 17^e majeure, comme DO_2 MI_4 par exemple, émet des battements, ces battements qui se produisent à la hauteur de MI_4 sont entendus à cette hauteur et modifient de ce fait la sonorité de MI_4, note supérieure de la 17^e dont l'intensité subit des fluctuations périodiques à la manière d'un vibrato. Mais si nous écoutons les battements d'une tierce comme DO_2 MI_2, par exemple, nous constatons alors une anomalie : nous avons vu, en effet que dans ce cas, les battements se produisaient, en principe, à la hauteur de MI_4; or ce n'est pas à cette hauteur qu'on les perçoit mais bien à la hauteur de MI_2! Tout se passe comme si le battement affectait le MI_2 et non un

MI_4 virtuel qu'on perçoit fort mal. Ce fait, qui n'est paradoxal qu'en apparence, confirme bien le fait que, comme le suggère E. Leipp, la fréquence fondamentale qu'on attribue à un son n'est pas perçue directement à partir de la fréquence du seul son fondamental de la série harmonique, mais résulte d'une reconstitution de la fréquence fondamentale à partir de l'écartement entre partiels ou harmoniques voisins. Les battements qui se produisent à la hauteur de MI_4 sont donc englobés dans la perception du seul son résultant : MI_2 et on les perçoit donc à cette hauteur.

Cas particulier des intervalles naturels

Les intervalles naturels ont ceci de particulier qu'ils ne donnent pas naissance à des battements perceptibles. Cette absence de battements est due à ce que les intervalles naturels correspondent toujours à des rapports simples comme 2/1 pour l'octave, 3/2 pour la quinte, 5/4 pour la tierce majeure, etc. Le numérateur et le dénominateur de ces rapports présentent donc toujours des nombres inférieurs à 8 sauf pour les tons et les demi-tons. Dans ces conditions, l'un des harmoniques de rang inférieur (inférieur à 8) du son le plus grave correspond toujours à l'un des harmoniques de rang inférieur du son le plus aigu.

Prenons ainsi le cas de la tierce naturelle dont le rapport correspond à 5/4. Appelons comme nous le ferons désormais N_2 le son le plus aigu et N_1 le son le plus grave. Si la tierce est juste, on a :

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{5}{4} \text{ donc } 5\ N_1 = 4\ N_2$$

On voit que dans un tel cas le 5ᵉ harmonique de N_1 aura la même fréquence que le 4ᵉ harmonique de N_2 : l'intervalle ne battra donc pas. Cette absence de battements qui caractérise la justesse physique donne aux intervalles naturels un aspect très particulier où domine une sensation de fusion entre les deux notes de l'intervalle : il en résulte une sonorité égale, droite, rectiligne très reconnaissable; le moindre écart modifie cette sensation : c'est ce qui permet aux instrumentistes à cordes d'obtenir des quintes parfaitement justes en les jouant sous forme d'accord en doubles cordes (bien que la plupart des instrumentistes à cordes ignorent parfaitement que ladite sensation est due à la suppression totale des battements!).

Les appréciations portées sur les intervalles naturels varient beaucoup selon les époques et les goûts personnels : certains évoquent leur pureté, leur sérénité et les mettent parfois sur le compte de la grande simplicité de leur expression mathématique; d'autres – les accordeurs actuels en général! – les trouvent plats, hiératiques, monotones, manquant de vie; de telles considérations fort subjectives, ne peuvent, à elles seules, entraîner le choix d'une justesse de référence : celle-ci ne peut naître que d'une pratique musicale comme nous essayons de le montrer dans « Qu'est-ce que la justesse? ».

CALCUL DES BATTEMENTS OU JEUX D'HARMONIQUES

Les intervalles ne sont pas tous au même degré générateurs de battements d'harmoniques; les octaves, les quintes et les quartes jouées par les instrumentistes d'orchestre s'écartent peu de leur valeur naturelle; il en va de même des octaves, quintes et quartes des gammes théoriques (gamme de Zarlin, gamme de Pythagore) ou des divers tempéraments imaginés pour l'accord des instruments à clavier (système pythagoricien chromatique, gamme mésotonique, tempéraments de transition de Werckmeister,- Kingberger etc., GBT ou TEQJ).

C'est que ces intervalles sont très stables, peu malléables et que toute déformation, allant en particulier dans le sens d'un rétrécissement, les rend rapidement faux. Les octaves font pourtant manifestement exception à cette règle dans l'aigu, que ce soit celles jouées à l'orchestre ou celles que réalisent les bons accordeurs; elles peuvent alors dépasser sensiblement leur valeur naturelle : il s'ensuit alors un frottement assez accusé entre le second harmonique de la note grave de l'octave et sa note aiguë qui semble « corsée » voire stridente, surtout dans les mouvements rapides : cet effet est particulièrement marqué dans les passages joués en double-corde par les violonistes.

Cependant ce sont les intervalles qui s'écartent toujours et dans n'importe quel registre de leur valeur naturelle qui fournissent les principaux jeux d'harmoniques : il s'agit essentiellement des tierces et des sixtes majeures et mineures ainsi que des redoublements de la tierce majeure; ces jeux d'harmoniques font toujours intervenir, pour ce qui est des intervalles majeurs, le 5e harmonique de la note de basse : l'harmonique de tierce, qui joue en particulier un rôle de premier plan dans l'accord des pianos. Comme cet harmonique se trouve à une 17e majeure (tierce deux fois redoublée) de la note de basse, on peut affirmer que les 17e majeures sont les intervalles qui fournissent les battements les plus intenses qu'on puisse entendre sur un instrument à clavier comme le piano : aussi la qualité d'un accord de piano dépend-elle pour une bonne part de l'habileté de l'accordeur à régler les rapidités des 17e majeures et à en assurer l'harmonieuse progression. Après les 17e majeures, ce sont les 10e majeures, puis ensuite les sixtes et les tierces majeures qui présentent les jeux d'harmoniques les plus intéressants; ces dernières sont quelquefois appelées « tierces chantantes » par les bons accordeurs qui veillent à ce que chaque tierce « chante », c'est-à-dire soit animée de cette sorte de « vibrato » dû aux jeux d'harmoniques. Toute tierce qui ne « chante » pas, « chante » trop ou ne chante pas assez (rapidité nulle, insuffisante ou excessive) est alors considérée comme « malade ». Les tierces et sixtes mineures présentent des rapidités voisines des tierces et des sixtes majeures, mais les jeux d'harmoniques qu'elles présentent perdent en intensité; enfin viennent les octaves, quintes et quartes qui ne font entendre que des battements très lents; ces battements sont cependant utiles à l'accordeur pour donner à ces intervalles les valeurs exactes qu'ils doivent présenter dans un tempérament déterminé.

Nous classerons donc les intervalles en fonction de l'intensité décroissante des battements ou jeux d'harmoniques dont ils sont l'objet. Par ailleurs N_2 désignera toujours la fréquence de la note aiguë d'un intervalle et N_1 celle de sa note grave. R correspond à la rapidité des battements.

17^e majeure ou tierce deux fois redoublée

exemple :

Si la 17^e ne bat pas, c'est que N_2 se trouve exactement à la même hauteur que le 5^e harmonique de N_1 (17^e naturelle). On a alors :

$$N_2 = 5\ N_1 \text{ et } R = N_2 - 5\ N_1 = 0$$

Si, au contraire N_2 ne se trouve pas exactement à la hauteur de 5 N_1, il se produit des battements entre la note aiguë de l'intervalle et le 5^e harmonique. Si N_2 est plus élevé que 5 N_1, la 17^e bat par excès et sa rapidité est alors :

$$R = N_2 - 5\ N_1$$

si N_2 est moins élevé que 5 N_1, la 17^e bat par défaut et sa rapidité est alors :

$$R = 5\ N_1 - N_2$$

Pour simplifier, nous considérerons que, dans tous les cas :

$$R = N_2 - 5\ N_1$$

Si le résultat est positif, c'est que l'intervalle bat par excès et si le résultat est négatif, c'est que l'intervalle bat par défaut. Exemple :
– soit N SOL_1 = 100 hz et N SI_3 = 508 hz
dans ce cas :

$$R = 508 \text{ hz} - (5 \times 100 \text{ hz}) = 8$$

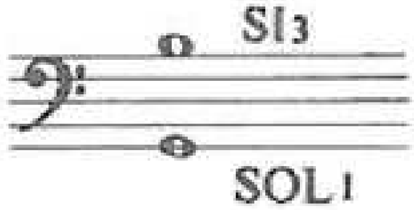
– soit N $SOL_1 = 100$ hz et N $SI_3 = 492$ hz
dans ce second cas :

$$R = 492 \text{ hz} - (5 \times 100 \text{ hz}) = - 8 \text{ hz}$$

On voit que dans ces deux cas, la 17ᵉ battra à 8 hz, mais elle battra par excès dans le premier cas et par défaut dans le second.

10ᵉ majeure ou tierce une fois redoublée

exemple :



Lorsqu'elle est naturelle, elle est égale à une tierce naturelle plus une octave juste :

rapport intervalle de 10ᵉ majeure $= \frac{5}{4} \times 2 = \frac{5}{2}$

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{5}{2}$$

dans ce cas $2\ N_2 = 5\ N_1$ et $R = 2\ N_2 - 5\ N_1 = 0$
S'il y a battements :

$$R = 2\ N_2 - 5\ N_1$$

Selon que le résultat sera positif ou négatif, la 10ᵉ battra par excès ou par défaut

Tierce majeure

La tierce est naturelle et ne bat pas si $\frac{N_2}{N_1} = \frac{5}{4}$
donc $R = 4N_2 - 5N_1$

Sixte majeure

La sixte naturelle vaut $\frac{N_2}{N_1} = \frac{5}{3}$
donc $R = 3N_2 - 5N_1$

Tierce mineure

La tierce mineure naturelle vaut : $\frac{N_2}{N_1} = \frac{6}{5}$

$$R = 5\ N_2 - 6\ N_1$$

Sixte mineure

Si la sixte mineure est naturelle, $\frac{N_2}{N_1} = \frac{8}{5}$

$$R = 5N_2 - 8N_1$$

Octave

$$\frac{N_2}{N_1} = 2 \text{ d'où } R = N_2 - 2N_1$$

Double octave (15^e^)

$$\frac{N_2}{N_1} = 4 \text{ d'où } R = N_2 - 4N_1$$

Quinte

$\frac{N_2}{N_1} = \frac{3}{2}$ d'où $R = 2N_2 - 3N_1$

Quarte

$\frac{N_2}{N_1} = \frac{4}{3}$ d'où $R = 3N_1 - 4N_2$

Application : calcul des battements et jeux d'harmoniques dans la gamme bien tempérée et dans le tempérament égal à quintes justes – comparaison

17^e majeure

La 17^e majeure vaut 2 octaves plus une tierce majeure. Comme chaque octave d'un tempérament égal vaut 12 demi-tons égaux et qu'une tierce vaut 4 de ces demi-tons, une 17^e majeure de la GBTT ou du TEQJ contient :

12 demi-tons + 12 demi-tons + 4 demi-tons = 28 demi-tons égaux

En TEQJ, le rapport de demi-ton correspond à 1,059634... il en résulte que :

rapport de 17^e majeure = $1{,}059634...^{28} = 5{,}0624...$

nous avons donc $\frac{N_2}{N_1} = 5{,}0624...$ donc $N_2 = 5{,}0624...N_1$.

Comme $R = N_2 - 5N_1$, en remplaçant N_2 par sa valeur en fonction de N_1, on trouve :

$$R = 5{,}0624...N_1 - 5N_1$$
$$R = 0{,}0624...N_1$$

Pour connaître la rapidité d'une 17e du TEQJ, il suffit donc de multiplier la fréquence de la note de basse de la 17e par 0,0624

Passons maintenant en GBTT :

$$\text{rapport de 17e majeure} = 1{,}0594631...^{28} = 5{,}0396...$$
$$\text{donc } N_2 = 5{,}0396...N_1$$
$$R = 5{,}0396\ N_1 - 5N_1$$
$$R = 0{,}0396...N_1$$

Nous voyons donc qu'une 17e du TEQJ ou de l'orchestre (qui correspond également en moyenne à la somme de 4 quintes justes) bat nettement plus rapidement qu'une 17e de la GBTT, puisqu'elle présente plus de 50 % de battements à la seconde en plus; très exactement, une 17e du TEQJ ou de l'orchestre est $\frac{0{,}0624}{0{,}0396} = 1{,}6$ fois plus rapide que la 17e correspondante de la GBTT.

Ainsi une 17e telle que SI$_2$ RÉ$\sharp_5$ bat à :

$R = 0{,}0624 \times 246 = 15{,}3$ bat./sec. dans le TEQJ ou l'orchestre

et seulement à $R = 0{,}0396 \times 246 = 9{,}7$ bat./sec. dans la GBTT

Pourtant seulement 2 savarts (1/3 de comma ou 1/25e de ton!) séparent les deux 17es. C'est montrer avec des chiffres et de façon tout à fait spectaculaire à quel point un écart insignifiant sur le plan mélodique peut entraîner une modification considérable dans l'aspect harmonique d'un intervalle.

10e majeure

En tempérament égal, elle vaut une octave plus une tierce majeure.

10e majeure = 12 demi-tons + 4 demi-tons = 16 demi-tons

Dans le TEQJ, le rapport de 10e maj. $= 1{,}059634...^{16}$
$= 2{,}526...$

$$\text{et } \frac{N_2}{N_1} = 2{,}526... \text{ d'où } N_2 = 2{,}526N_1$$

Comme $R = 2N_2 - 5N_1$

$$R = 2 \times 2{,}526 - 5N_1$$
$$R = 0{,}0527...N_1$$

Il serait tout à fait inutile de calculer la rapidité des 10e et des tierces dans la GBTT. La justesse physique des octaves dans ce tempérament fait qu'une tierce, une 10e et une 17e majeures ayant la même note de basse présente exactement la même rapidité; donc : R de la tierce = R de la 10^e^ = R de la 17^e^ = 0,0396...N_1 (nous l'avons, en effet, calculé pour la 17^e^)

Tierce majeure

En tempérament égal, elle contient 4 demi-tons égaux; dans le TEQJ nous avons donc :

$$\text{rapport de tierce majeure} = 1{,}059634^4 = 1{,}2607\ldots$$

$$N_2 = 1{,}2607\ldots N_1$$

$$\text{Comme } R = 4\ N_2 - 5\ N_1$$

$$R = 4 \times 1{,}2607\ N_1 - 5\ N_1$$

$$R = 0{,}0429\ldots N_1$$

Ce qui, comparé à 0,0396...N_1, rapidité d'une tierce de la GBTT, montre qui, si les 17^e^ et les 10^e^ majeures du TEQJ sont nettement plus rapides que celles de la GBTT, il n'en va pas de même des tierces qui présentent des rapidités pratiquement équivalentes. Ainsi une tierce comme FA_2 LA_2 présente :

$R = 0{,}0429\ldots \times 174 = 7{,}47$ bat./sec. en TEQJ
et $R = 0{,}0396\ldots \times 174 = 6{,}9$ bat./sec. en GBT

soit 1/2 battement de différence, la rapidité d'une tierce du TEQJ n'étant que $\frac{0{,}0429}{0{,}0396} = 1{,}08$ fois plus grande que celle de la tierce correspondante de la GBTT.

Sixte majeure

Elle comprend 9 demi-tons égaux; en TEQJ :

$$\text{rapport de sixte majeure} = 1{,}059634\ldots^9 = 1{,}6842\ldots \text{ donc } N_2 = 1{,}6842\ldots N_1$$

$$\text{Or } R = 3N_2 - 5\ N_1$$

$$R = 3 \times 1{,}6842\ldots\ N_1 - 5\ N_1$$

$$R = 0{,}0527\ldots N_1$$

En GBTT :

$$\text{rapport de sixte majeure} = 1{,}0594631\ldots^9 = 1{,}6817\ldots$$

$$R = 3 \times 1{,}6817\ldots N_1 - 5\ N_1$$

$$R = 0{,}0453\ldots N_1$$

Une sixte majeure du TEQJ est donc un peu plus rapide que la sixte correspondante de la GBTT, le rapport des rapidités n'étant que de $\frac{0{,}0527}{0{,}0453} = 1{,}16$

Tierce mineure

Elle contient 3 demi-tons égaux; en TEQJ :

rapport de tierce mineure = $1{,}059634^3$
= $1{,}1897...$

$R = 5\ N_2 - 6\ N_1 \qquad N_2 = 1{,}1897...N_1$

$R = 5 \times 1{,}1897...N_1 - 5\ N_1$

$R = -\ 0{,}0510...N_1$

L'intervalle bat donc par défaut

en GBTT :

rapport de tierce mineure = $1{,}0594631..^3$
= $1{,}1892...$

$R = 5 \times 1{,}1892...N_1 - 5\ N_1$

$R = -\ 0{,}0539...N_1$

Là encore, les rapidités sont pratiquement équivalentes.

Sixte mineure

Elle contient 8 demi-tons égaux; en TEQJ :

rapport de sixte mineure = $1{,}059634...^8$
= $1{,}5894...$

$N_2 = 1{,}5894\ N_1$

$R\ = 5\ N_2 - 8\ N_1$

$R\ = 5 \times 1{,}5894...N_1 - 8\ N_1$

$R\ = -\ 0{,}0527...N_1$

On voit que en TEQJ, la sixte mineure présente exactement la même rapidité que la sixte majeure ayant la même note grave.
en GBTT :

rapport de sixte mineure = $1{,}0594631...^8$
= $1{,}5874...$

$R = 5 \times 1{,}5874...N_1 - 8\ N_1$

$R = -\ 0{,}0630...N_1$

Une sixte mineure de la GBTT est donc un peu plus rapide que la sixte correspondante du TEQJ, le rapport des rapidités étant ici de 1,2. Par ailleurs, contrairement à ce qu'on peut observer dans le TEQJ, une sixte mineure de la GBTT est loin de présenter la même rapidité que la sixte majeure ayant la même note de basse (0,0630 N_1 pour la sixte mineure contre 0,0453 N_1 pour la sixte majeure).

Octave

Elle comprend 12 demi-tons égaux; dans le TEQJ :

rapport d'octave = $1{,}059634...^{12}$
= $2{,}00387...$

$N_2 = 2{,}00387...\ N_1$

$R = N_2 - 2\ N_1$

$R = 2{,}00387...N_1 - N_1$
$R = 0{,}00387...N_1$

exemple : $R\ FA_2\ FA_3 = 0{,}00387 \times 174 = 0{,}67$
$R\ DO_3\ DO_4 = 0{,}00367 \times 261 = 1$ (très caractéristique et facile à retenir!)

En GBTT, les octaves ne battent pas.

Double octave ou 15eme

Elle comprend 24 demi-tons égaux. En TEQJ :

rapport de $15^e = 1{,}059634...^{24}$
$= 4{,}01551...$
$N_2 = 4{,}01551...N_1$
$R = N_2 - 4\ N_1$
$R = 4{,}01551...N_1 - 4\ N_1$
$R = 0{,}01551...N_1$

exemple : $R\ FA_2\ FA_4 = 0{,}01551 \times 174 = 2{,}6$
$R\ DO_3\ DO_5 = 0{,}1551 \times 261 = 4$ (très caractéristique et facile à retenir!)

En GBTT, les doubles octaves ne battent pas.

