

# **La justesse musicale**



**par Serge Cordier**

# **CONFÉRENCE**

## **de Serge CORDIER**

**CONFÉRENCE DONNÉE LE 5 SEPTEMBRE 1991**

**À L'UNIVERSITÉ D'ÉTÉ « TECHNIQUE DE LA DIRECTION DE CHOEUR »**

**LE CHAMBON-SUR-LAC (Puy de Dôme)**

**In « Actes des Universités d'été 1991-92-93 »**

**Éditions du CRDP, 15 Rue d'Amboise, Clermont-Ferrand**

## LE TEMPÉRAMENT ÉGAL À QUINTES JUSTES EST-IL UN NOUVEL ACCORD DU PIANO OU UNE NOUVELLE THÉORIE DE LA JUSTESSE MUSICALE, QU'ELLE SOIT PIANISTIQUE, VOCALE OU ORCHESTRALE ?

La conférence que j'ai donnée le 5 septembre 1991 à l'Université d'Été du Chambon-sur-Lac, s'inscrit dans le cadre d'une série de conférences destinées à faire connaître un nouvel accord du piano : le "Tempérament Égal à Quintes Justes ou TEQJ". On sait en effet que l'accord traditionnel du piano appelé "gamme tempérée" ou "gamme bien tempérée" est fondé sur le tempérament de la quinte, c'est-à-dire sur l'altération de cet intervalle : la théorie traditionnelle postule qu'il est impossible de maintenir les quintes justes sur un instrument à clavier, du moins si l'on veut pouvoir aborder tous les tons en limitant seulement à 12 le nombre de notes par octave. C'est pourtant parfaitement possible et, si j'en juge par la presque unanimité des réactions favorables à cet accord *\*note 1 (voir les notes en fin d'exposé)* c'est même une bien meilleure solution que celle qui consiste à raccourcir les quintes pour obtenir ce résultat : les auditeurs de l'Université d'Été ont d'ailleurs pu en juger par eux-mêmes à la suite de l'interprétation d'une sonate de Scarlatti par June PANTILLON sur un piano que j'avais préalablement accordé en TEQJ *\*note 2*.

Pourquoi cet accord sonne-t-il plus juste que l'accord connu traditionnellement sous le nom de gamme tempérée et pourquoi, si un tel accord est possible ne l'a-t-on pas découvert et pratiqué plus tôt ? Telles sont bien les deux questions qui viennent immédiatement à l'esprit.

Avant d'y répondre et pour mieux situer le problème, j'ai tenu à porter à la connaissance de mes auditeurs un autre fait, non moins significatif : depuis quelques décennies, des acousticiens mais aussi des musiciens ont remarqué que l'échelle des fréquences d'un piano bien accordé s'écartait sensiblement de l'échelle des fréquences de la gamme tempérée : ces dernières correspondent, rappelons-le, au partage strict de l'octave juste en 12 demi-tons égaux *\*note 3*. Les bons accordeurs - écrit ainsi E. LEIPP dans "Acoustique et Musique" Edition Masson, 1988 - n'accordent pas du tout "tempéré" du moins au sens traditionnellement attribué à ce vocable. Réciproquement, poursuit-il, un piano accordé strictement selon l'échelle tempérée, avec contrôle électronique des fréquences "sonne tout à fait faux".

Si j'estime, quant à moi, qu'il convient sans doute de nuancer les déclarations d'E. LEIPP, il n'en demeure pas moins qu'un piano accordé selon le tempérament égal à quintes justes (TEQJ) sonne à coup sûr plus juste et avec plus de musicalité qu'un piano accordé selon les fréquences de la gamme tempérée. C'est donc que ma conception de l'accord selon le TEQJ recouvre en fait bien mieux la pratique en apparence anormale des bons accordeurs, que ne le fait la théorie traditionnelle de la gamme tempérée. Mais ce fait une fois constaté et admis, je n'ai pas voulu en rester là et j'ai cherché à savoir les raisons de la supériorité, au regard des phénomènes de justesse et de musicalité, du TEQJ sur la gamme tempérée et ceci nous ramène directement aux deux questions inéluctables que nous avons posées ci-dessus, à savoir : pourquoi l'accord du piano en quintes justes sonne-t-il mieux que celui traditionnel en quintes tempérées et pourquoi, si un tel accord sonne si bien, a-t-on attendu CORDIER pour le découvrir ?

Avant de démontrer avec des arguments essentiellement musicologiques et culturels (et ne relevant pas essentiellement de l'acoustique physique ou physiologique comme on pourrait s'y attendre) le pourquoi du succès d'un tel accord, je vais d'abord commencer à répondre à la seconde partie de cette question, à savoir, pourquoi a-t-on attendu CORDIER pour le découvrir : je ferai tout d'abord remarquer qu'en réalité, on ne m'avait pas attendu pour le pratiquer ou, tout au moins, s'en rapprocher, ainsi que