Quinte

Elle comprend 7 demi-tons égaux; en TEQJ, les quintes ne battent pas. En GBTT :

rapport de quinte $= 1{,}0594631...^7$
$= 1{,}4983...$
$N_2 = 1{,}4983...N_1$
$R = 2\ N_2 - 3\ N_1$
$R = 2 \times 1{,}4983...N_1 - 3\ N_1$
$R = -0{,}00338\ N_1$

Une quinte « tempérée » bat donc par défaut

exemple : $R\ FA_2\ DO_3 = -0{,}00338 \times 174 = -0{,}59$
$R\ DO_3\ SOL_3 = -0{,}00338 \times 261 = -0{,}88$

Quarte

Elle comprend 5 demi-tons égaux; dans le TEQJ :

rapport de quarte $= 1{,}059634...^5$
$= 1{,}3359...$
$N_2 = 1{,}3359...N_1$
$R = 3N_2 - 4\ N_1$
$R = 3 \times 1{,}3359...N_1 - 4\ N_1$
$R = 0{,}00775...N_1$

En GBTT :

$$\text{rapport de quarte} = 1{,}0594631\ldots^{5}$$
$$= 1{,}3348\ldots$$
$$R = 3 \times 1{,}3348\ldots N_1 - 4\ N_1$$
$$= 0{,}00452\ldots N_1$$

exemples, en TEQJ :

$R\ FA_2\ SI\flat_2 = 0{,}00775 \times 174 = 1{,}3$

$R\ DO_3\ FA_3 = 0{,}00775 \times 261 = 2$ (le double de la rapidité de l'octave ayant la même note grave)

En GBTT :

$R\ FA_2\ SI\flat_2 = 0{,}00452 \times 174 = 0{,}78$

$R\ DO_3\ FA_3 = 0{,}00452 \times 261 = 1{,}17$

Les battements de quarte sont donc plus rapides dans le TEQJ mais restent cependant difficiles à percevoir en dessous de $LA_2RÉ_3$ (1,5)

Isochronisme de certains intervalles dans le TEQJ

(voir également p. 74)

La justesse des quintes entraîne dans le TEQJ, l'isochronisme (égalité de rapidité) des sixtes majeures, des 10^e majeures et des sixtes mineures ayant la même note grave : dans les trois cas, on a, en effet $R = 0{,}0527\ldots N_1$

Mais si, en ce qui concerne une sixte et une 10^e majeures, cet isochronisme est la conséquence directe de la justesse des quintes, il n'en va pas de même en ce qui concerne une sixte majeure et une sixte mineure où l'isochronisme tient à la fois à la justesse des quintes et à l'égalité du tempérament : cet isochronisme n'est d'ailleurs pas rigoureux sur le plan mathématique; en poussant les décimales davantage après la virgule, on trouverait des résultats différents :

$0{,}0527083\ldots N_1$ pour la rapidité de la sixte majeure
et $0{,}0527460\ldots N_1$ pour celle de la sixte mineure

Il n'en reste pas moins que, pour l'oreille, ces deux rapidités sont strictement égales! ce n'est d'ailleurs pas en nous livrant à des calculs que nous nous sommes rendu compte de cet isochronisme, mais c'est celui-ci qui a d'abord frappé notre oreille et les calculs l'ont ensuite confirmé.

On peut remarquer que, pour l'oreille également, la tierce mineure, ayant la même note de basse que les trois autres intervalles isochrones cités ci-dessus, présente, pratiquement elle aussi, la même rapidité : 0,0510 N_1 pour la tierce mineure contre 0,0527 pour les trois autres intervalles.

Enfin dans un accord parfait mineur comme, par exemple, FA$_2$ LA♭$_2$DO$_3$, la note formant tierce mineure, ici LA♭$_2$, partage la quinte FA$_2$ DO$_3$ en deux intervalles isochrones : la tierce mineure FA$_2$ LA♭$_2$ présente, en effet, la même rapidité que la tierce majeure LA♭$_2$ DO$_3$. Cette isochronie est ici une conséquence directe de la justesse de la quinte FA$_2$ DO$_3$: dans le cas de la tierce mineure FA$_2$ LA♭$_2$, les battements sont dus au 5e harmonique du LA♭$_2$ qui bat avec le 6e du FA$_2$; dans le cas de la tierce majeure LA♭$_2$ DO$_3$, les battements sont dus encore au 5e harmonique du LA♭$_2$ qui bat, cette fois, avec le 4e du DO$_3$. Or, la quinte étant juste, le 6e harmonique de FA$_2$ se trouve exactement à la même hauteur que le 4e de DO$_3$ et, dans les deux cas, la différence des fréquences entre harmoniques est donc exactement la même.

Cette isochronie des intervalles que forme un LA♭ avec les 2 notes de la quinte FA$_2$ DO$_3$ se produirait également pour les mêmes raisons, si on prenait un autre LA♭ : LA♭$_1$ ou LA♭$_2$, par exemple.

Ces isochronies sont loin de se produire dans la GBTT. Voici quels seraient dans les deux tempéraments les rapidités d'intervalles qui sont pratiquement isochrones dans le TEQJ :

	TEQJ	GBTT
R FA$_2$ RÉ♭$_2$	9,2	11
R FA$_2$ RÉ$_2$	9,2	8
R FA$_2$ LA$_3$	9,2	7
R FA$_2$ LA♭$_2$	8,9	9,4
R LA♭$_2$ DO$_3$	8,9	8,2

INTERVALLES NATURELS ET FUSION PARTIELLE
THÉORIE D'HELMHOLTZ – CONSONANCE

On sait qu'un intervalle naturel se caractérise par une absence totale de battements due à ce qu'un des premiers harmoniques d'une des deux notes de l'intervalle coïncide exactement avec un des premiers harmoniques de l'autre note; de cette coïncidence naît alors l'impression plus ou moins parfaite de fusion que donne un tel intervalle; si on modifie un peu le rapport de fréquence de l'intervalle en l'agrandissant ou en le raccourcissant, les deux harmoniques ne coïncident plus et donnent naissance à des battements.

Le phénomène est en réalité un peu plus compliqué : ainsi lorsqu'un intervalle est naturel, ce n'est pas seulement deux harmoniques, chacun appartenant à l'un des deux sons de l'intervalle, qui coïncident, mais toute une série; dès qu'un intervalle s'écarte de sa valeur naturelle, tous les harmoniques qui coïncidaient se décalent alors en même temps et donnent naissance à des battements. Mais comme ces harmoniques se situent généralement au-delà du 8ᵉ rang, ces battements sont peu intenses et généralement masqués par ceux des harmoniques de rang inférieur; ils le sont d'autant plus que les rapidités qu'ils présentent sont des multiples de la rapidité du battement principal et s'y inscrivent donc. Cependant les coïncidences d'harmoniques éloignés contribuent, elle aussi, à l'impression plus ou moins grande de fusion que peut donner un intervalle naturel, comme l'a montré Helmholtz, un grand physicien allemand de la fin du XIXᵉ siècle. Ce défenseur convaincu de la justesse « naturelle » a développé, à partir de ces phénomènes de fusion, une théorie grâce à laquelle il croyait pouvoir expliquer la justesse musicale et la consonance. Si cette théorie conserve toujours des partisans (surtout chez les physiciens), elle est cependant très discutée. En voulant expliquer, par la seule physique, des phénomènes d'ordre esthétique ou culturel, Helmholtz s'est sans doute fourvoyé : certes les harmoniques et les phénomènes de fusion auxquels ils donnent lieu jouent certainement un rôle dans l'expression musicale; ils sont peut-être même effectivement à l'origine des notions de justesse et de consonance. Mais la pratique musicale a fortement modifié ces données premières quand elle n'est pas allée jusqu'à les contredire : l'explication physique est alors impuissante et c'est alors la physiologie de l'audition, la sociologie ou l'esthétique qu'il faut interroger. Il n'en reste pas moins qu'il est intéressant de savoir quels intervalles produisent cette impression de fusion, quelle en est la cause et quel rôle elle joue exactement dans la musique.

Helmholtz a montré que la fusion entre deux sons était d'autant plus parfaite que les deux sons avaient davantage d'harmoniques communs. Ainsi pour l'octave juste correspondant au rapport 2/1, tous les harmoniques de la note aiguë coïncident avec un harmonique de la note grave puisque tout multiple de la note aiguë est aussi un multiple de la note grave; le son grave « contient » donc complètement le son aigu et en principe la fusion doit être totale.

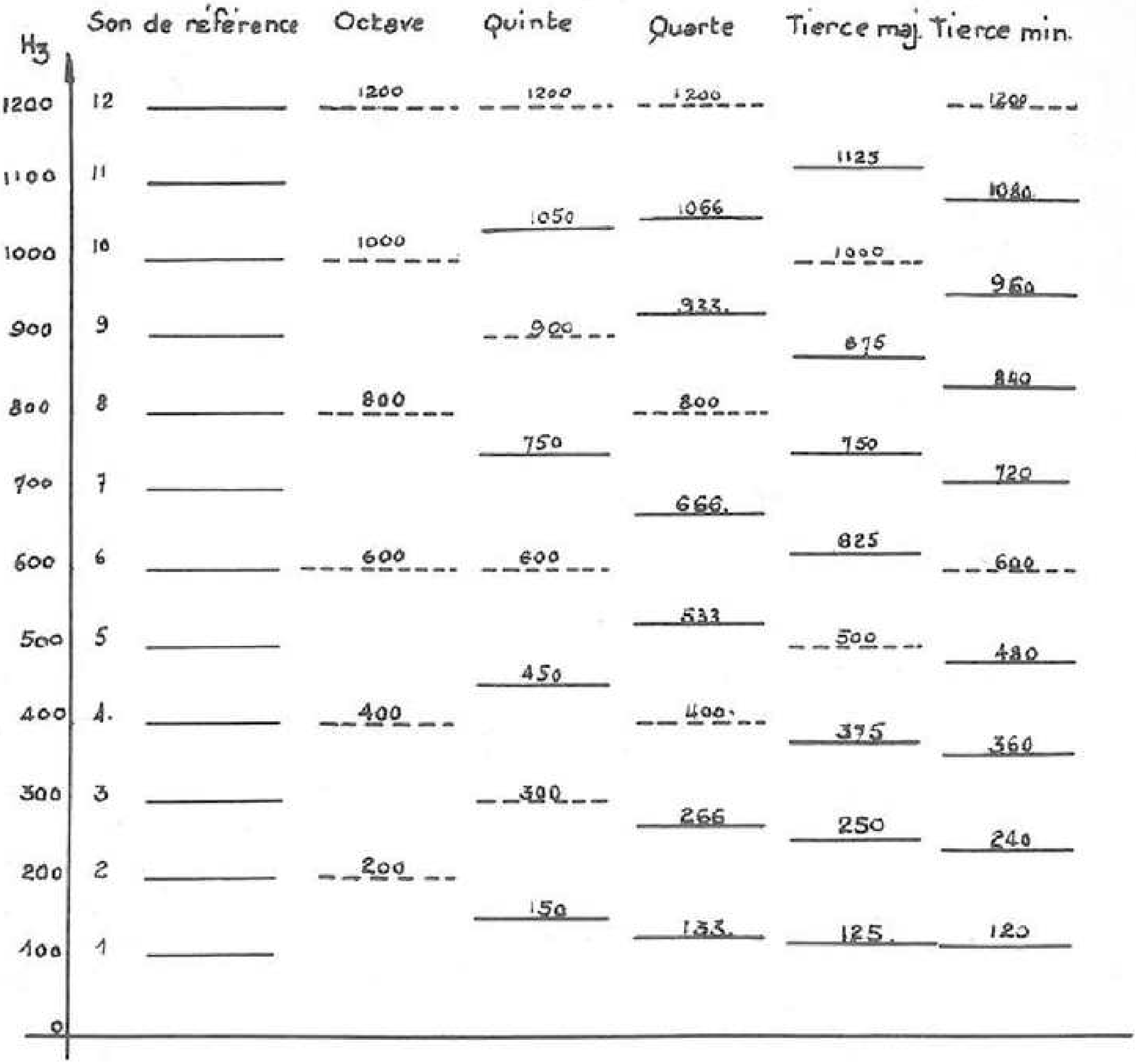
Pour la quinte juste (3/2), seul un harmonique sur deux de la note aiguë coïncide avec un harmonique de la note grave; pour la quarte (4/3), ce n'est plus qu'un sur trois; pour la tierce majeure, ce serait seulement un sur quatre et pour la tierce mineure un sur cinq, etc.[1]. Voir tableau ci-dessous :

---

[1] L'intervalle de quinte juste est, en effet, formé de deux notes dont les fréquences sont entre elles comme 2N et 3N, N étant le plus grand commun diviseur; un harmonique est donc commun à ces deux fréquences s'il est à la fois multiple de 2N et de 3N; comme le plus petit commun multiple est 6N, il suffit donc pour qu'un harmonique soit commun qu'il soit également multiple de 6N. Les harmoniques communs seront donc : 6N, 12N, 18N, etc. Ils correspondront bien aux harmoniques de rang 2, 4, 6... de la note aiguë de fréquence 3N.

Pour la quarte les fréquences sont entre elles comme 4N′ et 3N′; les harmoniques communs seront donc des multiples de 12N′ : ils correspondront donc aux harmoniques de rang 3, 6, 9, etc., de la note aiguë de la quarte de fréquence 4N′, etc.

(En hachuré les harmoniques qui coïncident avec ceux du son de référence.)



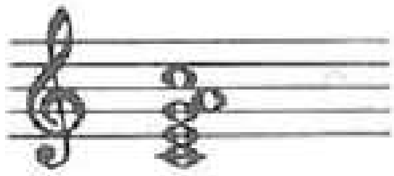
L'expérience confirme bien cette analyse puisqu'on a pu établir que lorsque deux sons en rapport d'octave sont émis simultanément, trois personnes sur quatre ne perçoivent qu'un seul son; mais il n'y en a plus qu'une sur deux pour la quinte juste et seulement une sur quatre pour la quarte (expérience de Stumpf, citée par Van Esbroeck et Monfort dans *Qu'est-ce que jouer juste*).

Cependant cette impression de fusion est distincte de celle de consonance. Il est évident que l'oreille moderne trouve par exemple les tierces et les sixtes plus consonantes que les quartes ou les quintes comme le confirment bien des statistiques, *même lorsque ces tierces et ces sixtes ne sont pas naturelles mais donnent naissance à des battements.* Ce ne devait pas être du tout le cas pour les oreilles médiévales à l'époque où la polyphonie naissante reposait sur des consonances de quinte à vide!

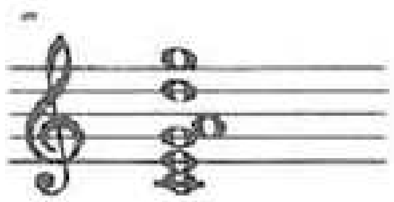
La musique a même fait passer au rang de consonance des intervalles de seconde et de septième (non fusionnels) considérés, il y a encore un siècle, comme des dissonances à éviter ou à préparer. J. Chailley et H. Challan écrivent dans leur *Théorie musicale* :

« Par analogie avec les consonances naturelles se sont formées au cours des siècles des consonances artificielles basées sur leur modèle et peu à peu imposées par l'accoutumance... leur justification n'est plus du domaine de la physique, mais de celui de l'histoire de la musique » et ils ajoutent un peu plus loin :

« Le langage moderne emploie comme consonances artificielles des accords parfaits amplifiés tels que les accords de 5te et 6te



ou des accords comportant des 2des ou des 6tes ajoutées :



qui s'expliquent par l'évolution du langage dans l'emploi des notes étrangères. Ces accords ne sont pas encore étudiés au stade du solfège courant. »

Revenons pour terminer à l'octave : dans la mesure où cet intervalle donne souvent l'impression d'un seul son, il paraît difficile de le considérer comme une consonance, si du moins on s'en tient au sens étymologique de ce terme : mélange de deux sons. Cette fusion presque totale que présente parfois un intervalle d'octave tient ainsi que nous l'avons expliqué, à ce que tous les sons de la note aiguë (le son fondamental comme les sons harmoniques) existent déjà dans la note grave : ainsi une note aiguë jouée à l'octave supérieure d'une note plus grave risque-t-elle d'être masquée totalement ou en partie par cette dernière, surtout si elle est elle-même peu intense et pauvre en harmoniques. C'est sans doute la raison pour laquelle les octaves jouées rigoureusement justes sont souvent jugées plates par les musiciens, comme l'écrit G. Roederer dans *Introduction to Physics and Psychophysics* (Ed. Springer, Heidelberg, 1974). Ce qui expliquerait la tendance à les agrandir (agrandissement qui, rappelons-le, s'accroît en allant vers l'aigu). Comme tous les harmoniques coïncidant du son aigu se démarquent alors de ceux du son grave, il suffit d'un léger écart pour que la note aiguë se détache de la note grave et recouvre son indépendance sans qu'on augmente pour autant son intensité : l'octave redevient alors une consonance. C'est peut-être également une des raisons du succès de l'accord au TEQJ dans la mesure où le léger agrandissement de toutes les octaves contribue à faire « sonner » le piano. Voilà donc un exemple singulier où la fusion risquant d'entraîner une confusion, une légère dissonance ramène la consonance.

ILLUSIONS D'ACOUSTIQUE : LES VARIATIONS APPARENTES DE LA HAUTEUR DES SONS ET LA JUSTESSE

Des recherches assez récentes effectuées par des psycho-physiologues disposant de matériel électro-acoustique perfectionné ont montré que la perception de la hauteur, loin d'être uniquement liée à la fréquence, variait également en fonction de l'intensité, de la durée, du timbre et de la position du son dans l'aire audible (registre); on trouvera en détail le résultat de leurs travaux dans *Acoustique et Musique* d'E. Leipp au chapitre X.

D'après ces recherches, un son aigu, par exemple, paraît d'autant plus aigu qu'il est plus fort, alors qu'un son grave renforcé semble encore plus grave; un son bref paraît plus bas qu'un son tenu; un son riche en harmoniques aigus paraît plus haut qu'un son de même fréquence où les harmoniques de rang inférieur dominent; enfin au fur et à mesure qu'on se dirige vers l'aigu, les notes paraissent plus graves que ne le laisseraient supposer leurs fréquences : c'est ainsi que vers 4.000 hz environ, à la hauteur de la dernière octave du piano, une octave juste correspondant au rapport 2/1 sonne à peu près comme une 7ᵉ et, d'après l'échelle de Mels, il faudrait atteindre au moins un rapport de 10ᵉ pour avoir l'impression d'une octave.

Devant l'imprécision et la variabilité de cette perception de la hauteur, on est bien tenté de conclure que la définition d'intervalles ou d'échelles s'appuyant sur des rapports de fréquences est assez vaine : est-il alors possible de définir comme on l'a fait jusqu'ici des systèmes quelconques de justesse? est-il en particulier réaliste de prôner un tempérament quelconque pour l'accord des instruments à clavier puisqu'un système d'accord qui sonne juste sur un piano risque de paraître faux sur un autre présentant un timbre différent? Par ailleurs, si la justesse d'un piano paraît satisfaisante dans un adagio ou dans la nuance « piano », ne va-t-elle pas s'altérer si le mouvement ou l'intensité se modifie et le piano paraître faux dans un mouvement rapide ou « fortissimo »? enfin la musique d'ensemble pourra-t-elle être, dans ces conditions, autre chose qu'une vaste cacophonie à moins que notre perception de la hauteur soit si floue qu'on puisse impunément s'écarter très sensiblement des normes moyennes?

Pourtant il semble bien y avoir une appréciation commune de la justesse, du moins des perceptions si voisines qu'aucun musicien ne conteste jamais, à notre connaissance, la justesse des meilleurs ensembles instrumentaux ou vocaux et que l'unanimité se fait également sur le caractère approximatif de la justesse de certaines autres exécutions. Pour ce qui est du piano, on ne constate guère non plus de distorsions sensibles des hauteurs dues à des variations dans l'intensité ou la rapidité de l'exécution. Si les phénomènes de distorsion enregistrés par ces acousticiens existent bien, ils paraissent se limiter à des cas particuliers et avoir une ampleur si limitée qu'ils passent inaperçus dans la majorité des cas. Il semble donc y avoir une contradiction entre les résultats de leurs travaux et l'expérience que nous pouvons avoir de la justesse que ce soit celle d'un piano ou celle d'exécutions instrumentales ou vocales.

En fait, la contradiction n'est qu'apparente : elle tient à ce que ces acousticiens ne parlent pas de la même chose que les musiciens. Les expériences qu'ils ont faites en laboratoire portent pour la plupart sur des sons isolés de tout contexte musical; de plus, il s'agit le plus souvent de sons artificiels produits par des générateurs électroniques, c'est-à-dire de sons simples dénués d'harmoniques (appelés en acoustique, sons sinusoïdaux) très différents des sons complexes utilisés en musique; or l'appréciation de la hauteur de tels sons n'intéresse guère le musicien et plus précisément le musicien occidental. Ce qui l'intéresse, c'est essentiellement l'appréciation de rapports de hauteur entre sons complexes : savoir avec quelle précision l'oreille d'un musicien peut apprécier des rapports de hauteur entre les sons, voici en fait comment se pose le problème de l'appréciation de la hauteur dans notre musique. Or cette précision est très grande!

D'une part, en effet, notre musique utilise le plus souvent des sons complexes où la multiplication des sons harmoniques couvre une grande partie de l'aire audible; or, nous savons que plus un son possède d'harmoniques ou de partiels harmoniques (cas du piano), plus sa hauteur est définie avec précision.