l'attestent les nombreuses remarques faites depuis quelques décennies par des musiciens ou des acousticiens, sur l'écart constaté entre la théorie de la gamme tempérée et la pratique réelle des bons accordeurs. Simplement, j'estime que, comme c'est souvent le cas dans le domaine de l'écriture (qu'il s'agisse d'harmonie ou de contrepoint, par exemple), la pratique a ici précédé la théorisation que j'en ai faite. Autrement dit, je n'ai probablement pas plus inventé le TEQJ que Christophe COLOMB n'a inventé l'Amérique, puisque, comme l'Amérique, le TEQJ existait déjà : je l'ai simplement découvert sous la clef des meilleurs accordeurs, et là je rends hommage à mon maître Simon DEBONNE, premier accordeur d'une des plus grandes maisons parisiennes de pianos, pour finalement le reconnaître également sous l'archet des violonistes et des instrumentistes à cordes où je pense même qu'il est né ! Ce sont les musiciens et les accordeurs qui - POUR RÉPONDRE DANS LA PRATIQUE AUX NOUVEAUX BESOINS NÉS DE LA GÉNÉRALISATION DU TEMPÉRAMENT ÉGAL - ont inventé le TEQJ et cela sans doute depuis 2 siècles (depuis la généralisation du tempérament égal). Je me suis donc contenté, comme Christophe COLOMB, de le reconnaître et ensuite de l'explorer.

Avant de faire avec mes auditeurs l'exploration systématique de cette terre musicale aussi ancienne par la pratique que nouvelle par la prise de conscience de son existence, il convient cependant de résoudre une dernière énigme : pourquoi, si un tel tempérament existait déjà - au moins en puissance - dans la pratique, a-t-on attendu CORDIER pour en prendre conscience et le théoriser ? C'est la question que je me suis moi-même longtemps posée sans pouvoir y apporter de solution satisfaisante. Il y a à cela une première réponse : c'est que pour pouvoir se rendre compte de l'existence d'un tel tempérament, il fallait certes être accordeur mais aussi musicien et acousticien. Or les accordeurs n'ont - quand ils en ont - que des connaissances des plus succinctes en acoustique : c'est ainsi que la plupart ignorent parfaitement pourquoi on doit en principe "tempérer" les quintes sur un piano et même ce que c'est exactement qu'une quinte "tempérée" ou que la gamme "tempérée"... Sur ce plan, ils n'ont rien à envier à la plupart des musiciens... Dans la classe d'accord que la Direction de la Musique m'a confiée au CNR de Montpellier, ce sont des choses qu'on approfondit... Quant aux acousticiens, lorsqu'ils sont musiciens ils ne sont pas pour autant accordeurs au sens professionnel du terme et ils n'ont jamais l'oreille extraordinairement exercée de ces techniciens du piano. Heureusement, ils ont depuis peu à leur disposition des instruments électroniques de la plus grande précision qui sont extrêmement précieux pour le chercheur ; mais cela ne remplace qu'en partie l'oreille du musicien et surtout celle de l'accordeur. Il faut dire que le savant - voire le musicien - répugne souvent à endosser la blouse de l'artisan. C'est ainsi que j'ai eu l'occasion de rencontrer certains imbéciles qui ont refusé de prendre en considération mes travaux parce que... j'étais accordeur ! Si je ne l'avais pas été, je n'aurais pourtant jamais pu approfondir par l'oreille les subtilités du tempérament et comprendre pourquoi on était si longtemps passé à côté du véritable problème : cela tient en effet en grande partie aux techniques d'accord utilisées dans le passé. Mais cela tient aussi aux errances de théoriciens, alias "acousticiens", fondées sur des "a priori" mathématiques ou philosophiques ayant peu de choses à voir avec l'art musical.

C'est finalement l'étude des conditions dans lesquelles est progressivement apparu le tempérament égal au début du XVIII<sup>e</sup> siècle qui m'a fourni la clé de cette énigme.

On sait qu'au Moyen Age, les instruments à clavier - principalement l'orgue - étaient accordés selon une procédure pythagoricienne : toutes les quintes y étaient justes à l'exception d'une seule, appelée "quinte du loup", parce qu'elle était impraticable : trop courte d'un comma elle était en effet très faussée et pour cette raison injouable. Pourquoi cette quinte était-elle donc faussée et d'où sortait cet importun comma ? Il faut, pour le comprendre, se rappeler que toutes les notes de notre musique occidentale peuvent être reliées par des quintes ou - ce qui revient en principe au même - par des quartes. Ainsi, comme l'a démontré Pythagore, 6 siècles avant J.C., les 7 notes de l'échelle diatonique :

*do ré mi fa sol la si do (\*)*

peuvent être considérées comme le résultat de l'enchaînement de 6 quintes successives à partir d'un son original que nous nommerons ici arbitrairement, *fa*, pour la commodité de l'exposé, sans attacher du tout à ce vocable une notion de hauteur absolue (notion qui est d'ailleurs relativement moderne) :

*fa do sol ré la mi si.*

*(\*)La gamme grecque antique était modale (mode de mi) et descendante, mais je simplifie volontairement ici ces considérations historiques qui compliqueraient inutilement le problème.*

Si, comme c'était le cas à l'époque médiévale et dans l'antiquité, on maintient toutes ces quintes (ou quartes) justes, on obtient une gamme dite "pythagoricienne" qui présente la composition suivante en commas \* note 4 :