D'autre part, notre musique soumet tous les sons à une sorte de quadrillage à deux dimensions : l'une mélodique (horizontale) et l'autre harmonique (verticale) si bien que la position d'un son dans l'aire audible se trouve doublement définie par la position qu'il occupe par rapport aux autres sons entendus horizontalement (justesse mélodique) et verticalement (justesse harmonique). Rien n'est donc plus favorable à une perception précise des rapports de hauteurs et plus éloigné de l'appréciation de sons simples et isolés de tout contexte que la conception occidentale mélodico-harmonique de la musique. La musique mélodique non accompagnée l'est déjà beaucoup moins, pour des musiciens occidentaux du moins, car il leur manque alors la référence harmonique : c'est bien pour cette raison qu'il nous est pratiquement impossible de juger de la qualité de l'accord d'un piano si on se contente de jouer sur ce piano des gammes, des arpèges ou des mélodies non accompagnées; C'est également la raison pour laquelle il est impossible d'accorder un piano ou tout autre instrument en n'établissant entre les notes que des rapports mélodiques.

On voit qu'en étudiant des sons isolés et en voulant étendre leurs conclusions à la musique, ces acousticiens ont le tort de la considérer à l'instar d'Helmholtz, comme un phénomène physique ou physiologique. Peu importe finalement que la perception de la hauteur soit floue si ce n'est pas sur cette donnée brute physico-physiologique que se porte l'appréciation du musicien mais sur celle de certains rapports de hauteur propres à un langage particulier : bien des musiciens sont ainsi incapables de reconnaître ou d'émettre avec précision un son isolé comme le LA$_3$ par exemple; mais dès qu'on leur fournit un repère, ce LA$_3$ du diapason, par exemple, ou n'importe quelle autre note, ils désignent immédiatement et sans hésitation la note entendue car ils ont alors perçu et reconnu un rapport d'intervalle familier, opération à laquelle leur éducation les a préparés. Cependant si un musicien reconnaît toujours immédiatement une tierce majeure, d'une tierce mineure ou d'une quarte, il n'est pas pour autant toujours capable de distinguer deux tierces majeures jouées mélodiquement dont l'une ne différerait de l'autre que par un seul comma (1/9^e de ton) comme par exemple une tierce naturelle d'une tierce pythagoricienne. Mais qu'on plaque alors successivement les deux intervalles et la précision de l'appréciation du rapport d'intervalle va être décuplée puisqu'une tierce comme DO$_3$ MI$_3$ sera dépourvue de battements si elle est naturelle et battra 16 fois à la seconde si elle est pythagoricienne; l'impression qui en résultera sera totalement différente. C'est cette même précision harmonique qui préside à l'accord des instruments à corde par quintes justes : dès que la quinte s'écarte de sa justesse, l'impression de fusion disparaît car les harmoniques ne coïncident plus, même s'il ne se produit pas encore des battements nettement audibles.

En définitive, contrairement à ce que pourrait laisser penser les conclusions de certains acousticiens, nous pensons que la perception des hauteurs envisagée en musique sous l'angle d'une appréciation des rapports d'intervalle est d'une très grande précision. De toutes les perceptions d'ordre musical, c'est certainement celle qui se prête aux nuances les plus subtiles. Rien d'étonnant dans ces conditions à ce que, comme le déclare E. Leipp « ,la musique soit avant tout un jeu de hauteur entre notes voisines » et que « la véritable qualité du musicien soit de reconnaître les intervalles relatifs ».

Cependant les recherches des acousticiens sur la hauteur présentent un intérêt dans la mesure où elles permettent de mieux comprendre certains problèmes particuliers : ceux posés par l'utilisation en musique de sons pauvres en harmoniques, ceux qui concernent la justesse de sons entendus dans des tessitures inhabituelles (extrême grave ou extrême aigu) ou ceux encore que pose la justesse en musique mélodique non accompagnée (monodie) puisque ces expériences portaient essentiellement sur des sons appréciés hors de tout contexte harmonique. Examinons donc ces cas particuliers.

Variations apparentes de la hauteur de sons simples (sinusoïdaux) avec la tessiture

L'étude de la perception de la hauteur des sons simples (dépourvus d'harmoniques) en fonction de leurs fréquences montrent que de tels sons paraissent toujours nettement plus bas que ne le laisseraient supposer leurs fréquences et que cette perte subjective de hauteur est d'autant plus marquée que les sons se situent davantage vers l'aigu. (Échelle de Mels). Les rapports de fréquence qui caractérisent un intervalle doivent alors être forcés pour que cet intervalle sonne juste.

Or ce cas est précisément celui des sons les plus aigus du piano dont le timbre est de moins en moins riche en harmoniques au fur et à mesure qu'on se dirige vers l'aigu : il en résulte un manque de plus en plus marqué de précision dans l'appréciation des hauteurs, même en musique harmonique. Les battements d'harmoniques qui, ainsi que nous l'avons vu, donnent une précision singulière à l'appréciation des rapports harmoniques deviennent peu à peu imperceptibles excepté en ce qui concerne les octaves plaquées : le repérage « vertical » manque pour ainsi dire complètement. C'est pourquoi les relevés de fréquences établis à partir d'accordages réalisés sur divers pianos (diagrammes d'accord) révèlent au niveau de la dernière octave une incertitude de l'oreille qui se traduit par une très grande dispersion des résultats, dispersion d'autant plus grande qu'on se dirige vers l'aigu. En comparant divers relevés, on peut constater qu'il existe pour une même note des écarts de fréquences très sensibles; on peut également remarquer sur chaque diagramme que la courbe des fréquences qui monte régulièrement du médium à l'aigu, prend dans l'extrême aigu l'aspect d'une ligne brisée : ce qui montre bien que dans ce registre, il existe des écarts très irréguliers entre les fréquences des notes successives. L'absence d'harmoniques aigus fait en effet paraître les octaves de plus en plus courtes et pousse l'accordeur à les agrandir toujours davantage. Mais il faut se garder de céder complètement à cette tentation car l'octave plaquée (harmonique) risque de paraître alors excessivement forcée; certes l'octave plaquée demande elle aussi un agrandissement de plus en plus marqué vers l'aigu; mais celui-ci reste malgré tout inférieur à ce que demande l'oreille sur le plan mélodique : aussi la justesse doit-elle faire l'objet, dans la dernière octave du piano, d'un compromis entre ces deux exigences : il convient, semble-t-il, de pousser l'octave mélodique aussi loin que le permet l'octave harmonique tout en veillant à l'égalisation ou, plus exactement, à l'agrandissement très progressif des demi-tons successifs.

La flûte traversière émet également, mais cette fois sur toute son étendue, des sons pauvres en harmoniques; d'où ce caractère très transparent qui fait d'ailleurs son charme. Aussi se permet-elle, d'après Winckel, des écarts considérables allant jusqu'à forcer les fréquences de 4 % vers l'aigu (environ 1/4 de ton); c'est sa façon de se faire entendre et d'éviter d'être phagocitée par les harmoniques des instruments graves de l'orchestre dont elle n'apparaîtrait plus que comme une fourniture! elle « passe » alors sans difficulté et sans forcer son intensité qui en paraît pourtant accrue (voir ci-dessous).

Variations de la hauteur avec l'intensité

Stevens qui fit de nombreuses expériences en utilisant un générateur de sons simples a pu établir que la perception de la hauteur de ces sons variait considérablement avec l'intensité : quand on augmente celle-ci, les sons aigus paraissent monter et les sons graves descendre. Seuls les sons dont la fréquence est comprise entre 1.000 hz et 3.000 hz sont stables. Il semble très difficile d'évaluer l'ampleur de ces déviations qui varieraient d'un individu à l'autre. Quoi qu'il en soit les sons musicaux courants ne paraissent guère affectés par ces variations d'intensité. Signalons toutefois que les jeux d'harmoniques et les battements sont dus, en principe, à des variations périodiques de l'intensité; pourtant, à l'audition, il nous est très difficile de savoir si nous avons affaire à des fluctuations de hauteur ou d'intensité; inversement le vibrato des cordes, dû à des oscillations de hauteur, nous donne également l'impression d'une fluctuation de l'intensité. Dans les cas des sons complexes, il semble donc que des variations rapides et continues de la hauteur ou de l'intensité entraînent une sorte de confusion entre ces deux perceptions.

Il faut signaler ici un phénomène maintes fois constaté : lorsque l'intensité devient excessive, les sons complexes deviennent souvent discordants voire désagréables, ce qui pourrait bien être la conséquence des déviations en sens contraire des sons simples, harmoniques ou partiels, qui les constituent : les aigus montent, les graves baissent, ce qui explique que la hauteur moyenne qui est perçue reste stable mais que la discordance due à l'inharmonicité s'accroisse alors. La réciproque est d'ailleurs vraie : lorsque les trois cordes d'une même note d'un piano ne sont pas exactement à l'unisson, le son paraît plus fort : une discordance (absence de fusion) entraîne donc une modification apparente de l'intensité; c'est bien la raison pour laquelle on ne peut pas entreprendre sur un piano mal accordé un travail d'égalisation des intensités et du timbre de chaque note par piquage des feutres.

Variations de la hauteur ou de l'intensité avec le timbre

Nous avons déjà un peu abordé cette question pour les sons simples et dépourvus d'harmoniques en examinant comment variait pour ces sons la perception de leur hauteur en fonction de leur tessiture.

Les sons complexes, lorsqu'ils sont isolés de tout contexte musical, paraissent d'autant plus aigus qu'ils sont plus riches en harmoniques aigus : ainsi un LA_3 de 440 hz risque de paraître plus aigu au violon qu'à la flûte.

En musique harmonique où, comme nous l'avons dit, la perception des rapports de hauteur est extrêmement précise, les sons les plus riches en harmoniques ne paraissent pas plus hauts mais plus forts : nous retrouvons là cette espèce d'ambiguïté entre l'intensité et la hauteur. C'est bien pour empêcher des accentuations intempestives qu'on égalise les pianos en piquant les feutres des marteaux après avoir repéré les notes qui « gueulent ». Par cette pratique, on affaiblit l'intensité des harmoniques aigus afin d'obtenir d'une note à l'autre des spectres harmoniques voisins quant à l'intensité des harmoniques respectifs. Toutes les opérations auxquelles se livre un accordeur compétent : accord fin avec réglage bien progressif de la rapidité des battements d'harmoniques, perfection des unissons, égalisation des feutres appelée quelquefois harmonisation, visent à éliminer tous les facteurs qui pourraient altérer intempestivement la hauteur ou l'intensité des sons et trahir ainsi les intentions du pianiste.

Variation de la hauteur avec la durée ou la vitesse d'exécution

Il est certain qu'il faut un minimum de temps pour apprécier avec précision la hauteur des sons; il est nécessaire pour cela que le son ait atteint son régime stationnaire et se soit stabilisé; or ce n'est pas le cas immédiatement après l'attaque où aucune hauteur précise ne peut être perçue. Selon Winckel, l'état stationnaire pendant lequel le son présente une fréquence stable et une hauteur bien définie est atteint en moyenne après une période allant de $1/10^e$ à $1/7^e$ de seconde : cette durée caractérise ce qu'on appelle le régime transitoire d'attaque. Par ailleurs, l'oreille ne distingue pas deux sons séparés par moins de $1/20^e$ de seconde. Il résulte de tout cela que plus un son est bref, moins on perçoit sa hauteur avec précision. Or, dans les mouvements rapides, la fréquence de 10 notes à la seconde peut être atteinte : on peut donc en déduire que l'exigence de justesse est d'autant plus forte que le mouvement est modéré. C'est d'ailleurs là un fait réconfortant pour les instrumentistes car il est d'autant plus difficile de maintenir une justesse parfaite que l'on joue vite... mais il est parfaitement inutile de jouer ou de chanter très juste dans les mouvements très rapides puisque l'oreille du musicien comme celle de l'auditeur devient moins exigeante. C'est également vrai des exécutions pianistiques : le caractère médiocre de l'accord d'un piano peut échapper dans un mouvement rapide; mais un mouvement lent présentant des accords longuement tenus trahira inévitablement les défaillances de l'accordeur car alors apparaissent en pleine lumière, les jeux d'harmoniques et si ceux-ci sont mal réglés, il en résulte des inégalités de sonorité qui accusent la distorsion de certains rapports d'intervalle.

Ces licences permises par un mouvement rapide ont d'ailleurs leur limite : lorsque nous entendons un trait rapide, notre attention se porte d'abord sur la première et sur la dernière note de ce trait, puis ensuite sur les notes tombant sur les temps ou les parties fortes des temps et enfin sur les autres : il conviendra donc de veiller soigneusement aux départs et aux chutes lors des passages très rapides! ce phénomène est d'ailleurs à rapprocher d'un autre qui concerne, cette fois, la perception harmonique des hauteurs : notre attention se porte d'abord sur les deux extrémités d'une agrégation : le soprano et la basse aux évolutions desquelles, notre oreille s'intéresse particulièrement...

APPENDICE

I GAMME DE PYTHAGORE

II GAMME DE ZARLIN

III LES MULTIPLES SOLUTIONS
AU PROBLÈME DU TEMPÉRAMENT ÉGAL

IV PROTECTION DU TEQJ

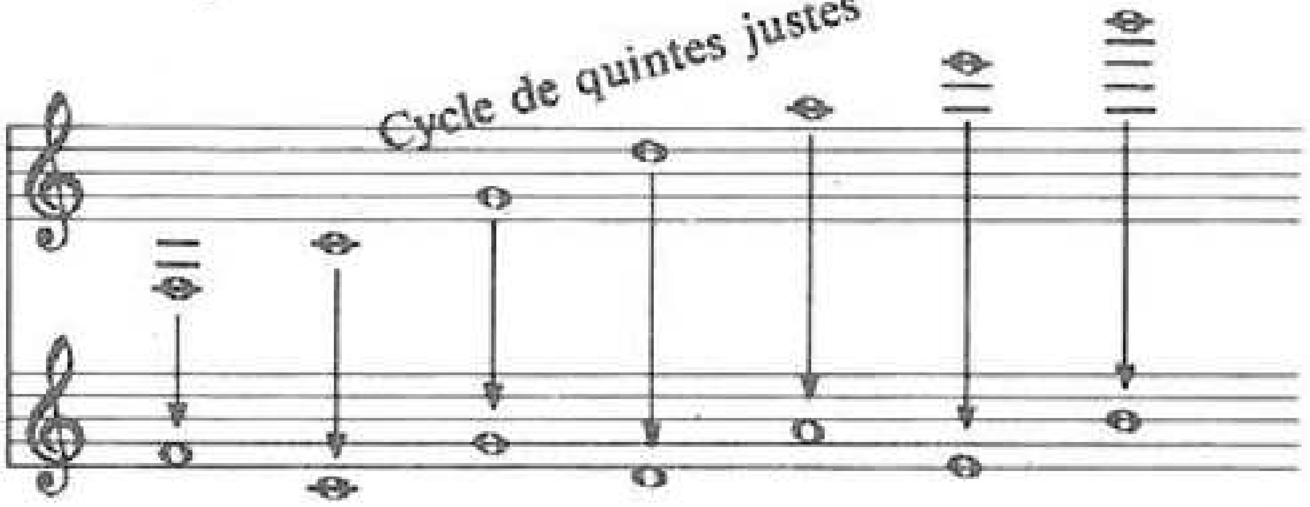
V EXTRAITS D'APPRÉCIATIONS
SUR LE TEQJ

I. LA GAMME DE PYTHAGORE

C'est la plus ancienne justification des 7 notes traditionnelles de notre échelle diatonique. Selon cette théorie qui, sous son aspect originel, remonte au philosophe et mathématicien grec Pythagore (572-480 av. J.-C.), les notes justes sont celles qui résultent d'un cycle de quintes justes successives, la quinte juste étant caractérisée par une absence totale de battements correspondant à un rapport de fréquences égal à 3/2. Ainsi pour obtenir les notes justes de la gamme diatonique majeure (gamme de DO), il suffit de réaliser 6 quintes justes successives à partir d'une première note que nous appellerons FA[1] :

FA DO SOL RÉ LA MI SI

puis de ramener les notes obtenues à l'intérieur d'une octave allant d'un DO au DO à l'octave supérieure :



Ce qui aboutit, tous calculs faits, aux rapports d'intervalles suivants à partir de l'origine :

DO	RÉ	MI	FA	SOL	LA	SI	DO
	$\frac{9}{8}$	$\frac{81}{64}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{27}{16}$	$\frac{243}{128}$	$\frac{2}{1}$

---

[1] Sans que la note FA soit fixée en hauteur absolue. Nous employons ici les noms de note comme on le faisait avant qu'on ne leur attribue une hauteur précise, comme c'était le cas dans la solmisation médiévale. Ils n'indiquent donc que des hauteurs relatives.

Les intervalles successifs sont donc :

$$\begin{array}{ccccccccccccccc} \text{DO} & & \text{RÉ} & & \text{MI} & & \text{FA} & & \text{SOL} & & \text{LA} & & \text{SI} & & \text{DO} \\ & \frac{9}{8} & & \frac{9}{8} & & \frac{256}{243} & & \frac{9}{8} & & \frac{9}{8} & & \frac{9}{8} & & \frac{256}{243} & \end{array}$$

ce qui donne en commas avec une approximation suffisante :

DO 9c RÉ 9c MI 4c FA 9c SOL 9c LA 9c SI 4c DO

Les principaux intervalles exprimés en rapports de fréquences et en commas valent :

l'octave : 2/3 ou 53 commas
la quinte : 3/2 ou 31 commas
la quarte : 4/3 ou 22 commas
la tierce majeure 81/64 ou 18 commas
la tierce mineure 32/27 ou 13 commas

Nous voilà très loin en ce qui concerne les rapports de tierce et de demitons de la simplicité et de l'élégance mathématique que nous trouverons dans les rapports présentés par les intervalles naturels de la gamme de Zarlin (voir p. 250). En revanche, la gamme de Pythagore ne présente qu'une seule sorte de ton, le ton de 9 commas et possède donc de ce fait, et contrairement à la gamme de Zarlin, 2 tétracordes semblables composés chacun de 2 tons et d'un demi-ton :

DO RÉ MI FA
SOL 9c LA 9c SI 4c DO

Ce qui est une invitation à transposer à la quinte supérieure ou inférieure puisque le second tétracorde peut apparaître comme le début d'une gamme dont la tonique serait SOL et que réciproquement, le premier tétracorde suggère la fin de la gamme de FA. Non seulement la transposition sera facile, mais la symétrie des deux tétracordes nous y poussera.

Calcul des intervalles de la gamme de Pythagore (facultatif)

Les intervalles utilisés pour construire cette gamme sont uniquement comme nous l'avons vu la quinte 3/2 et l'octave 2/1.

1) Calcul des intervalles par rapport à l'origine (DO)

Toutes les notes s'engendrent les unes les autres de quinte en quinte, une note quelconque se trouve toujours (au report d'octave près) à un nombre entier de quintes de la note DO.