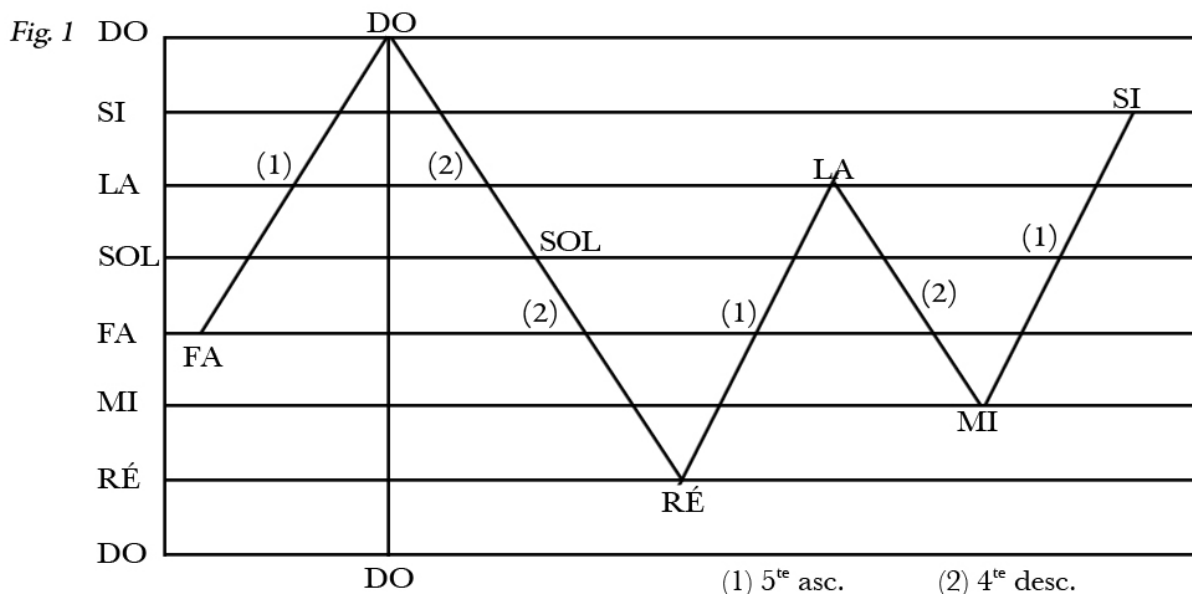
do ré mi fa sol la si do  
9c 9c 4c 9c 9c 9c 9c 4c

On voit que cette gamme possède 2 demi- tons diatoniques qui ne valent que 4 commas, c'est-à-dire moins de la moitié d'un ton pythagoricien. Les demi- tons diatoniques pythagoriciens sont donc courts, constatation qui sera, avec l'utilisation de quintes justes, à l'origine de la thèse discutable selon laquelle les violonistes et les cordes en général, jouent selon la gamme de Pythagore.

A ce niveau de l'explication, il faut distinguer - et c'est très important, comme on le verra - la théorie pythagoricienne de génération de la gamme par quintes justes successives, de la pratique réelle de l'accordage pythagoricien (tel qu'il a été réalisé sans doute dans l'Antiquité et à coup sûr au Moyen Age). Selon la théorie pythagoricienne, les notes s'engendrent les unes les autres de quintes en quintes selon le schéma :

*fa do sol ré la mi si.*

Mais en procédant ainsi on n'obtient pas une gamme ! Pour cela, il faut ensuite rassembler les notes obtenues au sein d'une même octave (d'un *do* au *do* immédiatement aigu, par exemple, si l'on veut obtenir une gamme de *do*) ceci, en procédant par saut d'octaves. Il faut donc THÉORIQUEMENT effectuer 2 opérations : la génération des notes, de quinte en quinte puis le report des notes obtenues à l'intérieur d'une seule octave (d'un *do* au *do* supérieur, par exemple) pour obtenir une échelle conjointe comme la gamme de *do*. Dans la pratique - et c'est encore ce que les accordeurs font actuellement - on s'arrangeait pour obtenir directement les notes à l'intérieur d'une même octave en remplaçant une quinte ascendante par une quarte descendante, chaque fois qu'on risquait de sortir de l'octave choisie :



Il en va de même de la première échelle occidentale chromatique à 12 sons que l'on trouve sur les claviers dès le XIIIe siècle à savoir :

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

qui peut être considérée comme le résultat d'une succession de 12 quintes s'étendant du grave à l'aigu sur environ 7 octaves :

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

Mais dans un tel accord, si on maintient, comme c'était le cas au Moyen Age, les 11 premières quintes justes, la dernière quinte du cycle, à savoir *ré# / sib* sera alors une quinte faussée d'un comma : la quinte du loup médiévale. Pourquoi est- elle faussée d'un comma ?

Supposons que nous voulions en effet continuer le cycle au-delà de *ré#*, en maintenant la 12<sup>ème</sup> quinte *ré# / la#* juste, nous aurions :