– RÉ résulte de la succession de 2 quintes justes DO SOL + SOL RÉ et d'un report à l'octave inférieure (voir tableau de la p. 238) donc :

$$\text{N RÉ}_3/\ \text{N DO}_3 = \frac{3}{2} \times \frac{3}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{9}{8}$$

– MI résulte de la succession de 4 quintes : DO SOL + SOL RÉ + RÉ LA + LA MI et d'un report à deux octaves inférieures :

$$\text{N MI}_3/\ \text{N DO}_3 = \frac{3}{2} \times \frac{3}{2} \times \frac{3}{2} \times \frac{3}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{81}{64}$$

– FA se trouve à une quinte inférieure de DO avec un report à l'octave supérieure :

$$N\ FA_3 /\ N\ DO_3 = \frac{2}{3} \times 2 = \frac{4}{3}$$

– SOL est à la quinte supérieure de DO donc :

$$N\ SOL_3\ /\ N\ DO_3 = 3/2$$

– LA est le résultat de 3 quintes successives et d'un report à l'octave inférieure :

$$N\ LA_3 /\ N\ DO_3 = \frac{3}{2} \times \frac{3}{2} \times \frac{3}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{27}{16}$$

– SI se trouve à 5 quintes de DO avec report à deux octaves inférieures :

$$N\ SI_3\ /\ N\ DO_3 = \frac{3}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{243}{128}$$

2) Calcul des intervalles successifs

Rappelons que pour obtenir le rapport d'intervalle de deux notes conjointes, il suffit de multiplier le rapport d'intervalle de la note la plus aiguë par rapport à l'origine (DO) par le rapport inversé de l'intervalle formé par la note la plus grave et cette même origine (voir « Acoustique des hauteurs », p. 189).
Exemple : on veut calculer le rapport correspondant dans la gamme de Pythagore au demi-ton MI_3FA_3 connaissant le rapport :

$$\frac{N\ FA_3}{N\ DO_3} = \frac{4}{3} \text{ et } \frac{N\ MI_3}{N\ DO_3} = \frac{81}{64}$$

on aura :

$$\frac{N\ FA_3}{N\ MI_3} = \frac{4}{3} \times \frac{64}{81} = \frac{256}{243}$$

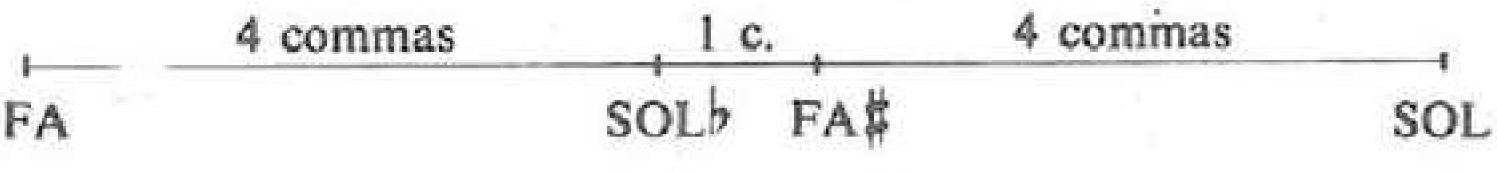
Système pythagoricien chromatique

En théorie et bien que les Anciens ne l'aient jamais réalisé, on peut prolonger l'échelle des 6 quintes justes successives vers l'aigu, on obtient alors les dièses et vers le grave, on obtient alors les bémols :

FA♭ DO♭ SOL♭ RÉ♭ LA♭ MI♭ SI♭ FA DO SOL RÉ LA MI SI FA♯ DO♯ SOL♯ RÉ♯ LA♯ MI♯ SI♯

On a alors une succession de 20 quintes justes fournissant 21 notes. Si on ramène alors toutes ces notes à l'intérieur d'une même octave, les notes enharmoniques ne sont pas confondues : les notes diésées se trouvent un comma pythagoricien (sensiblement égal au comma des musiciens) au-dessus des notes bémolisées. Un FA♯ se trouve, par exemple, un comma plus haut qu'un SOL♭ (voir calcul ci-dessous).

On voit que le ton pythagoricien de 9 commas se partage en 2 demi-tons inégaux : l'un chromatique de 5 commas et l'autre diatonique de 4 commas seulement conformément au schéma suivant :



Ainsi dans le système pythagoricien, chaque note, altérée ou non, présente-t-elle une position bien définie et parfaitement fixe, ce qui rend ce système, contrairement au système zarlinien, tout à fait compatible avec une pratique instrumentale excluant toutefois l'enharmonie. Cela tient à ce que la gamme de Pythagore ne résulte sans doute pas comme celle de Zarlin d'une pure spéculation mathématique mais d'une technique d'accordage des instruments, celle des lyres et des cithares de l'antiquité probablement accordées par quintes justes en système pythagoricien diatonique.

Par contre, le système pythagoricien n'est pas applicable intégralement à l'accord des instruments à clavier limités généralement à 12 notes par octave alors qu'il en exige un minimum de 21 en raison de la distinction des notes enharmoniques. Si on désire accorder un piano ou un clavecin, par exemple, en système pythagoricien, on est obligé de se limiter à 11 quintes justes successives et on ne peut alors aborder toutes les tonalités. Mais on peut s'arranger de façon à rendre le jeu possible *dans un certain nombre de tonalités* et c'est une expérience extrêmement intéressante (voir accordage pythagoricien chromatique, p. 244).

Calcul du comma pythagoricien (facultatif)

C'est le comma qui, dans ce système, sépare deux notes enharmoniques comme DO♯ et RÉ♭, par exemple. Or 12 quintes justes séparent toujours dans le cycle des quintes 2 notes enharmoniques comme DO♯ et RÉ♭. Donc :

$$\frac{\text{N DO}\sharp}{\text{N RÉ}\flat} = \left(\frac{3}{2}\right)^{12}$$

Pour ramener un DO♯ près d'un RÉ♭, il faut franchir 7 octaves descendantes correspondant au rapport $2^7 = 128$

Le comma pythagoricien qui sépare deux notes enharmoniques vaut donc :

$$\frac{\text{N DO}\sharp}{\text{N RÉ}\flat} = \left(\frac{3}{2}\right)^{12} \times \frac{1}{128} = 1{,}101364...$$

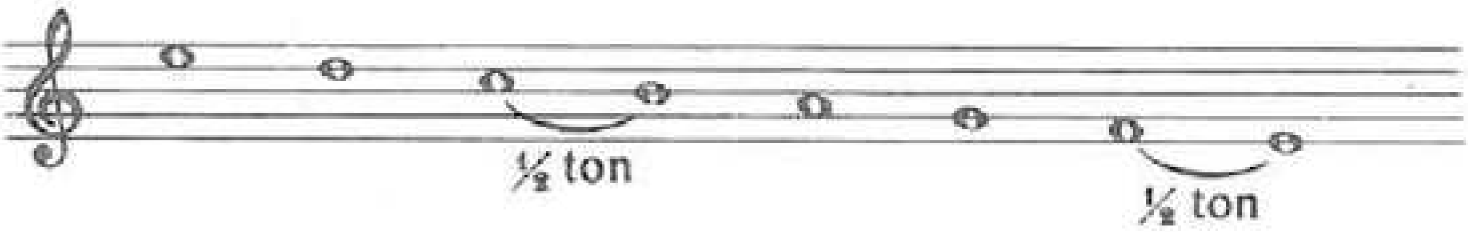
ce qui, converti en savarts vaut 1.000 LOG 1,101364... = 5,88 savarts

Il est donc sensiblement égal au comma des musiciens ou comma holdérien qui vaut 5,6 savarts et au comma syntonique (différence entre une tierce pythagoricienne issue de quintes justes et une tierce naturelle) qui vaut quant à lui 5,4 savarts. Dans la pratique et ainsi que nous l'avons déjà dit, il n'y a pas lieu de faire de distinction entre ces commas qui, bien que d'origine différente, peuvent être tous considérés comme correspondant à 1/9e de ton conformément à la définition traditionnelle du comma.

Origine de la gamme de Pythagore — Le système pythagoricien originel

Ce qu'on appelle actuellement gamme de Pythagore, c'est-à-dire une gamme diatonique majeure obtenue à partir d'un cycle de 6 quintes justes, n'existait pas du temps de Pythagore!! Certes les 7 notes de notre gamme sont bien, à peu de chose près, les mêmes que celles définies par Pythagore comme se déduisant les unes des autres de quinte en quinte. Mais dans le système pythagoricien originel, la première note de la gamme n'était pas forcément la 2e note du cycle des quintes, c'est-à-dire DO. C'est le système tonal qui s'est épanoui au cours des xve et xvie siècles qui a privilégié la note

DO comme tonique et première note de la gamme. Chez les Grecs de l'Antiquité, la gamme diatonique de base ou « gamme dorienne » composée de ces 7 degrés diatoniques commençait et finissait par un MI en allant de l'aigu au grave :



Bien qu'il s'agisse des mêmes notes et des mêmes intervalles que ceux utilisés dans notre gamme diatonique de DO majeur, l'impression est tout autre. Mais si la gamme dorienne était la gamme hellénique par excellence, il existait à côté d'elle un grand nombre d'autres échelles : il y avait en effet autant d'échelles différentes qu'il y a de notes dans l'heptacorde pythagoricien originel, soit donc 7 au total, chaque note pouvant devenir la première note d'une échelle. Il s'agissait là d'un système modal assez semblable à celui qu'on trouve dans le chant grégorien qui crut d'ailleurs ressusciter le système pythagoricien original.

Les 7 notes de l'heptacorde pythagoricien sont d'ailleurs certainement antérieures à Pythagore. Pythagore n'a probablement pas inventé la gamme diatonique, mais il a su justifier les 7 notes qui la composent en donnant de leur origine une explication véritablement scientifique : il avait découvert qu'en partageant une corde tendue, le célèbre et légendaire monocorde, en 2 parties égales, chacune des deux parties émettait une note située à l'octave supérieure de la note donnée par la corde vibrant sur toute sa longueur et qu'en plaçant le chevalet au tiers de la corde, on obtenait cette fois la quinte de la corde à vide. Il a alors montré qu'il était possible à l'aide de ces deux seuls intervalles d'octave et de quinte de reconstituer l'échelle musicale tout entière : c'est ce qu'on appelle maintenant « le cycle des quintes », sorte d'archétype musical permettant de justifier la place de chaque note en la fixant avec précision.

C'est tout à la fois cette simplicité et cette fixité qui a certainement facilité, à partir du chant grégorien, la naissance de la musique d'ensemble (naissance de la polyphonie occidentale du IX^{e} au XII^{e} siècle) et permis le développement ultérieur de tout le système tonal : dès le XIV^{e} siècle, la prépondérance bientôt tyrannique du mode de DO (notre gamme diatonique majeure) due sans doute à la remarquable symétrie de ses deux tétracordes, ouvrait la voie à la modulation (au sens moderne du terme) par enchaînement de tétracordes (imitation à la quinte). Quel musicien ne connaît pas le célèbre FA DO SOL RÉ LA MI SI, ordre d'apparition des dièses et des bémols, mais aussi cycle des quintes pythagoricien attestant que l'idée pythagoricienne a été le ferment de tout le prodigieux développement de la musique occidentale.

Par ailleurs, il n'est pas une seule gamme, un seul tempérament (à l'exception de la gamme de Zarlin) qui ne soit calculé à partir de ce fameux cycle des quintes dans la mesure où la quinte est en musique la mesure de toute chose : à l'aide d'un cycle de quintes, on peut en effet relier entre elles toutes les notes de notre musique, ce qui en atteste par là même l'origine pythagoricienne. La quinte est en effet le seul intervalle à présenter cette étonnante propriété.

Accord d'un instrument à clavier dans le système de Pythagore

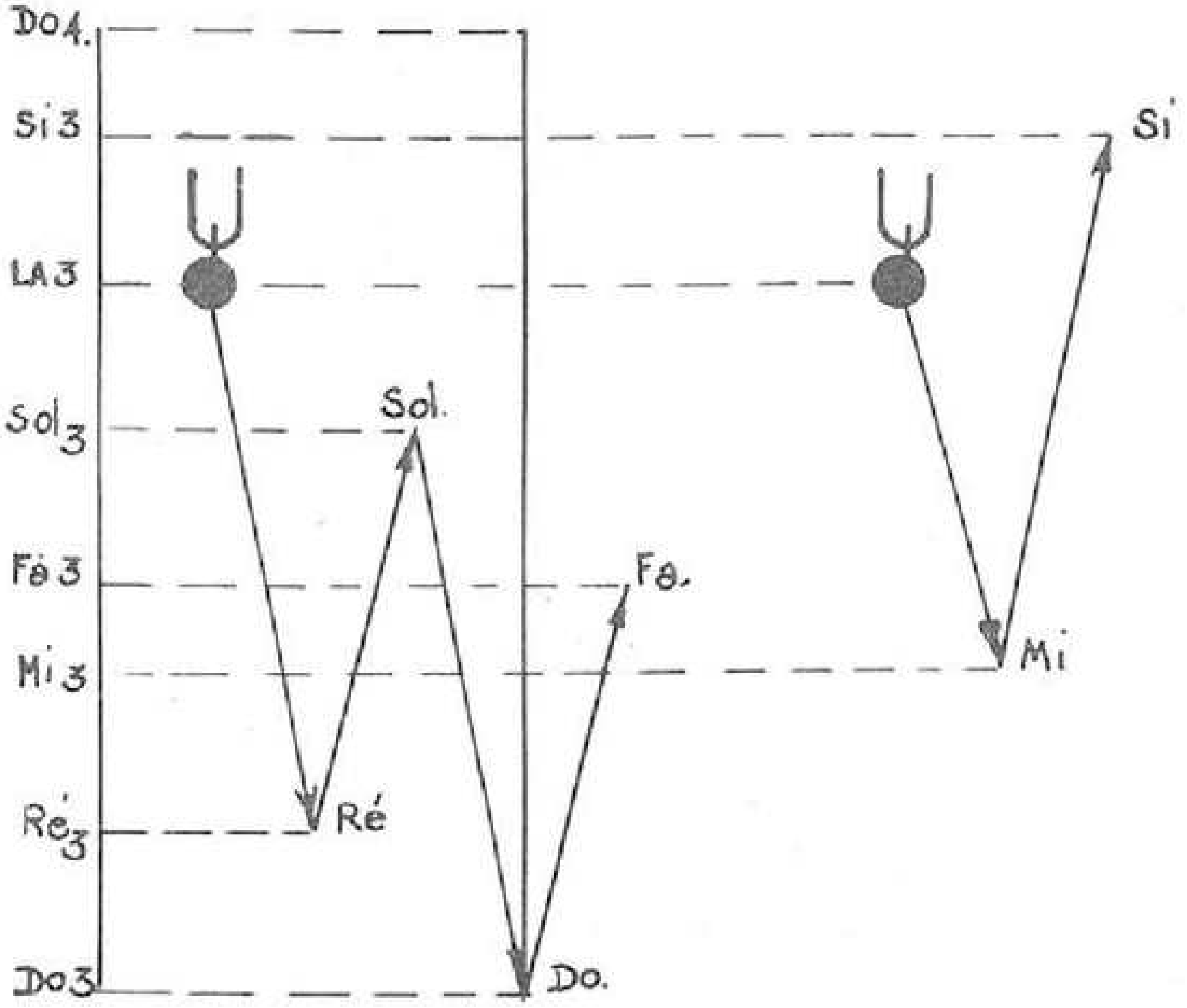
– pour l'accord d'un piano, relire les conseils que nous donnons p. 80 concernant le maniement de la clé d'accord et avoir à sa disposition un coin multiple à 13 branches et un coin simple automatique en plastique. L'accordage pythagoricien est très facile à réaliser, même pour un musicien qui n'a aucune notion d'accordage, car il n'utilise que des quintes, des quartes et des octaves justes qui, plaquées, ne doivent présenter aucun battement. La seule difficulté est de parvenir à réaliser de bons unissons entre les trois cordes de chaque note. Toutefois le musicien non accordeur pourra éviter cette difficulté en utilisant, comme nous l'y incitons p. 257, plusieurs coins multiples.

Accord diatonique

a) *Partition*

Sur un piano, disposer le coin multiple à 13 branches de DO_3 à DO_4 de façon à ne laisser libre que la première corde de chaque note : pour cela, introduire chaque branche entre la 2ᵉ et la 3ᵉ corde. Pour réaliser la partition, il n'est pas nécessaire de faire d'abord un cycle de 6 quintes justes successives puis de ramener les notes à l'intérieur de l'octave DO_3 DO_4 par sauts d'octave : on peut obtenir directement les notes à l'intérieur de l'octave DO_3 DO_4 en remplaçant une quinte juste ascendante par une quarte juste descendante chaque fois qu'on risque de sortir de l'octave DO_3 DO_4.

Commencer par accorder le LA_3 d'après le diapason, puis à partir de ce LA, accorder les autres notes par quartes et quintes justes dans les deux sens, conformément au tableau ci-dessous :



b) *Accord du reste de l'instrument*

Accorder le reste de l'instrument par octaves justes avec contrôle de la justesse des quartes et des quintes.

On accorde par exemple le RÉ$_4$ en le mettant à l'octave juste du RÉ$_3$ de la partition et on vérifie la justesse de la quinte SOL$_3$ RÉ$_4$ et de la quarte LA$_3$ RÉ$_4$.

Sur un piano, on commence par accorder la 1re corde (la corde la plus à gauche) du RÉ$_4$: pour cela on place le coin automatique entre la 2e et la 3e corde du RÉ$_4$ afin de ne laisser libre que la 1re corde. On accorde celle-ci à l'octave juste du RÉ$_3$. Une fois cette première corde accordée et la justesse de la quinte SOL$_3$ RÉ$_4$ et de la quarte LA$_3$ RÉ♯$_4$ vérifiée, on place le coin automatique entre la 3e corde de RÉ$_4$ et la 1re de RÉ$_4$ afin de laisser libre la 1re et la 2e corde de RÉ$_4$ tout en maintenant étouffée la 3e. On met alors la 2e corde de RÉ$_4$ à l'unisson de la 1re déjà accordée. Puis on libère la 3e corde en plaçant le coin automatique entre la 2e et la 3e corde de MI$_4$. On met la 3e corde de RÉ$_4$ à l'unisson des deux autres déjà accordées, on vérifie ensuite l'octave RÉ$_3$ RÉ$_4$, la quinte SOL$_3$ RÉ$_4$ et la quarte LA$_3$ RÉ$_4$. Puis on passe à l'accord de la première corde de MI$_4$, le coin automatique étant déjà placé à cet effet puisqu'il étouffe les 2e et 3e cordes de cette note, etc.

Accord pythagoricien chromatique

Nous avons vu que dans le système pythagoricien chromatique, les notes enharmoniques ne sont pas confondues et que ce système exige donc 21 notes par octaves (7 notes naturelles, 7 notes diésées et 7 notes bémolisées). Un instrument à clavier normal possédant seulement 12 touches par octave, il est impossible de l'accorder entièrement dans le système pythagoricien chromatique si on veut pouvoir jouer dans toutes les tonalités. Mais on peut s'arranger de façon à rendre le jeu possible dans un certain nombre de tonalités. Nous venons de voir en effet qu'il fallait un cycle de 6 quintes justes pour disposer d'une échelle diatonique pythagoricienne comme celle de DO majeur. Avec 7 quintes successives, en ajoutant, par exemple la quinte SI FA♯ aux 6 premières quintes, on pourra donc aborder 2 tonalités : celles de DO majeur et de SOL majeur; avec 8 quintes successives, on pourrait en aborder 3, etc. Avec les 12 touches par octave des claviers traditionnels, on pourra réaliser un cycle de 11 quintes successives et donc aborder 6 tonalités majeures.

Pour obtenir, par exemple, la gamme chromatique pythagoricienne limitée à 12 sons :

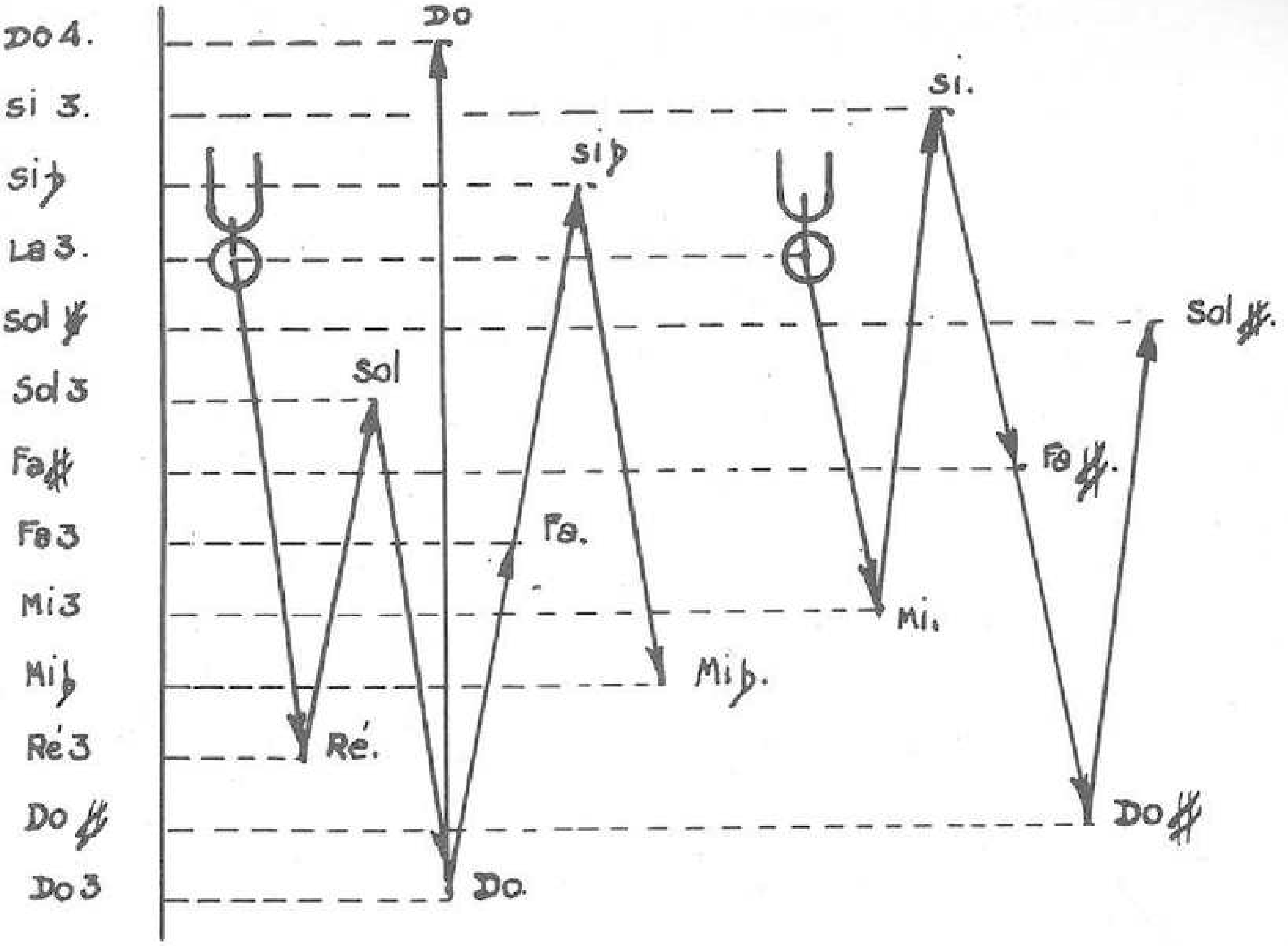
DO$_3$ DO♯$_3$ RÉ$_3$ *MI♭$_3$* MI$_3$ FA$_3$ FA♯$_3$ SOL$_3$ SOL♯$_3$ LA$_3$ SI♭$_3$ SI$_3$

il suffit d'accorder par quintes et quartes justes à partir du LA$_3$ du diapason et dans les deux sens, conformément au tableau de la p. 245.