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

Or ce *la#* terminal ne serait pas du tout confondu, comme sur nos pianos actuels, avec le *sib* se trouvant à 7 octaves naturelles du *sib* de départ mais bien 1 comma au-dessus et ceci pour une raison arithmétique très simple : lorsque l'on part de la première note du cycle, *sib*, pour arriver à la dernière *la#*, on franchit en effet 12 quintes justes, soit, comme une quinte juste vaut 31 commas,  $31 \times 12 = 372$  commas. Or, l'octave juste vaut, quant à elle, 53 commas. Ce qui signifie que le *sib* qui se trouve à 7 octaves plus haut que le *sib* de départ ne s'en trouve qu'à  $53 \times 7 = 371$  commas, soit 1 comma plus bas que le *la#*. (voir tableau n°3). Il en résulte que si, pour limiter le nombre des notes à 12 par octaves, on ne veut pas créer une 13<sup>e</sup> note, *la#*, à la quinte juste de la 12<sup>e</sup> note *ré#*, la dernière quinte *ré# / sib* va bien se trouver faussée d'un comma puisque *sib* est alors un comma plus bas que *la#* qu'on se refuse à utiliser pour ne pas créer sur les claviers une 13<sup>e</sup> note. Si l'on cédait en effet à cette tentation on devrait créer aussi une 14<sup>e</sup> note *mi#* distincte de *fa* sous peine de faire naître une nouvelle quinte du loup placée cette fois entre *la#* et *fa* et ainsi de suite... en repoussant seulement la quinte du loup de quinte en quinte. Toutes ces difficultés viennent de ce que la somme de 12 quintes justes excèdent celle de 7 octaves d'1 comma dit "de Pythagore", comme nous l'avons vu ci- dessus ! En d'autres termes, IL EST IMPOSSIBLE DE JOUER DANS TOUS LES TONS AVEC SEULEMENT 12 SONS PAR OCTAVE si L'ON VEUT CONSERVER - **A LA FOIS** - TOUTES LES QUINTES ET TOUTES LES OCTAVES NATURELLES (acoustiquement justes), car dans ce cas, les notes enharmoniques (comme *la#* et *sib*, par exemple) ne sont pas confondues mais distantes d'1 comma, et une quinte, la 12<sup>e</sup> du cycle (c'est- à- dire celle qui se trouve entre la 12<sup>e</sup> et dernière note du cycle (dans l'exemple ci- dessus *ré#*) et la 1<sup>re</sup> (ici *sib*, prise comme 13<sup>e</sup> note à l'octave de la 1<sup>re</sup>) est alors faussée d'1 comma et donc impraticable. En fait, il est extrêmement probable qu'on a pris conscience de cette réalité sans faire de calculs précis mais - et c'est là le fait important - en la considérant comme la conséquence naturelle d'une certaine technique d'accord qui consiste, comme nous l'avons vu pour l'échelle diatonique, non pas à empiler d'abord les quintes sur un ambitus de 12 quintes puis à rassembler ensuite les notes par degrés conjoints au sein d'une seule octave - aucun instrument à l'époque médiévale ne l'aurait permis - mais à obtenir d'emblée les 12 notes à l'intérieur d'une même octave ceci, EN REMPLAÇANT UNE QUINTE ASCENDANTE PAR UNE QUARTE DESCENDANTE, chaque fois qu'on risquerait de sortir du cadre d'une octave. C'est ce que les accordeurs appellent faire "la partition", c'est-à-dire, le partage d'une octave préalablement choisie. Ainsi pour obtenir le cycle pythagoricien suivant :

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

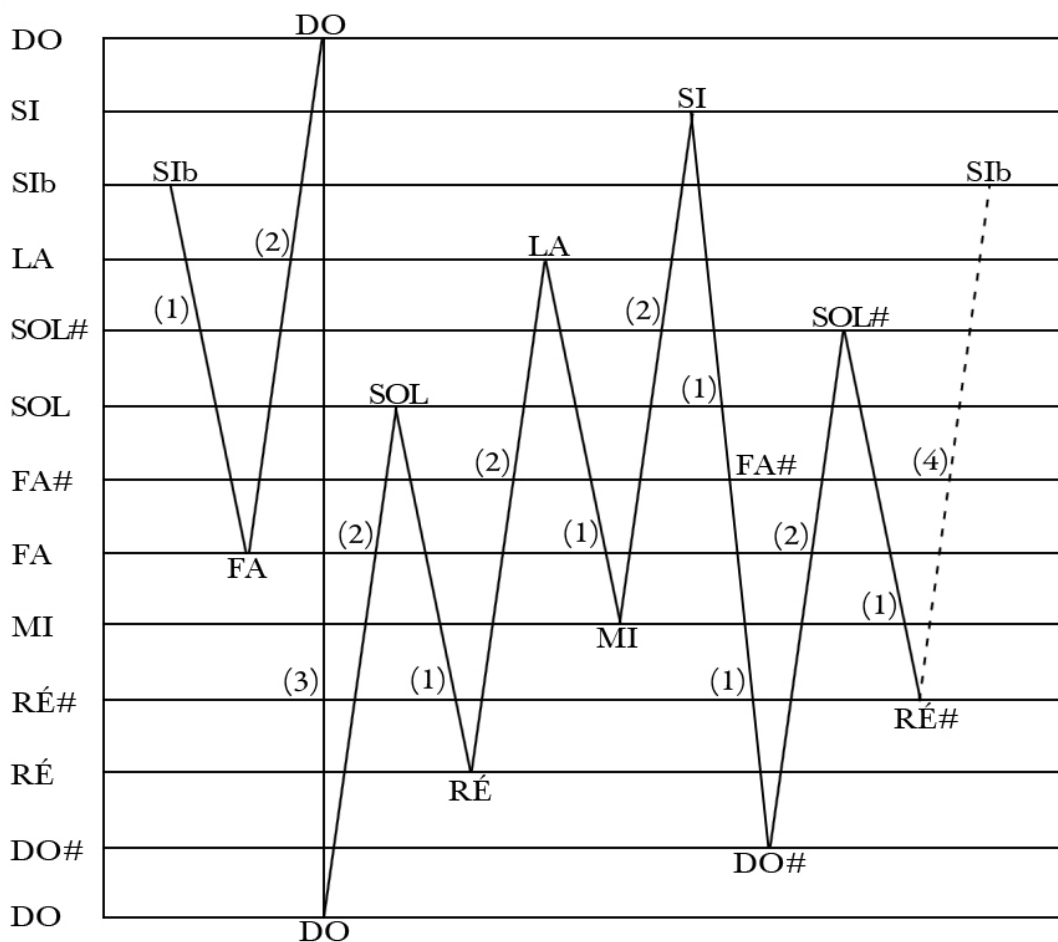
directement sous la forme "partition" chromatique allant d'un *do* à un *do* :

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

on va accorder les notes dans l'ordre et selon les intervalles successifs suivants : (fig. 2)

- 1 ) note de départ *sib* (sans que ce terme rappelons-le, corresponde à l'époque médiévale à une hauteur définie)
- 2) accord de *fa* par quarte naturelle descendante (et non par quinte ascendante, ce qui obligerait à sortir de l'octave de la partition)
- 3) accord des deux *do* de l'octave de la partition par quinte ascendante suivi d'une octave descendante
- 4) accord du *sol* par quinte ascendante
- 5) accord du *ré* par quarte descendante
- 6) accord du *la* par quinte ascendante
- 7) accord du *mi* par quarte descendante
- 8) accord du *si* par quinte ascendante
- 9) accord du *fa#* par quarte descendante
- 10) accord du *do#* par quarte descendante
- 11) accord du *sol#* par quinte ascendante
- 12) accord du *ré#* par quarte descendante

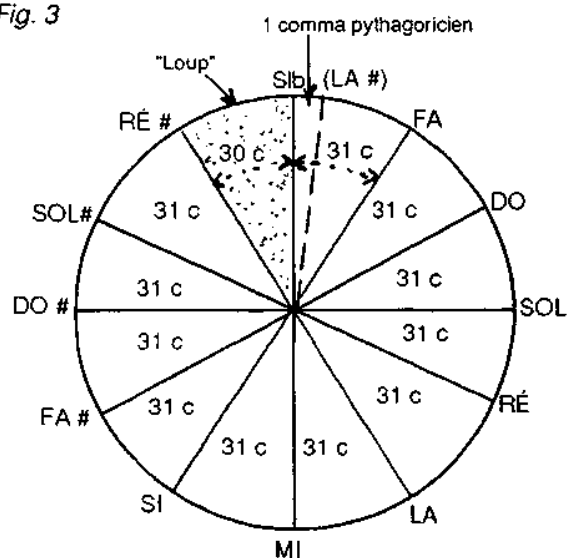
Fig. 2



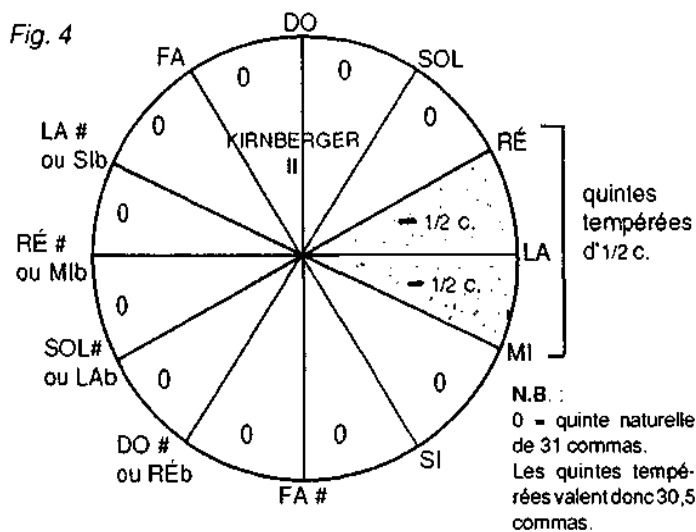
(1) 4<sup>te</sup> naturelle (22 commas) (2) 5<sup>te</sup> juste (31 commas) (3) 8<sup>ve</sup> naturelle (53 commas) (4) "5<sup>te</sup> du loup"

Si les 11 quintes ascendantes et quartes descendantes sont toutes rigoureusement "naturelles" (sans battements), la quinte restante - la 12<sup>e</sup> - ré#/ sib, "hurle", amputée qu'elle se trouve de son comma pythagoricien et cela n'a naturellement pu que "sauter" aux oreilles de nos ancêtres médiévaux... Mais ce n'était pas très gênant pour la pratique musicale de l'époque dans la mesure où on pouvait facilement éviter cette quinte. En ce temps-là, en effet, la musique était encore peu modulante : on amorçait seulement une lente évolution qui devait conduire du XIII<sup>e</sup> siècle au XVII<sup>e</sup> siècle, de la musique modale (mais sans modulation, du moins au sens moderne du terme) à la musique tonale qui, elle, supposait à terme la possibilité de moduler ou plutôt "tonuler", comme le propose Jacques CHAILLEY, dans tous les tons, exigence qui ne verra vraiment le jour qu'à la fin du XVII<sup>e</sup> siècle et au début du XVIII<sup>e</sup>. Cependant l'usage exclusif, jusqu'au XVI<sup>e</sup> siècle, de l'accord pythagoricien à quintes justes conduisait à penser QU'IL ÉTAIT IMPOSSIBLE DE CONSERVER TOUTES LES QUINTES JUSTES SUR UN CLAVIER RÉDUIT A 12 SONS PAR OCTAVE puisque cela semblait mener inéluctablement à l'émergence d'une "quinte du loup". Cette technique d'accord et cette constatation sont bien mises en évidence par l'usage du fameux "cercle des quintes" sur lequel les théoriciens vont désormais réfléchir pour élaborer à partir du XVI<sup>e</sup> siècle de nouveaux tempéraments. L'accord pythagoricien y est représenté ainsi (fig. 3).