On disposera alors du cycle de 11 quintes justes suivant :

MI♭ SI♭ FA DO SOL RÉ LA MI SI FA♯ DO♯ SOL♯,

Une fois cette partition chromatique terminée, il n'y a plus qu'à accorder le reste de l'instrument par octaves justes avec contrôle de la justesse des quartes et des quintes en suivant la même procédure que pour l'accord diatonique.



Caractéristiques de l'accord pythagoricien chromatique

1) Il est possible en restant dans le système pythagoricien de jouer dans les 6 tonalités majeures suivantes :

SI♭ FA DO SOL RÉ LA

assez bien réparties entre tonalités diésées et tonalités bémolisées.

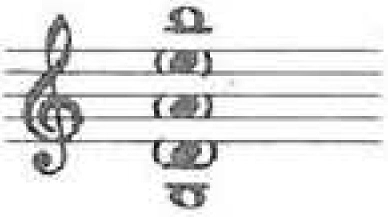
En commençant le cycle des quintes par une autre note que MI♭, ce serait d'autres tonalités qui deviendraient abordables : en commençant par exemple, par un RÉ♭, on pourrait disposer des tons suivants :

LA♭ MI♭ SI♭ FA DO SOL, etc.

2) Toutes les quintes et les octaves sont justes et dépourvues de battements, excepté la quinte SOL♯ (LA♭) MI♭ qui est inférieure d'un comma à une quinte juste et donc impraticable. En réalité, c'est une sixte diminuée pythagoricienne.

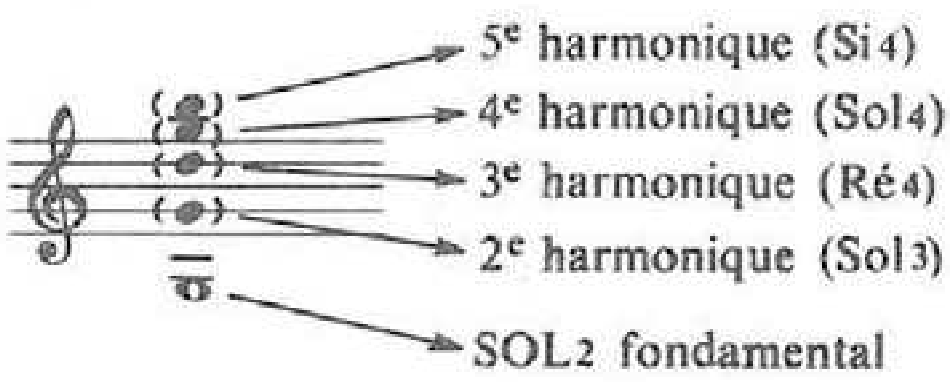
3) Les tierces et les sixtes pythagoriciennes et leurs redoublements émettent au contraire de nombreux battements qui donnent à ces intervalles une brillance caractéristique et une tension appelant résolution. Ce qui favorise les attractions tonales et les tropismes mélodiques.

Prenons par exemple une 17ᵉ majeure ou tierce deux fois redoublée comme SOL_2 SI_4. Cet intervalle résulte de la succession de 4 quintes justes :



Jouons cette 17ᵉ en plaquant en même temps SOL_2 et SI_4 : le SI_4 semble scintiller. Il est en effet animé de quelque 12 battements à la seconde. Jouons maintenant la tierce SOL_2 SI_2 également sous forme harmonique : nous remarquons que le SI_2 vibre exactement à la même rapidité que le SI_4 dans la 17ᵉ SOL_2 SI_4, soit également à 12 battements à la seconde.

Lorsque nous jouons en effet en même temps le SOL_2 et le SI_4 de la gamme de Pythagore, ce SI_4 entre en conflit avec un autre SI_4 qui n'est autre que le 5ᵉ harmonique du SOL_2 :



Ce 5ᵉ harmonique de SOL_2 qui est un SI_4 naturel présente en effet une fréquence inférieure à celle du SI_4 pythagoricien. Évaluons les fréquences de ces deux SI_4 et calculons les battements qui en résultent : nous avons d'une part le SI_4 pythagoricien qui se trouve à 4 quintes justes du SOL_2, donc

$$N\ SI_4 \text{ réel} = N\ SOL_2 \times \left(\frac{3}{2}\right)^4 = N\ SOL_4 \times \frac{81}{16}$$

d'autre part :

$$N\ SI_4 \text{ harmonique de } SOL_2 = N\ SOL_2 \times 5$$

La fréquence des battements de la 17ᵉ pythagoricienne SOL_2 SI_4 est donc égale à la différence de fréquence du SI_4 réel et du SI_4 harmonique :

$$R\ SOL_2\ SI_4 = N\ SI_4 - N\ SI_4 \text{ harmonique}$$

$$R\ SOL_2\ SI_4 = N\ SOL_4 \times \left(\frac{81}{16} - 5\right) = N\ SOL_4 \left(\frac{81}{16} - \frac{80}{16}\right) = \frac{N\ SOL_4}{16}$$

Comme $N\ SOL_2 = 195$ hz, $R\ SOL_2\ SI_4 = \frac{195}{16} = 12{,}2$

On dira que la 17ᵉ pythagoricienne SOL_2 SI_4 présente une rapidité de 12,2 battements à la seconde.

La tierce pythagoricienne SOL_2 SI_2 présentera exactement la même rapidité : en effet, ce sont des SI_4 de mêmes fréquences que dans le cas précédent qui vont entrer en conflit. L'un sera comme tout à l'heure le 5ᵉ harmonique de la note SOL_2 et l'autre sera le 4ᵉ de la note SI_2 qui se trouvera donc exactement à la même hauteur que le SI_4 pythagoricien du cas précédent.

Il sera peut-être un peu difficile pour un musicien non accordeur de distinguer ces battements très rapides. Mais si on écoute les intervalles correspondants qui se trouvent une octave plus bas comme la tierce SOL_1 SI_1 et la 17ᵉ SOL_1 SI_3, on en percevra mieux les battements qui seront deux fois moins rapides, soit 6 battements à la seconde. Deux octaves plus bas, la tierce SOL_0 SI_0 et la 17ᵉ SOL_0 SI_2 ne présenterait plus que 3 battements à la seconde, ce qui est très facile à percevoir.

4) Paradoxalement, il est possible de jouer (moyennant certaines précautions pour éviter le seul intervalle vraiment faux la « quinte du loup » SOL♯ (LA♭) MI♭) dans les 6 tonalités majeures restantes :

LA♭ MI♭ MI SI FA♯ DO♯

En effet, celles-ci ne présentent en dehors d'intervalles pythagoriciens que des intervalles zarliniens (voir gamme de Zarlin, p. 249) donc praticables, puisque effectivement pratiqués sur les orgues et les clavecins aux XVIIᵉ et XVIIIᵉ siècles (à l'exception toutefois de la quinte du second degré de la gamme de Zarlin, réduite d'un comma comme la quinte du loup de l'accordage pythagoricien chromatique)

Si, par exemple, nous voulons jouer la gamme de FA♯ majeur, nous ne disposerons dans l'accordage pythagoricien ci-dessus, ni de LA♯ ni de RÉ♯, ni de MI♯ et nous devrons alors utiliser les notes enharmoniques pythagoriciennes, ce qui nous donnera la gamme suivante :

FA♯ SOL♯ SI♭(LA♯) SI DO♯ MI♭(RÉ♯) FA(MI♯) FA♯

Or cette gamme n'est autre que celle de Zarlin!! En effet, le SI♭ pythagoricien se trouve par définition à 1 comma pythagoricien (5,8 savarts) en dessous du LA♯ pythagoricien, c'est-à-dire pratiquement à la même place que le LA♯ zarlinien qui se trouve à 1 comma syntonique (5,4 savarts) dessous le LA♯ de Pythagore. Il en va de même du MI♭ et du FA pythagoricien qui occupe pratiquement la place du RÉ♯ et du MI♯ de Zarlin à 1/100ᵉ de ton près. Ainsi l'accordage pythagoricien chromatique recèle-t-il la gamme de Zarlin elle-même!

Intérêt et limite de cet accordage

L'intérêt de cet accordage pythagoricien défectif (puisque présentant seulement 12 notes au lieu des 21 du système pythagoricien chromatique) va peut-être au-delà d'un simple intérêt de curiosité :

– Possibilité de jouer sur un clavecin ou un piano en système pythagoricien dans 6 tonalités majeures (et trois mineures). Cette expérience permet, en particulier de se rendre compte, que contrairement à ce qu'ont affirmé certains musiciens, musicologues ou chercheurs (comme Van Esbroeck et Monfort, par exemple), la justesse pythagoricienne n'est pas entièrement satisfaisante et ne peut donc être celle de l'orchestre ou même des instruments à cordes de l'orchestre : les tierces et sixtes paraissent en général trop hautes et trop battantes (voir 2ᵉ partie de cet ouvrage : « Qu'est-ce que la justesse », p. 146).

– Possibilité de jouer dans les autres tonalités mais à condition de prendre certaines précautions d'écriture (voir ci-dessus). Chacune de ces tonalités présente une structure et par conséquent une couleur différente.

– Nous avons quelques raisons de penser avec certains musicologues que cet accordage pythagoricien à 12 sons a pu être celui des premiers instruments présentant un clavier chromatique : orgue, épinette, clavecins du XIIIᵉ au XVIᵉ siècle avant l'apparition de la gamme de Zarlin et de la gamme mésotonique qui en est dérivée. Si cette hypothèse se trouvait vérifiée, l'accordage pythagoricien chromatique aurait aussi un intérêt historique et il conviendrait de l'employer lorsqu'on veut redonner aux pièces instrumentales de ces époques leur couleur originelle.

Quel que soit cependant l'intérêt de cet accordage, il possède, rappelons-le, le grave inconvénient de ne pas permettre un jeu totalement libre dans toutes les tonalités en raison de la présence d'une « quinte du loup ». Or c'est un bien gros défaut de ne pouvoir jouer, par exemple, « le Clavecin bien tempéré ».

II. GAMME DE ZARLIN OU GAMME « NATURELLE »

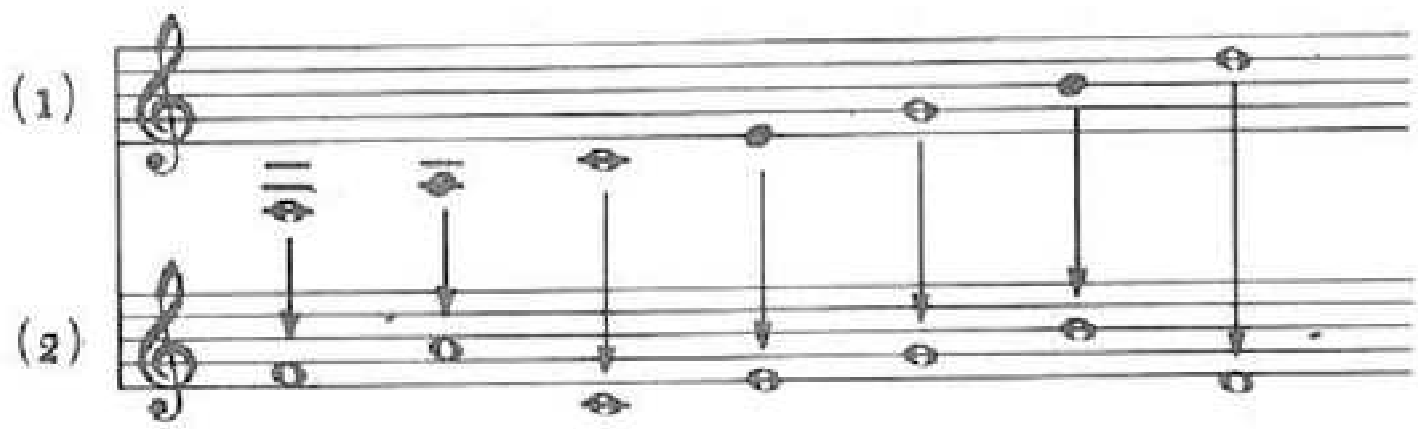
C'est la justification « scientifique » de la gamme majeure occidentale. Ainsi s'explique que cette gamme soit également appelée « gamme des physiciens », « gamme des géomètres » ou encore « gamme rationnelle » (Bouasse). Selon cette thèse qui figure toujours en bonne place dans les encyclopédies et les théories musicales en usage dans les conservatoires et écoles de musique, la justesse est un phénomène naturel et les intervalles justes ne sont autres que les intervalles naturels, c'est-à-dire ceux qui nous sont donnés par un son et la série de ses harmoniques naturels conformément aux lois de la résonance. Ces intervalles ont pour caractéristique essentielle de ne produire aucun battement lorsqu'ils sont émis harmoniquement (intervalles plaqués). La justesse est donc associée dans cette théorie à l'absence de battements en émission harmonique (voir « Acoustique des hauteurs », p. 216).

L'accord parfait qui est à l'origine de notre musique harmonique nous est donné par les harmoniques de rang 4, 5 et 6 d'une note quelconque. Pour le DO, par exemple, ce sera DO, MI et SOL. La gamme est elle-même le résultat de trois accords parfaits naturels dits « générateurs », l'un placé sur la tonique DO et les deux autres sur les notes qui se trouvent à une distance de quinte juste (naturelle) de cette tonique, l'une à la quinte supérieure SOL, l'autre à la quinte inférieure FA :

FA LA DO   DO MI SOL   SOL SI RÉ

Chaque accord parfait se compose donc d'une quinte naturelle correspondant au rapport 3/2 et d'une tierce naturelle correspondant au rapport 5/4.

On peut donc présenter la gamme de Zarlin comme résultant de l'enchaînement de 3 quintes naturelles FA DO SOL RÉ, chaque quinte étant meublée par une note formant tierce naturelle avec la note grave de la quinte (1). Pour obtenir la gamme de DO majeur, il suffit alors de ramener les notes obtenues à l'intérieur d'une octave allant d'un DO à un autre DO (2) :



Voici donc, tous calculs faits, les rapports d'intervalles de chaque note avec l'origine (DO) :

DO	RÉ	MI	FA	SOL	LA	SI	DO
	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	$\frac{2}{1}$

Les intervalles successifs sont donc les suivants :

DO		RÉ		MI		FA		SOL		LA		SI		DO
	$\frac{9}{8}$		$\frac{10}{9}$		$\frac{16}{15}$		$\frac{9}{8}$		$\frac{10}{9}$		$\frac{9}{8}$		$\frac{16}{15}$	

ce qui donne en commas :

DO		RÉ		MI		FA		SOL		LA		SI		DO
	9c		8c		5c		9c		8c		9c		5c	

Les intervalles exprimés sous forme de rapports de fréquences nous donnent une idée de l'aspect harmonique de la gamme (intervalles harmoniques ou « plaqués ») alors qu'exprimés en unités musicales comme le comma, ils nous renseignent davantage sur l'aspect mélodique. Les octaves, les quintes et les quartes sont les mêmes que dans la gamme de Pythagore; mais les tierces et leurs renversements, les sixtes, s'en écartent sensiblement. Voici en effet la valeur des principaux intervalles de la gamme de Zarlin :

l'octave : 2/1 ou 53 commas
la quinte : 3/2 ou 31 commas[1]
la quarte : 4/3 ou 22 commas
la tierce majeure 5/4 ou 17 commas
la tierce mineure 6/5 ou 14 commas

Quel mathématicien ne serait pas séduit par l'ordonnance et la simplicité merveilleuse de ces rapports de fréquences? si nous ajoutons, comme nous l'avons déjà dit, que l'accord parfait correspond à une progression des fréquences des notes le composant proportionnelle aux nombres 4, 5 et 6, nous comprendrons mieux la fascination qu'a pu exercer cette gamme sur les grands mathématiciens et philosophes de la Renaissance, passionnés par la redécouverte de l'Antiquité gréco-romaine. Nourris d'idées platoniciennes, ils adhéraient à la mystique du Nombre et croyaient redécouvrir les correspondances qui pouvaient exister entre les Nombres et l'« Harmonie universelle ».

Malheureusement cette perfection formelle n'existe que sur le papier, car l'audition de musique interprétée dans cette gamme nous révèle l'imposture d'une conception qui n'a de naturel que le nom et que ne peut que rejeter tout musicien non atteint de surdité musicale! C'est bien pour cette raison que, dans un domaine comme celui de la musique, il faut toujours en passer par l'audition avant d'admettre ou de contester la validité de certaines conceptions.

Si nous examinons maintenant l'aspect mélodique de cette gamme tel

---

[1] Avec une exception pour la quinte du second degré RÉ LA qui ne vaut que 40/27 ou 30 commas, soit 1 comma de moins qu'une quinte juste comme la « quinte du loup » de l'accordage pythagoricien chromatique. C'est là où le bât blesse!

qu'il ressort des intervalles successifs exprimés en commas, nous voyons qu'on paie l'apparente simplicité harmonique d'une complexité inextricable sur le plan mélodique : il existe en effet deux sortes de tons dans la gamme de Zarlin : le ton majeur qui vaut 9 commas comme DO RÉ, par exemple, et le ton mineur qui n'en vaut que 8, comme RÉ MI. Ainsi, en supposant qu'on veuille moduler en SOL majeur, on devra non seulement diéser le FA, mais également hausser le LA naturel d'un comma puisque, par construction, il doit y avoir un ton de 9 commas (ton majeur) entre la 1^{re} et la 2^e note d'une gamme majeure. Or, en DO majeur, il n'y a que 8 commas entre SOL et LA. Pour passer en RÉ majeur, il faudrait modifier cette fois MI et LA. Aucune note naturelle ou diésée n'est donc fixe puisque à chaque modulation, une note peut déraper vers l'aigu ou le grave. Il est donc parfaitement vain d'essayer de définir une échelle chromatique zarlinienne puisque aucune note n'occupe une hauteur définitive et que la place des notes dépend des modulations et de l'ordre dans lequel elles se présentent!

Par ailleurs le demi-ton diatonique valant 5 commas, il s'ensuit que le demi-ton chromatique n'en vaut généralement que 4, ce qui est loin d'être « naturel » pour un instrumentiste à cordes qui a souvent tendance à faire le contraire!

Calcul des intervalles de la gamme de Zarlin (facultatif)

Les intervalles utilisés pour construire cette gamme sont :

l'octave juste correspondant au rapport	2/1
la quinte juste	3/2
la tierce naturelle	5/4

Rappelons que cette gamme peut être considérée comme le résultat de deux opérations résumées dans le tableau de la p. 249.

1) Calcul des rapports d'intervalles entre chaque note de la gamme et l'origine DO.