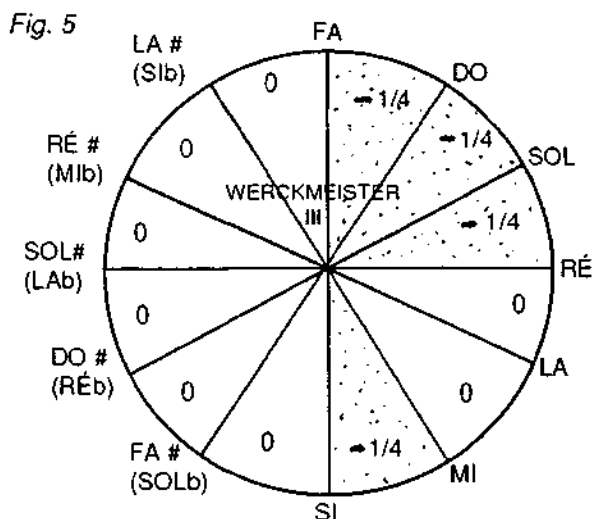
Fig. 3



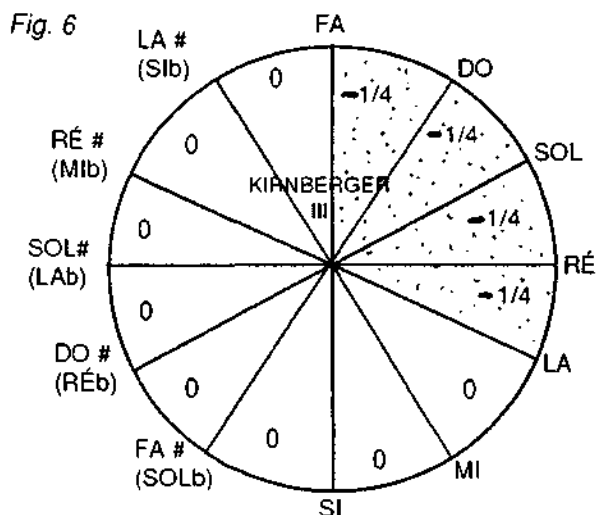
En regardant ce cercle, qui semble contenir un cycle de 12 quintes au sein d'UNE SEULE OCTAVE, conformément à la pratique alternée des quintes ascendantes et des quartes descendantes permettant la "partition" (partage) d'une octave dont nous avons parlé ci-dessus, on semble bien être acculé, si l'on veut utiliser un maximum de quintes justes, à savoir 11, à raccourcir drastiquement la 12<sup>e</sup>. Or, à partir de la fin du XVII<sup>e</sup> siècle, on va vouloir moduler sur les claviers dans tous les tons, comme CELA ÉTAIT DÉJÀ POSSIBLE A L'ORCHESTRE où le nombre des notes à l'octave n'était pas limité à 12. Pour cela, il va falloir absolument faire disparaître la "quinte du loup" c'est-à-dire l'amputation d'une quinte d'un comma entier. Tous les tempéraments baroques dits "de transition", - c'est-à-dire de transition entre les accords anciens (principalement le tempérament pythagoricien puis le tempérament dit "mésotonique" des XVI<sup>e</sup> et XVII<sup>e</sup> siècles) et le tempérament égal - vont donc tendre à cet escamotage du comma pythagoricien manquant et affectant une seule quinte qui, par sa fausseté, bloquait l'accès à 6 tonalités sur 12. Au lieu de faire porter cette amputation sur une seule quinte, on va alors songer à la répartir sur plusieurs quintes. KIRNBERGER, par exemple, au lieu de raccourcir une seule quinte d'un comma entier comme dans l'accord pythagoricien, raccourcit 2 quintes qui se suivent d'un demi-comma. C'est l'accord connu sous le nom de KIRNBERGER II : (fig. 4)



Cet accord n'eut pas apparemment un grand succès, c'est qu'une quinte raccourcie d'un 1/2 comma est encore une quinte très faussée ! En général, on raccourcissait plutôt quatre quintes d'un quart de comma, le problème était alors le choix des quintes à raccourcir : d'où une grande diversité de solutions. Les plus connues présentant quatre quintes raccourcies d'1/4 de comma sont WERCKMEISTER III où les quintes altérées ne se suivent pas : (fig. 5)



et KIRNBERGER III où, au contraire, elles se suivent : (fig. 6)