– RÉ résulte comme dans la gamme de Pythagore d'une succession de 2 quintes justes DO SOL + SOL RÉ et d'un report à l'octave inférieure donc, comme dans la gamme de Pythagore $N\ RÉ_3/N\ DO_3 = \frac{9}{8}$

– MI_3 se trouve par construction à une tierce naturelle de DO_3 donc :
$N\ MI_3/N\ DO_3 = \frac{5}{4}$

– FA_3 est le même que dans la gamme de Pythagore et se trouve donc à une quarte juste de DO_3 d'où $N\ FA_3/N\ DO_3 = \frac{4}{3}$

– SOL_3 est comme dans la gamme de Pythagore à une quinte juste de DO_3 donc $N\ SOL_3/N\ DO_3 = \frac{3}{2}$

– LA_3 est à une tierce naturelle de FA_3 qui est lui-même à une quarte juste de DO_3 donc :

$$N\ LA_3/N\ DO_3 = N\ LA_3/N\ FA_3 \times N\ FA_3/N\ DO_3 = \frac{5}{4} \times \frac{4}{3} = \frac{5}{3}$$

– SI_3 est à la tierce naturelle de SOL_3, lui-même à la quinte juste de DO_3, on a donc :

$$\begin{aligned} N\ SI_3/N\ DO_3 &= \text{rapport de tierce} \times \text{rapport de quinte} \\ &= \frac{5}{4} \times \frac{3}{2} \\ &= \frac{15}{8} \end{aligned}$$

2) Calcul des intervalles successifs

Rappelons que pour avoir le rapport d'intervalle de deux notes conjointes, il suffit de multiplier le rapport de l'intervalle formé par la note la plus aiguë et la note d'origine (DO), par le rapport inversé de l'intervalle formé par la note la plus grave avec cette origine.

Origine de la gamme de Zarlin

Aux XIVe, XVe et XVIe siècles, la polyphonie vocale souvent accompagnée à l'orgue ou par d'autres instruments se développe. La musique commence à échapper à la modalité et à privilégier le seul mode de DO, notre majeur moderne. Cette émergence du sens tonal occidental traditionnel va de pair avec la prise de conscience de la dimension verticale ou harmonique de la musique : on commence à voir dans la polyphonie née quatre siècles plus tôt, autre chose que des mélodies superposées (contrepoint) et dans les agrégations verticales autre chose que des consonances-jalons. Avec l'intégration progressive de la tierce en tant que consonance, naît l'accord parfait majeur : placé sur les notes DO, FA et SOL de l'échelle diatonique, il acquiert vite une fonction tonale dans le cadre d'un discours cadentiel naissant. Ainsi naissent les notions d'abord empiriques de degré, de basse harmonique tandis que la partie supérieure de l'édifice (soprano) concentre bientôt l'essentiel du discours mélodique ouvrant ainsi la voie au style harmonique et bientôt à la mélodie accompagnée.

C'est alors que des musiciens et des théoriciens comme Zarlin s'interrogent sur la présence de la tierce dans l'accord parfait. Pythagore, nous l'avons vu, avait montré qu'en plaçant un chevalet au milieu d'une corde tendue, on obtenait l'octave et qu'en plaçant ce chevalet au tiers du monocorde, on obtenait la quinte. Reprenant ces expériences, Zarlin va montrer que la tierce, tout comme l'octave ou la quinte correspond à une fraction simple du monocorde : la division en 5, cette fois. Ainsi la tierce harmonique trouvait-elle du même coup une justification numérique au même titre que la quinte ou l'octave. Il sembla dès lors évident que l'oreille devait être capable de saisir la beauté intrinsèque des proportions simples d'où naissait l'Harmonie Universelle. On ignorait complètement à l'époque de Zarlin l'existence des sons harmoniques et donc les phénomènes de coïncidence d'harmoniques auxquels donnent lieu les intervalles naturels comme ceux qu'on obtient en partageant le monocorde en fractions simples. Les harmoniques ne furent en effet découverts qu'au XVIIIe siècle par Sauveur, un savant sourd!!! et étudiés systématiquement par Helmholtz à la fin du XIXe siècle. Cette explication de l'Harmonie par le Nombre parut si convaincante aux mathématiciens et philosophes de la Renaissance que bien des théoriciens et même des musiciens virent alors dans la musique une sorte de « mathématique des sons » comme devait plus tard l'appeler Leibnitz. C'est dans ces conditions qu'on admit sans plus de vérifications que la tierce majeure juste ne pouvait être que celle qui correspondait au partage d'une corde au 5^e^ de sa longueur puisque la tierce pythagoricienne composée de 2 tons de 9 commas (le « diaton médiéval ») présentait un rapport de fréquence aussi peu évident que 81/64 !! Rares furent alors les musiciens qui, s'en remettant à leur seule oreille osèrent protester en déclarant que les tierces et les sixtes jouées par les musiciens n'étaient peut-être pas toujours celles définies par Zarlin. A ce sujet, voici ce qu'écrivait en 1581, Vincent Galilée, le père de l'astronome et l'un des inventeurs de l'opéra, dans son « Dialogo della musica antica e della moderna » édité à Florence, peu après la parution en 1558 de « L'Istituzioni harmoniche » où Zarlin exposait sa fameuse théorie :

« Cette opinion que notre gamme est la même que l'antique[1], dura dans l'esprit des hommes jusqu'à ce que survînt le Révérend Maître Gioseffo Zarlino, lequel par divers arguments a cherché à démontrer tant au sens qu'à l'intelligence, que ces consonances imparfaites[2] ne seraient d'aucune façon celles qui se trouvent parmi les cordes distribuées selon le diatonique diaton[3], mais par contre seraient celles-là même du Synton de Ptolémée. Et malgré la nouveauté de cette thèse, il se laissa entraîner à croire et à enseigner que le genre diatonique qui se chante de nos jours, est entièrement le synton de Ptolémée, ce qui, comme vous l'avez vu, n'est pas vrai.

« Sans doute, dans le système de Ptolémée, les tierces et les sixtes sont consonantes. Celles que nous chantons sont consonantes, elles aussi. Mais nous ne sommes pas autorisés à conclure de là que ces dernières sont les mêmes que celles de Ptolémée. »

C'est là un témoignage qui devrait être de nature à faire sérieusement réfléchir les actuels partisans inconditionnels des intervalles zarliniens dans les musiques allant du XIV^e^ au XVIII^e^ siècle !

Cependant les sixtes et les tierces zarliniennes, sinon la gamme de Zarlin elle-même, finirent probablement par s'imposer en raison du succès que les thèses de Zarlin rencontrèrent auprès des philosophes et des mathématiciens de cette époque tant elles semblaient rationnelles et satisfaisantes. Et sans doute contenaient-elles une part de vérité, car l'apparition de l'intervalle de tierce en tant que consonance, et de l'accord parfait à la fin du Moyen Age, correspond bien à l'appréhension empirique par l'oreille de l'existence du 5^e^ harmonique, l'harmonique de tierce ! Mais pour des raisons de cohérence, l'intervalle naturel auquel ce 5^e^ harmonique correspondait aurait dû rester à l'état d'une suggestion dont se contentait sans doute les oreilles médiévales (et dont nous nous contentons à nouveau depuis la généralisation du tempérament égal). En voulant introduire tierces et sixtes naturelles dans le langage musical déjà constitué, Zarlin remettait en cause sa cohérence dans la mesure où la coexistence de quintes justes et de tierces naturelles ne permet pas de définir une échelle fixe dès que des modulations interviennent

---

[1] C'est-à-dire celle de Pythagore.

[2] De tierces et de sixtes.

[3] La gamme diatonique de Pythagore.

et était donc inconciliable avec l'évolution de la musique instrumentale occidentale (voir p. 162 et également p. 251). Ainsi s'explique que la découverte de la tierce naturelle et la volonté de l'introduire dans la musique instrumentale ait entraîné une période d'instabilité dans le domaine de la justesse et du tempérament (accord des instruments à clavier) qui ne devait prendre fin qu'avec l'adoption généralisée du tempérament égal et le renoncement définitif à intégrer la tierce naturelle dans le langage occidental comme intervalle de référence.

C'est ainsi qu'au XVIe et XVIIe siècles, les musiciens durent sans doute s'accommoder de la gamme de Zarlin mais non sans lui avoir fait subir de nombreuses adaptations pour la rendre dans toute la mesure du possible conciliable avec la pratique et l'écriture musicales déjà très modulantes à la fin du XVIIe siècle. C'est ce qui explique que ce siècle fut un véritable creuset de tempéraments qui, à partir des conceptions zarliniennes, virent surgir en particulier la gamme mésotonique (appelée aussi « gammes à tons moyens ») et tous les tempéraments dits « de transition »[1], véritables équivalents sonores de la quadrature du cercle puisqu'ils cherchaient à concilier l'inconciliable : à savoir la quinte juste et la tierce naturelle sans pour autant bloquer les mécanismes modulatoires. Ces tentatives, non sans intérêt, mais contraignantes pour le compositeur et difficiles à imposer aux instrumentistes d'orchestre, finirent par déboucher au XVIIIe siècle sur le tempérament égal appelé (comme certains tempéraments de transition) « gamme bien tempérée » parce qu'il permettait d'aborder tous les tons comme à l'orchestre : la quinte un moment sacrifiée à la tierce naturelle retrouvait presque sa justesse au détriment de la tierce naturelle malgré les protestations indignées des théoriciens et de certains musiciens restés attachés aux conceptions de Zarlin (comme J.-J. Rousseau, par exemple).

Malgré cette évolution inéluctable du langage musical, la gamme bien tempérée ne fut considérée jusqu'à une époque très récente, que comme un moindre mal par la plupart des théoriciens et des musicologues : vus sous l'angle de la justesse « naturelle », tous ses intervalles, à l'exception de l'octave, sont en effet faux et artificiels. Aussi fut-elle longtemps considérée seulement comme l'adaptation la moins mauvaise apportée aux instruments à clavier de la seule gamme considérée comme juste, à savoir la gamme « naturelle ». C'est pourquoi Helmholtz, Bouasse, Delézenne, Becquerel et bien d'autres acousticiens ou physiciens du début du XXe siècle, s'efforcèrent de prouver que les musiciens d'orchestre – les meilleurs du moins, s'il faut en croire Bouasse – jouaient toujours instinctivement selon la justesse naturelle. Malgré tout, devant une accumulation récente de statistiques obtenues à partir du relevé des fréquences émises par les musiciens d'orchestre, cette thèse semble définitivement abandonnée soit au profit de la thèse pythagoricienne (Van Esbroeck et Monfort, R. Dussaut, E. Ansermet, P. Bazelaire et dans une moindre mesure J. Chailley) soit, plus récemment, d'une généralisation de la gamme bien tempérée à toute la musique occidentale (Jean Matras, Alain Daniélou, S. Gut, H. Halbreich et également J. Chailley). Cette dernière hypothèse se heurte cependant au fait que la gamme bien tempérée suppose en principe l'utilisation de quintes « tempérées » alors que les instruments à cordes de l'orchestre, accordés par quintes justes, sont naturellement conduits à émettre des inter-

---

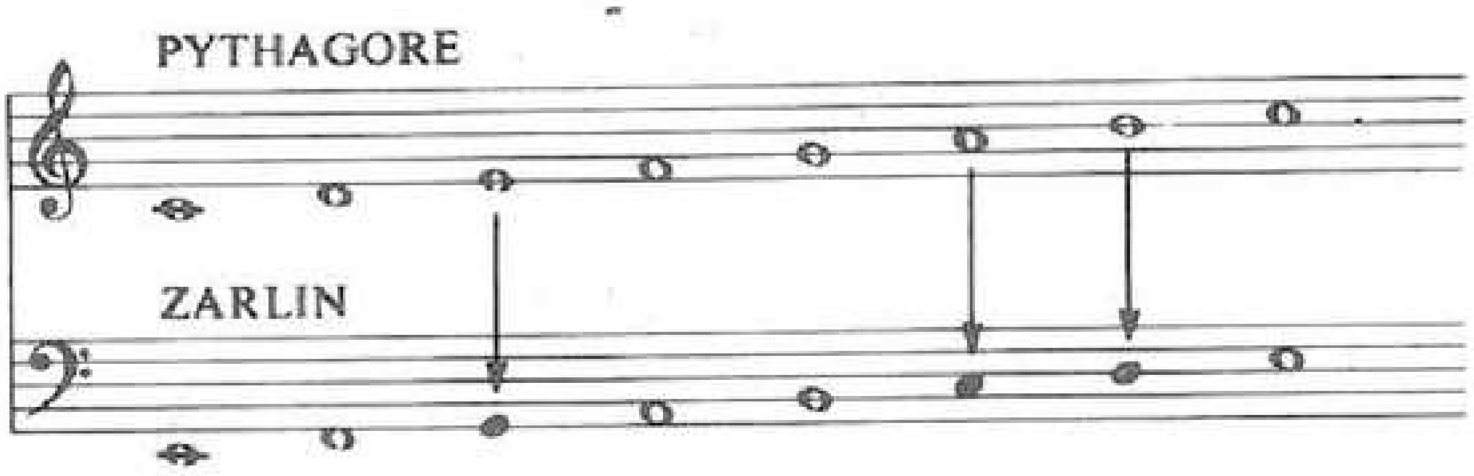
[1] Entre la gamme mésotonique et la gamme bien tempérée traditionnelle.

valles pythagoriciens. Ainsi s'explique l'existence actuelle de deux thèses concurrentes. C'est pourquoi nous avons été amenés, à la suite de notre étude sur l'accord des pianos, à émettre une autre thèse qui semble parfaitement résoudre ces apparentes contradictions (voir la seconde partie de cet ouvrage : « Qu'est-ce que la justesse? », p. 125).

Comparaison des gammes de Zarlin et de Pythagore

Cette comparaison n'a pour but que de dégager les ressemblances et les différences qui existent entre ces deux gammes : elle nous sera utile pour réaliser ces gammes sur un piano ou tout autre instrument à clavier.

On peut constater que les deux gammes ont en commun 4 notes : FA, DO, SOL et RÉ qui résultent dans les deux cas de 4 quintes justes successives : FA DO SOL RÉ. Par contre les notes LA, MI et SI qui forment des tierces majeures avec respectivement FA, DO et SOL sont différentes dans les deux cas.



○ notes communes aux deux gammes.

● notes baissées d'un comma.

En consultant les tableaux indiquant la valeur des rapports d'intervalles dans les deux gammes, on constate que la tierce pythagoricienne vaut 81/64 alors que la tierce zarlinienne ne vaut que 5/4. La première est donc plus grande que la seconde et l'intervalle entre les deux sortes de tierces appelé comma syntonique correspond donc au rapport :

$$\frac{81}{64} : \frac{5}{4} = \frac{81}{64} \times \frac{4}{5} = \frac{81}{80} \quad \text{soit 5,4 savarts}$$

c'est-à-dire à ce que les musiciens appellent effectivement un comma.

Pour obtenir la gamme de Zarlin à partir de celle de Pythagore, il suffira donc de baisser d'un comma les notes formant tierces majeures : LA, MI et SI.

Travaux pratiques
Accord d'un instrument à clavier dans la gamme de Zarlin

La gamme de Zarlin n'est pas tout à fait aussi facile à réaliser que la gamme de Pythagore pour un musicien non accordeur. Elle fait en effet non seulement appel à la quinte et à l'octave justes mais aussi à la tierce naturelle. Or si l'octave et la quinte naturelles (sans battement) correspondent pratiquement à l'octave et à la quinte justes, il n'en va pas de même de la tierce naturelle qui nous paraît en général trop basse. C'est qu'en règle générale les musiciens d'orchestre libres de leurs fréquences ont plutôt tendance à jouer des tierces tempérées voire pythagoriciennes plus conformes à notre sens actuel de la justesse. La tierce naturelle ne fait donc pas partie de notre environnement habituel. Elle représente plutôt une exception : c'est, en effet, la plus petite des tierces majeures que nous sommes de temps à autre appelés à entendre pour des effets particuliers. Spontanément, nous pensons donc la tierce haute comme elle se présente dans la GBT, le TEQJ, voire même la gamme de Pythagore.

Il est cependant assez facile de réaliser une tierce naturelle à partir d'une tierce de Pythagore qu'on raccourcit progressivement jusqu'à l'annulation totale des battements. Encore faut-il pour cela entendre nettement les battements émis par une tierce pythagoricienne! Pour y parvenir, nous conseillons de s'entraîner d'abord à entendre les battements d'une 17ᵉ pythagoricienne résultant de 4 quintes justes successives comme, par exemple, SOL_1 SI_3 qui émet environ 6 battements par seconde faciles à entendre :

On baissera alors progressivement le SI_3 jusqu'à l'annulation totale des battements : à ce moment le SI_3 réel se trouvera à l'unisson du SI_3, 5ᵉ harmonique de SOL_1 et la 17ᵉ sera devenue naturelle ou zarlinienne.

Il faut prendre garde à ne pas baisser le SI_3 trop rapidement, sinon on risquerait de faire passer le SI_3 réel en dessous du SI_3 harmonique du SOL_1 et la 17ᵉ se mettrait à battre par défaut ou « à l'envers » comme disent certains accordeurs. Il est facile de savoir si un intervalle quelconque bat par défaut ou par excès : si, lorsqu'on baisse la note aiguë de l'intervalle, les battements se ralentissent, c'est que l'intervalle battait par excès. Si, au contraire, les battements s'accélèrent, c'est que l'intervalle était déjà trop petit et battait donc par défaut.

Après s'être entraîné sur la 17ᵉ pythagoricienne SOL_1 SI_3 qui bat environ à 6 à la seconde, on peut s'entraîner une octave plus haut sur la 17ᵉ pythagoricienne SOL_2 SI_4 qui bat à 12 en s'efforçant là encore d'annuler les battements. Lorsqu'on y parviendra sans difficulté, on passera à la tierce pythagoricienne SOL_2 SI_2 qui bat également à 12 mais dont les battements sont plus difficiles à percevoir. Dès qu'on arrivera à rendre zarlinienne ou naturelle, cette tierce, par annulation rigoureuse des battements, on sera capable de réaliser avec précision une gamme « naturelle ».

Partition de la gamme de Zarlin

Pour faire la partition de la gamme de Zarlin, il suffit de réaliser d'abord de DO_3 à DO_4, une gamme de Pythagore comme nous l'avons expliqué p. 243 puis de baisser les notes MI_3, LA_3 et SI_3 de façon à rendre les tierces DO_3 MI_3, FA$_3$ LA$_3$ et SOL$_3$ SI$_3$ naturelles, c'est-à-dire dépourvues de tout battement. Comme les notes MI$_3$, LA$_3$ et SI$_3$ seront toutes trois baissées d'un comma, il est évident que la quarte MI$_3$ LA$_3$ et la quinte MI$_3$ SI$_3$ devront rester justes : on contrôlera donc leur justesse caractérisée par une absence de battements. Par contre, en baissant la LA$_3$ pour obtenir une tierce majeure FA$_3$ LA$_3$ naturelle, on sera obligatoirement amené à fausser la quinte RÉ$_3$ LA$_3$ d'un comma : c'est la quinte sacrifiée de la gamme de Zarlin, sacrifiée sur l'autel de la tierce naturelle...

On accordera ensuite le reste de l'instrument par octave juste à partir des notes de la gamme ainsi réalisée en contrôlant la justesse des quintes et des quartes et également l'absence de battements sur toutes les tierces et sixtes majeures et leurs redoublements, en particulier les 10^e et les 17^e.

Accord zarlinien chromatique

Il est absolument impossible de réaliser un accord zarlinien chromatique qui permettrait de jouer dans une autre tonalité que DO majeur sur un instrument à clavier : non seulement il faudrait introduire de nombreuses notes altérées mais il serait impossible de conserver dans d'autres tons les notes de la gamme de DO majeur, aucune note n'occupant de position fixe dans le système zarlinien.

Comment disposer sur un piano de la gamme de Pythagore et de la gamme de Zarlin en même temps

Nous conseillons aux musiciens non accordeurs d'utiliser cette méthode pour comparer les gammes de Zarlin et de Pythagore. Elle a en effet l'avantage de permettre de disposer à la fois des deux gammes tout en évitant d'avoir à faire des unissons, ce qui permet d'éviter une des difficultés que présente l'accord du piano.

Dans un piano, il y a en général 3 cordes à l'unisson par note dans le médium et l'aigu, 2 cordes par note dans le grave et une seule dans les extrêmes basses.

Excepté pour l'extrême grave, il est donc possible d'accorder un piano à la fois dans la gamme de Pythagore et dans celle de Zarlin en réservant dans le grave et pour chacune des notes une corde pour Pythagore et l'autre pour Zarlin. Dans le médium et l'aigu, la première corde de chaque note sera accordée dans la gamme de Pythagore et la 3^e sera réservée à celle de Zarlin.