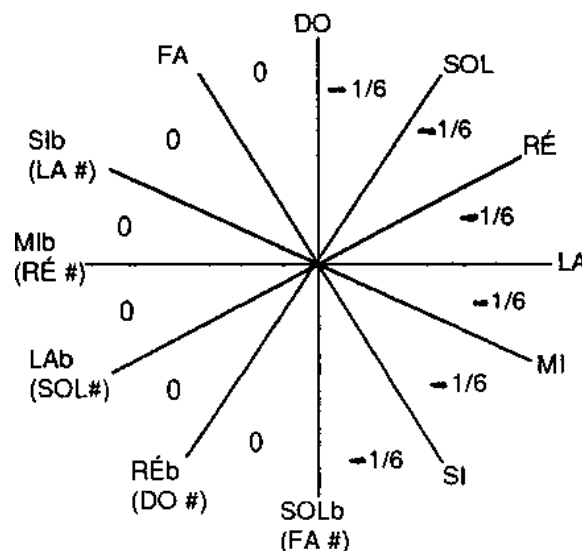


Ces choix dépendaient des credo esthétiques des théoriciens (pas forcément d'ailleurs de ceux des compositeurs) parmi lesquels figurait en bonne place celui de conserver un nombre plus ou moins grand de tierces naturelles. Il y eut aussi des tempéraments qui raccourcissaient 6 quintes d'1/6<sup>e</sup> de commas : (fig. 7)

Finalement la multiplicité même des solutions proposées causa leur perte. Aucun de ces systèmes ne parvint vraiment à s'imposer. Aucun ne s'érigea en système de justesse durable comme ce fut le cas pour le tempérament pythagoricien au Moyen Age, le tempérament mésotonique au XVI<sup>e</sup> et au XVII<sup>e</sup> siècle, le tempérament égal classique ou le TEQJ depuis le XVIII<sup>e</sup> siècle. Les raisons de cette précarité des tempéraments de transition (appelés aussi tempéraments inégaux) sont multiples et je ne m'y étendrai pas ici. Disons simplement que leur principal défaut était de ne pas donner aux compositeurs la liberté totale de modulation comme cela apparaît de toute évidence lorsqu'on examine les tonalités abordées dans l'œuvre d'orgue d'un J.-S. BACH, (contrairement à la liberté totale constatée dans "le Clavier bien tempéré", par exemple). Par ailleurs, ces tempéraments, par leur diversité même, constituaient un sérieux handicap pour la justesse des exécutions d'ensemble quand il y figurait un instrument à clavier, puisque ce n'était jamais les mêmes quintes qui étaient altérées, ce que les instrumentistes d'orchestre ne pouvaient évidemment

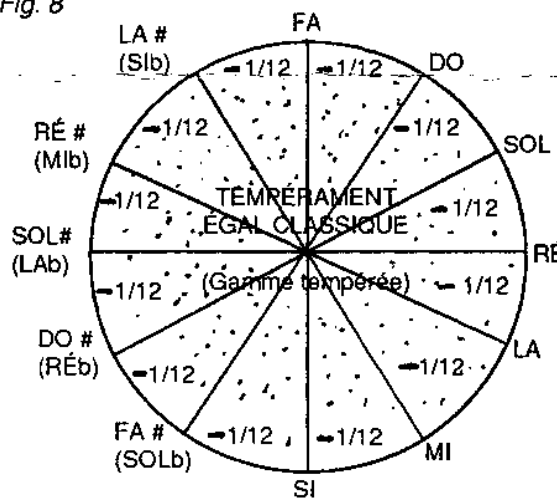
Tempérament Tartini-Vallotti  
(milieu XVIII<sup>e</sup> siècle)

Fig. 7 schéma général



assumer : il semble en effet que les instrumentistes à cordes aient toujours maintenu TOUTES LEURS QUINTES JUSTES, comme en témoigne QUANTZ dans ses écrits sur l'orchestre et l'accord des violons. Aussi, en dépit de l'opposition des théoriciens, qui tenaient beaucoup aux tempéraments inégaux pour les raisons les plus diverses (dont le maintien de tierces naturelles), le tempérament égal, bien que difficile à réaliser - surtout sur un piano - finit-il quand même par s'imposer. Dans le droit fil du raisonnement qui fut à l'origine des tempéraments baroques de transition, le tempérament égal défendu par WERCKMEISTER, MARPBURG puis par J.-S. BACH en Allemagne et par RAMEAU en France, consistait tout simplement à étendre le raccourcissement limité jusqu'alors à quelques quintes, aux 12 quintes du cercle en les amputant toutes d'1/12<sup>e</sup> de comma : (fig. 8)

Fig. 8



Seulement pour ce dernier partage, il n'y avait plus - apparemment !! - QU'UNE SEULE SOLUTION et non une multitude comme lorsque, par exemple, on fait porter l'amputation du comma de Pythagore sur seulement 4 quintes qu'on devait alors choisir parmi les 12 quintes existantes et, de plus, cette solution fournissait enfin, sans excéder 12 notes par octave, la liberté totale de modulation tant recherchée. Quant au prix à payer, il paraissait relativement minime : une légère altération de la justesse de toutes les quintes sans exception et un faussement des tierces certes important mais, tout compte fait, moins important que dans les tempéraments inégaux de transition où, sur 12 tierces, 7 étaient davantage faussées que dans le tempérament égal, voire pythagoriciennes ou quasi pythagoriciennes (KIRNBERGER II). C'est ce tempérament égal présentant 12 quintes tempérées qui se généralisa peu à peu sous le nom de "gamme bien tempérée" - nom donné, semble-t-il, à l'origine à tous les tempéraments qui permettaient en principe d'aborder tous les tons (comme KIRNBERGER III ou WERCKMEISTER III) et qui se reporta bientôt sur le seul tempérament égal puisqu'il fut le seul à surnager ! Peu à peu, il prit d'ailleurs aussi le nom simplifié de "gamme tempérée", vocable assez imprécis mais qui montre bien qu'il n'y avait plus désormais à partir du XIX<sup>e</sup> siècle, qu'une seule solution retenue au problème posé par l'accord des instruments à clavier et qu'on avait bel et bien oublié tous les autres tempéraments.