Avant d'accorder toutes les premières cordes de chaque note du médium et de l'aigu dans le système de Pythagore, on disposera toute une série de coins multiples à 13 branches[1] sur les notes du médium et de l'aigu afin de ne laisser libre que la première corde de chaque note. Pour cela il suffira d'introduire les branches du coin multiple entre la 2^e et la 3^e corde de chaque note afin de les étouffer. En allant vers l'aigu, il arrive que, faute de place, il soit difficile de placer le coin multiple au-dessus des marteaux; dans ce cas, on peut toujours le placer vers le bas des cordes en retirant le panneau inférieur du piano. Il n'est pas toujours possible de placer un coin multiple dans l'extrême aigu,

---

[1] Voir comment se servir de ces coins multiples, p. 79.

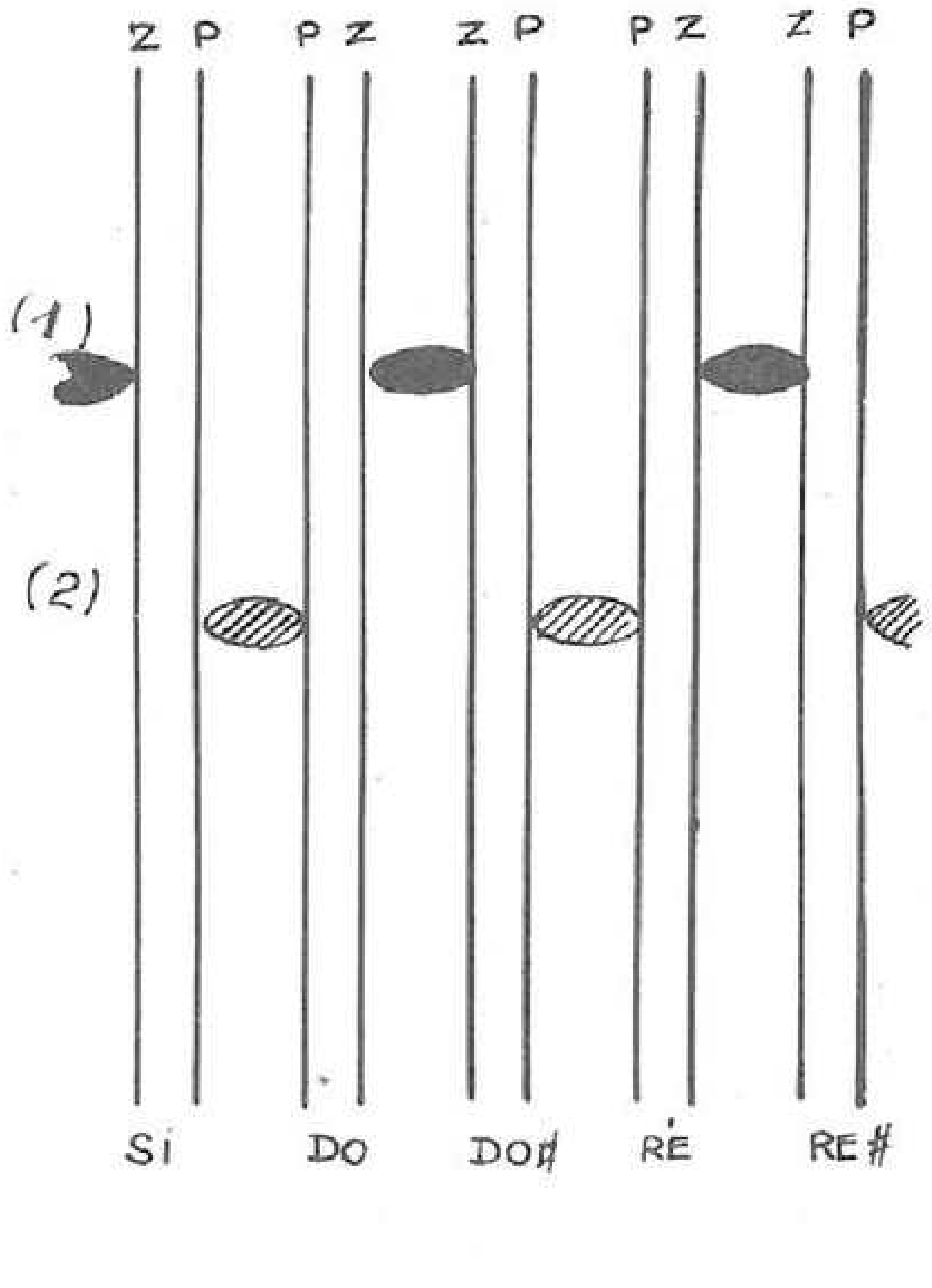
Toutes les premières cordes de chaque note étant accordées selon la gamme de Pythagore (voir p. 243), on disposera ensuite les coins multiples de façon à ne laisser libre que les 3ᵉ cordes qu'on accordera alors selon Zarlin (voir p. 256). Pour cela on introduira chaque branche du coin multiple entre la 1ʳᵉ et la 2ᵉ corde de chaque note.

Il suffira alors de déplacer les coins multiples pour disposer sur le piano, tantôt de la gamme de Pythagore, tantôt de celle de Zarlin.

Dans le grave, le problème se présente un peu autrement. Il n'est pas possible d'utiliser des coins multiples. On utilisera donc des coins simples en caoutchouc ou des bouts de feutre qu'on disposera, non pas entre tous les groupes de 2 cordes donnant une même note (car aucune corde ne serait alors libre!) mais toutes les 2 notes conformément au schéma suivant :

P. Corde accordée dans la gamme de Pythagore

Z Corde accordée dans la gamme de Zarlin



En plaçant les coins simples comme indiqué dans la position (1), on libère pour chaque note une des deux cordes qu'on destinera à l'accord selon la gamme de Pythagore, par exemple. En plaçant les coins dans la position (2), on libère l'autre corde qu'on accordera alors selon la gamme de Zarlin. On voit que ce sera alternativement la corde droite puis la corde gauche de chaque note qui se trouveront accordées dans le même système.

NB. – Les cordes réservées à la gamme de Zarlin ne seront pas toutes utilisées, puisque, ainsi que nous l'avons expliqué, il est impossible de définir un accord zarlinien chromatique permettant sur un clavier l'accès d'autres tons que celui de DO majeur.

III. LES MULTIPLES SOLUTIONS AU PROBLÈME DU TEMPÉRAMENT ÉGAL

LE TEMPÉRAMENT A DEMI-TONS PROGRESSIFS

Dès lors qu'on remet en question, comme nous l'avons fait pour élaborer la théorie du TEQJ, la justesse physique des octaves (voir dans la première partie de cet ouvrage, la « Théorie du TEQJ » à la page 38), il n'existe plus une solution unique au problème du tempérament égal (la GBTT) ni même deux (à savoir la GBTT où l'octave reste juste et où la quinte est raccourcie et le TEQJ où la quinte reste juste et où l'octave est agrandie) mais bien une infinité : toutes celles où la quinte est raccourcie sans l'être autant que dans la GBTT et où l'octave est agrandie sans l'être autant que dans le TEGJ. C'est à des solutions de ce type qu'aboutissent souvent empiriquement la plupart des bons accordeurs, ceux que leur instinct musical pousse à ne pas raccourcir les quintes autant que le voudrait la théorie traditionnelle de la GBTT.

Parmi toutes les solutions intermédiaires entre la GBTT et le TEQJ, l'une d'entre elles retiendra davantage notre attention : celle où la nécessité d'aboutir à un tempérament égal ne s'exerce pas davantage au détriment de la justesse physique de la quinte que de celle de l'octave mais où le prix à payer au tempérament paraît également réparti entre les deux intervalles. C'est précisément le cas lorsqu'on ne raccourcit la quinte que de 1 cent (au lieu de 2 dans la GBTT), ce qui permet de n'agrandir l'octave que de 1,7 cents (au lieu de 3,4 dans le TEQJ). Une octave et une quinte ayant la même note de basse présentent alors la même rapidité soit, par exemple, 0,3 battement par seconde (1 battement toutes les 3 secondes) pour des intervalles du médium comme FA_2 FA_3 et FA_2 DO_3, ce qui est pratiquement imperceptible. On a alors l'illusion, tout au moins au niveau du médium, qu'on peut parvenir à un tempérament égal en maintenant à la fois toutes les quintes et toutes les octaves justes, ce qui est théoriquement et mathématiquement impossible!

Cependant en montant vers l'aigu, l'oreille réclame, à coup sûr, un agrandissement de l'octave plus marqué que celui que présente l'accord intermédiaire décrit ci-dessus, agrandissement auquel répond beaucoup mieux, à notre avis, le TEQJ. Par ailleurs, si le raccourcissement des quintes de cet accord intermédiaire reste pratiquement imperceptible dans le médium, il finit par devenir sensible lorsqu'on se dirige vers l'aigu puisque les battements des quintes (comme ceux de tous les autres intervalles) doublent en rapidité lorsqu'on franchit, en allant vers l'aigu, une distance d'octave. Aussi pensons-nous que vers le médium aigu (au niveau de LA_4 environ), il convient de toute façon de rétablir la justesse des quintes et d'agrandir les octaves en conséquence comme dans le TEQJ.

C'est pourquoi nous avons récemment défini et réalisé un accord où la quinte, raccourcie de 1 cent dans le médium (comme dans l'accord intermédiaire décrit ci-dessus), recouvre progressivement sa justesse pour l'atteindre au niveau de LA_4 et l'outrepasser ensuite. Au lieu de s'accélérer en allant vers l'aigu, comme dans l'accord intermédiaire décrit ci-dessus, les battements de quinte presque imperceptibles dans le médium ($R = 0,3$) deviennent au contraire de plus en plus lents pour s'annuler complètement à la hauteur de la quinte LA_4 MI_5; l'octave bat au contraire de plus en plus pour retrouver sur l'octave LA_4 LA_5 la grandeur qu'elle présente dans le TEQJ et l'outrepasser un peu dans l'extrême-aigu. Nous avons appelé ce tempérament, « tempérament à demi-tons progressifs » ou « tempérament en expansion » puisqu'il suppose un agrandissement progressif quoique totalement imperceptible des demi-tons lorsqu'on se dirige vers l'aigu.

En résumé, un tel accord présente la caractéristique et peut-être l'avantage de faire porter le poids du tempérament à la fois sur la quinte et sur l'octave dans le médium, en les « tempérant » de façon quasi imperceptible, tout en rétablissant vers l'aigu un agrandissement suffisant de l'octave. Cet accord présente cependant, à notre avis, deux inconvénients :

– Il écarte de nouveau (quoique moins que lorsqu'on réalise la GBTT) l'accord du piano de la justesse orchestrale. Les différences restent certes imperceptibles, cette fois au niveau des quintes. Mais elles sont perceptibles sur les grands intervalles, comme les 17^e majeures, par exemple, qui résultent de la somme de quatre quintes : les 17^e présentent en effet une rapidité moindre et donc une couleur différente que lorsque les quintes sont toutes rigoureusement justes comme dans le TEQJ. L'équilibre entre le médium et l'aigu est donc sensiblement modifié dans un sens qui ne favorise pas le piano lorsque celui-ci est confronté à l'orchestre. Dans un tel cas, il est à coup sûr préférable que le piano soit aligné du grave à l'aigu sur le cycle des quintes justes de l'orchestre, c'est-à-dire accordé au TEQJ. S'il faut en effet pêcher dans l'agrandissement des octaves, il vaut mieux que ce soit par excès que par défaut. Dans le premier cas, on trouvera le piano brillant, à la rigueur un peu haut, dans le second, on le trouvera tout simplement faux ! Tous les instrumentistes d'orchestre, les violonistes en particulier, connaissent bien ces paradoxes de la justesse : on « risque » moins à jouer trop haut que trop bas, ce qui les conduit parfois à « pousser les aigus », comme ils disent, un peu plus qu'il ne conviendrait !

– Il ne présente pas à un même niveau que le TEQJ d'intervalles dont les rapidités sont isochrones ou quasi isochrones et favorise donc moins dans le médium l'émergence des jeux d'harmoniques dont on sait qu'ils jouent un rôle important dans la sonorité de l'instrument.

Par contre le tempérament à demi-tons progressifs n'est guère plus difficile à réaliser que le TEQJ, comme nous le verrons dans notre futur « Traité d'accord » où nous donnerons la description détaillée de ce tempérament ainsi qu'une méthode pratique pour parvenir à accorder ainsi un instrument à clavier.

PROTECTION DU TEMPÉRAMENT ÉGAL A QUINTES JUSTES OU TEQJ

Le tempérament égal à quintes justes fait l'objet d'un Brevet de Marque « Accord Cordier – Tempérament égal à quintes justes » sous le numéro 1.126.245 à l'Institut national de la Propriété industrielle.

N'importe quel accordeur ou musicien peut naturellement se servir du présent ouvrage pour accorder ou tenter d'accorder un piano selon le tempérament égal à quintes justes. Mais personne ne pourra s'en réclamer publiquement ou commercialement sans l'assentiment de Serge Cordier. Il s'agit d'éviter que des personnes insuffisamment exercées ou incompétentes ne présentent sous le nom d'« Accord Cordier » ou de « Tempérament égal à quintes justes » des contrefaçons imparfaites de ce nouveau système d'accord.

EXTRAITS D'APPRÉCIATIONS SUR LE TEMPÉRAMENT ÉGAL A QUINTES JUSTES

... La méthode d'accordage que préconise M. Cordier conduit donc pratiquement aux mêmes hauteurs que les méthodes classiques. Les faibles différences sont insensibles sur une ligne mélodique, mais ont sur la sonorité une influence que plusieurs musiciens, comme Yehudi et Hepzibah Menuhin, ont jugée très bénéfique.

Il est vrai que, avec ses quintes justes, la gamme de M. Cordier se rapproche de celle utilisée en pratique par les violonistes, et, partant, par l'orchestre. Le violon, l'alto, le violoncelle ont quatre cordes, chacune donnant la quinte de la précédente. Quant l'exécutant accorde son instrument, il tend à faire des quintes naturelles et non des quintes de la gammes tempérée. Il est aussi bien connu que les chanteurs, les violonistes et de manière générale tous les instrumentistes qui peuvent faire varier la hauteur des notes tendent à hausser les notes diésées, à baisser les notes bémolisées, à rapprocher la sensible de la tonique... Dans la majorité des cas, ces effets tendent à dilater les intervalles. L'accordage que pratique M. Cordier rapproche les notes du piano de celles qu'ils ont tendance à faire, et c'est sans doute pourquoi un directeur de conservatoire a parlé d'une sensation de confort en écoutant un piano ainsi accordé.

M. A.

Extrait d'un article paru dans *Le Monde*
du 11 mai 1977.

Écrire sur un accord est presque vain. Seule la fréquentation assidue de ce monde sonore, dans les situations les plus diverses, permet d'en apprécier les richesses. Pourtant quelques remarques, disparates et anecdotiques, permettront peut-être de saisir certaines influences de l'accord sur l'interprétation.

La grandeur de l'octave de l'accord « Cordier » rend très perceptible sa qualité d'intervalle. Dans bien des œuvres romantiques (de Liszt notamment), l'oreille percevra bien sûr coloration ou épaississement, mais surtout un très net élargissement de l'espace musical. Les dispositions des redoublements harmoniques de Schubert seront « explicitées » acoustiquement.

D'une manière plus générale, la grandeur des intervalles (en particulier de la quinte pour la musique classique) permet aux harmonies de « respirer ».

La tension acoustique de la seconde mineure est considérable. Elle « illustrera » le rôle privilégié de cet intervalle dans la musique tonale.

La seconde majeure, très forte elle aussi, donne leur relief aux dispositions harmoniques en seconde collées de Debussy et anime singulièrement la gamme par tons.

Une superposition de tierces mineures (académiquement dénommées « accord de septième diminuée ») constitue un ensemble remarquablement équilibré. Voilà une « justification acoustique » du parallélisme fonctionnel des tierces mineures dans le langage de Bartok, et naturellement une aide précieuse pour l'interprétation de ce compositeur. La même remarque s'applique très évidemment au triton.

La tierce majeure, qui au premier abord paraît « fausse » isolément (moins lumineuse et flatteuse), s'intègre beaucoup mieux à une superposition d'intervalles, et prend alors sa place grâce à sa relation très naturelle avec les autres intervalles.

Élargissons cette notion : l'accord de Serge Cordier me semble favoriser la perception de l'intervalle en tant que tel, d'apprécier son « individualité » dans l'intégration au tout et la qualité de cette intégration. Ainsi toute superposition d'intervalles pourra être très aisément « analysée » par l'oreille. Un accord dit « consonnant », même avec de nombreux redoublements, sera autant perçu comme un ensemble d'intervalles, tous parfaitement « définis ». En même temps on observe un enrichissement de l'accord grâce à la force confrontée de chaque intervalle. D'où une qualité d'équilibre particulièrement frappante dans le cas des accords communément dénommés dissonants.

Ce ne sont que quelques remarques. Mais seule la familiarisation avec l'accord de Serge Cordier permet bien sûr d'en apprécier les qualités. C'est pourquoi j'encourage vivement le lecteur à tenter cette expérience. Son oreille et son sens musical auront toutes les chances d'en sortir enrichis.

Pierre-Laurent AIMARD
Pianiste
Ensemble intercontemporain

... Votre mode d'accordage des pianos est celui qui me paraît être le plus adapté à la mise en valeur des harmoniques naturels. Cet aspect fondamental de l'accord à quintes justes rapproche la résonance globale des instruments ainsi accordés de celle de l'orchestre. Car les sons ne semblent pas comprimés comme dans l'accord à quintes tempérées. Par ailleurs cette technique d'accordage permet d'aborder également tous les sons avec la même richesse de timbre. Enfin cet accord fournit sur le plan pédagogique un moyen de donner aux débutants et aux jeunes enfants l'habitude d'une justesse non déformée...

Solange ANCONA
Compositeur
Prix de Rome

... Depuis les débuts de l'orchestre de Montpellier-Languedoc-Roussillon, nous travaillons en étroite collaboration avec Serge Cordier, non seulement pour l'accord de nos pianos de concert, mais pour que l'équilibre Soliste-Orchestre donne les meilleurs résultats.

Le « tempérament égal à quintes justes » donne aux uns et aux autres toute satisfaction.

Nos solistes, en Récital ou en Concert avec orchestre, ne connaissant pas encore cette technique, en ont, dans tous les cas, reconnu l'efficacité. Nos instruments sonnent mieux qu'avec les accords classiques.

Louis BERTHOLON
Chef d'orchestre
Directeur de la Musique au Théâtre de Montpellier

... La manière d'aborder l'accordage du piano de Serge Cordier m'a plu et vivement intéressée.

Serge Cordier met le pianiste devant une plus grande responsabilité vis-à-vis de son instrument, exige de lui une connaissance plus approfondie du piano et de son histoire dans la recherche du tempérament...

Sylvaine BILLIER
Pianiste
Professeur au Conservatoire National Supérieur de Paris

Il résulte de la complexité de la musique que la hauteur des notes n'a pas de place fixe, parce qu'elles sont toujours adaptées aux différentes situations musicales. On entonne autrement une mélodie en chantant ou en jouant seul qu'à plusieurs voix, en compagnie d'autres musiciens.

L'inconvénient des instruments à clavier est que l'on ne peut pas corriger leur accord pendant le jeu; on est donc obligé de se tourner auparavant vers un système précis d'accord. Il ne peut pas y avoir d'accord idéal pour les instruments à clavier. Tout ce qu'on peut faire c'est, dans un contexte musical déterminé, d'opter pour un système d'accordage ou un autre...

... Nous nous sommes habitués depuis deux cents ans à l'accord tempéré en usage de nos jours. Pour mieux dire, non pas à l'accord, mais au caractère qui naît de cet accord. La sonorité actuelle du piano, plutôt « agitée », pleine de fortes interférences, une fois acceptée, on l'a considérée comme l'une des caractéristiques du piano...

... L'accord « tempéré » en exécution collective avec des chanteurs, des chœurs, des instruments à cordes et à vent reste toujours un compromis à l'égard d'une saine audition.

C'est justement dans cette mesure que nous voyons beaucoup d'avantages au tempérament égal à quintes justes pour l'accord des pianos. Dès l'abord cet accord apparaît plus proche du sentiment des intervalles chantés ou représentés intérieurement :

– les différents intervalles apparaissent sous des aspects vraiment différents, exactement comme on le fait quand on compose, intervalles qui dans le tempérament traditionnel sont complètement uniformisés.

– les structures harmoniques et les accords agissent d'une façon plus égale, plus calme, plus claire, plus stable.
– l'accord par quintes justes engendre un effet sonore transparent et paisible; lors d'une exécution de musique de chambre, il s'adapte mieux par essence et sert mieux les compositions, parce que ses structures harmoniques apparaissent essentiellement plus justes...

... On ne peut qu'espérer qu'un nombre d'oreilles de plus en plus grand se décidera pour ce système d'accordage du piano. Puissions-nous, à partir de l'ère de la sonorité « agitée » parvenir à l'âge de la sonorité claire et paisible.

Pi-hsien CHEN et Peter EÖTVÖS
Pianiste
Compositeur – Chef d'orchestre
Ensemble Intercontemporain

Nous avons eu l'occasion de jouer en trio avec piano accordé dans le tempérament égal à quintes justes. Ce système nous semble parfait pour notre formation puisque nous retrouvons la même justesse que celle des cordes. D'autre part, la sonorité du piano se retrouve très sensiblement enrichie quand l'instrument est accordé de cette façon; on retrouve alors une résonance très proche de celle de l'orchestre.

Le Clavier Trio Français
Susan CAMPBELL piano
Bernard MAUPIN violon
Yves POTREL violoncelle

Merci de tout cœur et bravo!...

György CZIFFRA
Pianiste

... En ce qui concerne votre travail à propos du problème de l'accord en quintes justes, vous savez combien je suis intéressé et satisfait de ce que j'ai pu entendre; je vous autorise, bien sûr, à faire mention de ce satisfecit...

Michel DECOUST
Compositeur
Chef d'orchestre

M. Serge Cordier ayant eu l'occasion d'accorder mon clavecin, j'ai pu constater les remarquables qualités musicales de son accord qui met en relief la profondeur, la rondeur de la sonorité de l'instrument.

Michèle DELFOSSE
Claveciniste

... Si sur le plan théorique, le nouveau système d'accordage par quintes justes de Serge Cordier présente l'avantage d'une grande simplicité, il a surtout sur le plan musical, celui d'améliorer la sonorité et la musicalité des pianos, et c'est, en définitive, ce que retiendront les pianistes et tous les musiciens.

Lucette DESCAVES
Pianiste – Professeur au CNS. Paris

... Étant très attaché aux sonorités « orchestrales » que l'on peut tirer du piano, je suis très sensible aux recherches que Serge Cordier effectue dans le domaine de l'acoustique et qui tendent à rejoindre une esthétique du son proche de la mienne, notamment en ce qui concerne le répertoire piano et cordes, piano et vents, ou encore piano et orchestre.

En tant qu'interprète qui reste encore très souvent sur sa faim devant bon nombre de pianos, je ne puis que me réjouir à la perspective du débat que Serge Cordier ouvre avec tant de foi et de passion, et qui permettra peut-être de mettre en valeur la « personnalité » de chaque instrument, et d'entraîner ainsi le plus grand nombre d'auditeurs possible vers la magie des sons et des vibrations.

François-René DUCHABLE
Pianiste

Le résultat de cet accord est absolument remarquable de justesse et de beauté.

Enfin des quintes et des octaves justes!

En tant que compositeur et particulièrement sensibilisé à tous les problèmes du tempérament, je tenais à vous exprimer ma plus vive admiration pour votre travail. Je pense que la quasi-totalité des accordeurs ferait bien de s'en inspirer!

Pascal DUSAPIN
Compositeur
Prix de Rome

Laissez-moi vous dire tout l'intérêt que j'ai pris aux nombreuses explications techniques que vous avez bien voulu me donner au sujet de vos recherches concernant l'accord des pianos.

J'ai été particulièrement frappé des résultats que vous avez obtenus sur mes instruments : le son paraît plus rond, plus riche, et plus les harmonies sont nombreuses, plus elles paraissent veloutées et indiscutables.

J'ai noté également la parfaite identité de vos interventions, dues probablement au caractère mathématique de vos principes...

Pierre FARAGGI
Pianiste

J'ai fait accorder mon piano dans le système mis au point par Serge Cordier, le tempérament égal à quintes justes. Je trouve que sa sonorité a beaucoup changé, et ce, sans que l'harmonisation soit modifiée. Je trouve le son plus coloré, brillant et contrasté, et les accords me paraissent avoir une résonance plus naturelle. Les qualités de cet accordage conviennent en outre à tout le répertoire, de Bach à la musique contemporaine, ce qui l'adapte très bien aux concerts de piano. Je peux dire que mon piano ainsi accordé sonne merveilleusement.

Kazuoki Fujii
Compositeur
Pianiste

Je suis enthousiasmé par l'accord de mon piano selon votre méthode du tempérament égal à quintes justes. Pour la première fois il répond à mes exigences musicales : le même passage, joué dans des tonalités différentes, s'harmonise toujours aussi agréablement, ce qui n'a pas été le cas de nombreux pianos que j'ai joués en concert.

Entendre la même harmonie dans les registres les plus éloignés prouve une satisfaction, un bien-être musical que je n'avais jamais rencontrés : dans ses dernières sonates, Beethoven éloigne à l'extrême les deux mains sur le clavier. La critique d'une justesse approximative due à sa surdité est annulée par votre façon d'accorder. Rehausser les aigus et abaisser les graves au-delà des lois mathématiques répond à l'anticipation naturelle de l'oreille.

Permettez-moi de vous dire toute mon admiration pour la finesse de la mise au point d'une méthode traditionnelle, puisque c'est celle des cordes, jusqu'ici mal comprise. Je souhaite que tous les accordeurs d'instruments à clavier adoptent votre méthode.

André Gorog
Pianiste

A mon vieil ami et bien-aimé Érard, bientôt centenaire, vous avez redonné une jeunesse ! les aigus ont retrouvé un éclat et une vie que je ne leur connaissais plus.

Je pense que cet accord est surtout remarquable sur le plan du brio. Avec mes félicitations.

Eric Heidsieck
Pianiste

Je soussigné Christian Ivaldi, professeur au Conservatoire national de Musique de Paris, déclare avoir confié mon piano « Kawaï » à Serge Cordier pour un accord-réglage. La qualité de son travail m'a convaincu de l'efficacité de la méthode qu'il met en application et je serais heureux, dorénavant et dans la mesure de ses disponibilités, de lui confier le soin d'entretenir mon piano.

Christian Ivaldi
Pianiste

... Nous avons des pianos qui sonnent merveilleusement et, depuis votre passage, soyez assuré que nous les avons fait fonctionner.

Je ne pensais pas que mon vieux Pleyel puisse encore à ce point ressembler à un instrument de musique civilisé *(sic)*. Il est vrai que lorsque vous l'avez trouvé, il pouvait à la rigueur servir pour des cours d'ethno-musicologie! A présent je peux imaginer les sonorités d'un futur quatuor à cordes, grâce à des quintes justes qui ont l'air de bien tenir le coup dans leur justesse retrouvée...

Mais le grand Kawaï, tout neuf, là vraiment, c'est plaisir de l'entendre. J'ai toujours aimé ce piano et j'avais toujours eu l'impression qu'il n'avait jamais pu donner tout ce qu'il pouvait...

Pierre JANSEN
Compositeur

Nous vous remercions vivement pour l'excellent travail que vous avez réalisé sur les pianos de notre Conservatoire et tout particulièrement pour votre accord égal à quintes justes qui nous a donné entière satisfaction.

Martine JOSTE et l'ensemble de nos professeurs se joignent à moi pour vous assurer de leur soutien dans ce procédé d'accord que nous avons pleinement apprécié et pour lequel nous vous félicitons...

Irène JARSKY
Cantatrice
Directrice du Conservatoire de Pantin

... Je dois dire que je suis enchantée du résultat sonore que donne ce deuxième accord fait par vous sur mon piano. Il me semble d'une richesse qu'il n'a jamais eue auparavant... Sans doute, cet accord met-il en vibration des harmoniques habituellement bridées. Mon oreille est charmée, car j'entends là des sonorités nouvelles très riches, très chaudes, qui me plaisent infiniment...

Claude LAVOIS
Pianiste

Je me déclare très satisfait des accords réguliers que M. Cordier, d'Alès, fait sur mon piano. Mon oreille et mon sens musical sont comblés par ce système de réalisation des quintes justes.

Pierre LECOMTE
Pianiste

Je ne puis parler de l'excellence des principes sur lesquels s'appuie le système personnel de Serge Cordier. Je ne puis parler que de leurs résultats tout à fait positifs. J'ai été enchantée de retrouver mes pianos parfaitement accordés avec un son plus pur, plus rayonnant, qui a d'ailleurs frappé plusieurs élèves lorsqu'ils ont joué sur l'un ou l'autre de ces pianos.

Je remercie Serge Cordier et le félicite chaleureusement, ayant grandement apprécié ses mérites, et de tout mon cœur, je souhaite la réussite de ses projets, notamment en ce qui concerne la création d'une école d'accord.

Yvonne LEFEBURE
Pianiste – Professeur au CNS Paris

Je soussigné, LEIPP Émile, Maître de recherches au CNRS et Directeur du Laboratoire d'Acoustique de l'université de Paris VI, atteste par les présentes avoir invité Serge CORDIER d'Alès, à nous faire un exposé à la réunion de notre GROUPE D'ACOUSTIQUE MUSICALE, le 8 novembre 1974. J'ai pu apprécier la clarté des idées exprimées et des démonstrations faites. Serge CORDIER a accordé le piano du Laboratoire (PLEYEL) selon sa méthode, devant nous, et je dois dire que l'expérience était convaincante, montrant en particulier que la technique d'accordage considérée permettait d'atteindre non seulement à une sensation de « justesse », mais aussi à une « sonorité » particulière, vivante, dont le secret gît dans la réalisation de familles de battements qui effectivement, nous le savons, donnent « de la vie » aux sons, et que nos méthodes d'analyse mettent bien en évidence. Je me fais un plaisir de délivrer cette attestation, l'occasion étant donnée de faire des compliments à quelqu'un qui sait concilier à la fois la pratique et la théorie de son art.

Émile LEIPP
Directeur du Laboratoire d'Acoustique
de Paris VI
Maître de recherches au CNRS.

Depuis longtemps je voulais vous envoyer quelques lignes dont vous puissiez faire état pour vous dire le bien que je pense de votre pratique d'accordage. Non seulement elle est satisfaisante sur le plan intellectuel, mais surtout les résultats sont convaincants. Mon piano a gagné en « luminosité » depuis votre intervention. Continuez à secouer les routines, cela en vaut la peine; mais il faudra secouer fort!

François-Bernard MACHE (compositeur)

Mon frère, Yehudi Menuhin, et moi-même, avons joué au festival de Gstaad le 12 août 1975, et j'ai utilisé le piano Steinway accordé par quintes justes selon la méthode de Serge Cordier.

Je n'ai jamais entendu un piano plus parfaitement accordé aux vibrations du violon, aucun qui soit plus facile à jouer et apporte plus de satisfaction à l'interprète.

Je n'hésite pas à dire que les pianos accordés selon cette méthode servent mieux l'idéal musical que ceux qui le sont selon le procédé habituel.

La grande difficulté, comme dans toutes les innovations majeures, va être de persuader les esprits traditionalistes de donner à l'expérience toutes ses chances de faire ses preuves, et il faut espérer que les grandes Maisons de piano auront à cœur d'expérimenter dans cette direction. En réalité, il y a quelque raison de croire que les plus grands accordeurs font déjà par instinct ce que Serge Cordier a confirmé par la science.

C'est avec le plus grand plaisir que je recommande sans réserve cette méthode d'accordage.

Hepzibah MENUHIN
Pianiste

Après quelques jours d'utilisation du piano que vous avez accordé selon votre système, je tiens à vous dire toute ma satisfaction.

C'est un plaisir de travailler sur un instrument qui sonne aussi rond, aussi plein!

Il ne m'appartient pas d'analyser la base théorique de votre accordage, mais j'en apprécie vivement le résultat sur le plan de la couleur et de l'expression.

Je souhaite que votre recherche intéresse de nombreux techniciens, pour le plus grand profit des musiciens exigeants...

Dominique MERLET
Pianiste – Professeur au CNS Paris

Le plaisir qu'éprouve un pianiste à jouer sur un instrument accordé par Serge Cordier est extrême.

En l'occurrence, point de clavier « trop bien tempéré » synonyme de platitude.

Le piano chante naturellement et l'exécutant n'a pas à compenser par des artifices les déficiences de l'accord. Car, en favorisant les quintes justes et en organisant subtilement les familles de battements, Serge Cordier choisit une des meilleures alternatives au problème quasi insoluble du tempérament.

Alliant la science de l'acoustique à la finesse d'une oreille particulièrement attentive, Serge Cordier est, dans le domaine raffiné de l'accordage, un maître et un artiste.

Alain MOTARD
Pianiste

... Je n'ai prêté qu'une oreille distraite aux références mathématiques, mais cette oreille, par contre, a été subjuguée par la suite.

Notamment par quelques mesures de Schumann que M. Cordier fit entendre en guise de contrôle du minutieux travail accompli sur mon Bechstein deux heures plus tôt; et surtout (je cherche un superlatif à ce surtout), lorsque prenant mon violon, je jouai avec lui une des six sonates de Bach avec basse continue.

J'avais, de tout temps, au long de ma carrière de quartettiste, constaté comme tous mes partenaires de trio ou de quatuor à cordes, combien il est aisé de trouver son équilibre de justesse au sein de ces ensembles, et difficile, pour ne pas dire impossible, dès qu'un piano leur était adjoint ou que je me produisais en sonates piano et violon.

Hier soir, ce fut pour moi une révélation de retrouver par la magie d'un système d'accord différent le plaisir, le confort que me donnait seul jusqu'ici, l'encadrement des instruments d'une même famille.

L'octave juste (légèrement injuste), altérée d'une fraction de comma qui n'est pas très perceptible, produit en contrepartie plus de musicalité, plus de chaleur, plus de profondeur de son, plus de relief qui compense très largement cette infime inexactitude...

Jacques MURGIER
Compositeur – Violoniste – Directeur du Conservatoire
National de Région de Reims

... L'accord du magnifique Bösendorfer du Théâtre d'Alès, effectué par Serge Cordier, m'a donné entièrement satisfaction et n'est pas étranger au plaisir que j'ai eu de jouer sur cet instrument.

Alain NEVEU
Pianiste
Ensemble intercontemporain

J'ai été heureux de votre passage à Marseille, et je tiens à vous dire que je suis enchanté de l'accord que vous avez réalisé sur mon piano suivant votre partition par quintes justes. Le piano sonne comme il n'a jamais sonné, de façon à la fois très vivante et très naturelle et je me régale d'y jouer des musiques très diverses. Plusieurs amis pianistes ou musiciens sont d'ailleurs de mon avis.

Je vous adresse ci-joint quelques copies d'articles liés aux problèmes d'intonation ou d'inharmonicité. Il faudra que je vous adresse aussi un article sur la perception de l'octave (l'octave subjective est plus grande que l'octave physique)...

Jean-Claude RISSET
Compositeur
Chercheur en acoustique
Professeur à la Faculté des Sciences de Luminy

Pour situer avec sagesse le travail de Serge Cordier, il faudrait remonter aux sources de la perception dans les profondeurs du mental et là, quand, après avoir navigué sur les lacs abyssaux dans quelque barque inquiétante, nous aurons visité tour à tour les rives de la « trompeuse réalité » aristotélisienne, de la « limitative objectivité » cartésienne, du « délirant rationalisme » kantien et exploré tous les rêts de la communication entre la technique et la sensation, il faudra convenir, à la fois informé et surpris, de la relativité des échelles numériques vis-à-vis de notre oreille psychologique.

Rien ne va dans l'univers mental autrement que bousculé entre la volonté de comprendre et le pouvoir de sentir. Alors qu'est-ce que la justesse?

Un compromis permanent entre l'évaluation mathématique des vibrations, elles-mêmes continuellement habitées par les partielles dont le rôle se définit autant dans le « spectre » que dans l'imagination, et la vocation de construire une graduation selon des paramètres sensoriels liés aux langages, aux cultures et à l'esthétique.

Le mérite du système de Serge Cordier est d'avoir, dans l'obscure forêt du fanatisme et de l'obstination, tracé un chemin qui honore le chiffre en même temps qu'il respecte le ciel de l'audition.

Embrassant un très petit registre, l'oreille humaine réclame ses privilèges sans lâcher la moindre aumône à toutes les misères que l'art musical remue dès qu'il pratique des associations de sons. Ici une remarque à la fois scientifique et philosophique qui concerne la nature des phénomènes appréhendés par l'oreille : le temps de déplacement des ondes lentes et des ondes rapides dans l'espace est sensiblement le même. Mystérieuse mesure où il semble que les fréquences basses accélèrent leur mouvement pendant que les hautes ralentissent le leur pour se retrouver ensemble sur la même cinétique. Le son ne serait-il donc qu'une énergie dont la qualité spécifique consisterait uniquement dans sa vitesse de voyage?

Par le procédé des quintes plus stable et plus riche que le rapport d'octave, trop plat quand il est vrai et qui, par le tempérament, comprime injustement les divisions intérieures, les recherches de Serge Cordier ont abouti à une logique convaincante étayée par le témoignage des nombres et qui se trouve en sympathie avec les oreilles les plus exigeantes. Le chromatisme s'en trouve mieux équilibré, plus authentique, et les aigus plus brillants, ce qui entre autres avantages conforte l'écriture contemporaine dont l'utilisation de l'extension vers les hautes fréquences explore une zone nouvelle.

Il y a là une ouverture qui, à mon sens, est de nature à prolonger la permanence de l'usage des échelles qui tendraient à disparaître de l'imagerie sonore si de telles améliorations n'étaient pas agréées par la société des musiciens.

Merci à ce découvreur que je qualifierais volontiers d'inventeur si ce mot ne risquait d'être une contradiction avec la réalité fondamentale de sa recherche.

Et pour terminer ce plaidoyer, un vœu; celui de voir s'étendre ce regard « auriculaire » sur les gammes exotiques pour y trouver à travers une analyse aussi pythagoricienne que ethnique les raisons de ce qui nous semble encore aujourd'hui anarchique. Je veux parler par exemple de l'absence de répétition de l'organisation de l'entité d'octave dans les musiques africaines, de la division non arithmétique des anciennes gammes chinoises, des curieuses partielles des flûtes en bois d'Amazonie et des accordages des gamelans balinais si subtils. Si l'Europe se prétend la tête de notre civilisation culturelle, elle a le devoir spirituel de se pencher sur son corps.

Patrice SCIORTINO.

Je constate que les vibrations révélées par cet accordage font chanter davantage l'instrument et donnent à l'interprète une nouvelle possibilité dans le répertoire pianistique.

Depuis cette expérience, je fais toujours accorder mon piano selon cette méthode du tempérament à quintes justes.

Catherine SILIE
Pianiste

CET OUVRAGE
A ÉTÉ COMPOSÉ
ET ACHEVÉ D'IMPRIMER
PAR L'IMPRIMERIE FLOCH
À MAYENNE LE 6 AVRIL 1982

Nº d'éd. 1205. Nº d'impr. 19705.
D. L. : avril 1982.
(Imprimé en France)

Serge Cordier a imaginé et réalisé un nouveau système d'accord des instruments à clavier, le tempérament égal à quintes justes. Ce système, qui justifie les anomalies apparentes du comportement des meilleurs accordeurs, est conforme à l'idéal de justesse des musiciens actuels libres de leurs fréquences (les « cordes » par exemple). Il permet à l'accordeur de tirer le meilleur parti de chaque instrument et d'en faire valoir magnifiquement les qualités sonores.

« De DO♯ ou de RE♭, quelle est la note la plus haute ?
— C'est DO♯, affirment le chanteur ou le violoniste.
— Pas du tout, c'est RE♭, réplique le physicien.
— Mais voyons, s'écrie le pianiste, DO♯ et RE♭ c'est la même chose puisque je le joue avec la même touche ! »

Si de telles disputes de sourds durent depuis plus de trois siècles, c'est sans doute que le problème de la justesse était jusqu'ici mal posé, chacun des chercheurs n'envisageant jamais qu'un seul aspect de la question.

La chance de Serge Cordier est sans doute d'être au carrefour de plusieurs cultures. Il possède en effet, outre la solide culture scientifique nécessaire, la culture artistique du pianiste et du professeur de musique, la culture historique du musicologue, enfin la culture d'oreille très spécialisée de l'accordeur professionnel. Cette rencontre lui a permis, à partir de l'observation attentive du fait musical et après une longue et patiente réflexion, d'élucider la plupart des énigmes posées par le problème de la justesse.

ÉDITIONS BUCHET/CHASTEL 18 rue de Condé 75006 PARIS

Dessin de couverture : Henri Bouchicot.

IMP. GROU-RADENEZ - PARIS 6

Prix : 130 F