Après le triomphe du tempérament égal sous le nom de "gamme bien tempérée" puis de "gamme tempérée" sur les claviers, les musicologues et les théoriciens ont eu en effet tendance à ne plus prendre en considération, que deux systèmes de justesse en les opposant d'ailleurs : d'une part, la gamme TEMPÉRÉE du piano ou de l'orgue, considérée comme commode mais fautive et utilisant entre autres des quintes tempérées, d'autre part, la gamme JUSTE, c'est à dire la gamme vocale ou orchestrale tenue donc comme la seule juste et présentant, en particulier, des quintes justes. Je proposerais, quant à moi, de désigner plutôt la gamme tempérée sous le nom de "**tempérament égal à quintes tempérées**" pour l'opposer désormais au "**tempérament égal à quintes justes**" que je présente ici puisqu'il existe en fin de compte au moins 2 espèces de tempérament égal dodécaphonique...

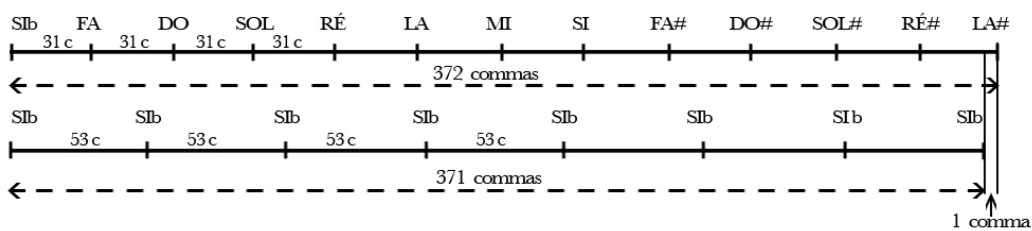
A bien y regarder, on s'aperçoit que la procédure du tempérament égal, qui consistait à raccourcir toutes les quintes de  $1/12^e$  de comma, revenait à faire en sorte que la somme de 12 quintes soit égale à celle de 7 octaves, condition *sine qua non* pour que les notes enharmoniques soient confondues, c'est-à-dire que la dernière note d'un cycle de 12 quintes, *la#* dans l'exemple que nous avons pris ci-dessus, soit confondue avec la  $1^e$  : *sib*.

Si l'on raisonne comme on l'a toujours fait, à partir de la technique d'accord utilisée, c'est-à-dire sur une seule octave et dans le cadre du "cercle des quintes", on ne peut en effet envisager que cette solution : quoi que l'on fasse, à quelque calcul qu'on se livre, il faut, pour retomber au bout de 12 opérations, quartes et quintes alternées, sur le *sib* de départ (ou sur celui qui se trouve à l'octave aiguë) que le total des quintes soit amputé d'un comma, ceci, qu'on raccourcisse 2 quintes d' $1/2$  comma, 4 quintes d' $1/4$  de comma, 6 quintes d' $1/6$  de comma ou, solution finalement retenue 12 quintes d' $1/12^e$  de comma. Pourtant un tel raisonnement est inexact car, dans cette procédure et dans ce cercle sur lequel on raisonne, on a l'impression que ce sont 12 quintes qui forment une seule octave puisque le *sib* du départ placé en haut du cercle est confondu avec celui de l'arrivée : il n'y a apparemment qu'un seul *sib*. si l'on veut alors que le *sib* de départ soit confondu avec le *la#* d'arrivée, il semble effectivement qu'il n'y ait qu'une solution : le raccourcissement du total des quintes d'1 comma. Une autre solution semble apparaître mais ne peut qu'être écartée, c'est celle qui consisterait à prendre comme dernière note du cycle, non pas un *sib* à l'octave juste du *sib* de départ mais le *la#* final qui se trouve 1 comma plus haut. Mais il faudrait alors allonger l'octave de la partition *sib/ sib* d'un comma entier (voir E. LEIPP, "Acoustique et Musique" p. 140 et 141), ce qui serait aussi handicapant que de raccourcir une seule quinte d'un comma, car une octave allongée d'1 comma entier est tout aussi fautive qu'une quinte raccourcie de la même quantité : on remplacerait alors un "loup" par un autre... Mais en fait le cercle utilisé est un cercle vicieux : le *sib* final (voir fig. 3) n'est ni confondu, ni à l'octave du *sib* de départ, comme le schéma contorsionné du cercle nous invite à le penser. En réalité le *sib* de l'arrivée, qui, sur le cercle des quintes, se trouve confondu avec le *sib* de départ, se trouve 12 quintes plus haut soit environ 7 octaves plus haut. Pour tenir compte de la réalité musicale et ne pas raisonner sur une figure fautive, il faut donc vraiment représenter les 12 quintes face aux 7 octaves (fig. 9a) et on voit alors que le problème de l'égalisation présente non pas une, mais bien deux solutions. Pour faire en sorte que la somme de 12 quintes soit égale à celle de 7 octaves, on peut en effet raccourcir toutes les quintes d' $1/12^e$  d'octave (fig. 9b), seule solution à laquelle conduisait la technique d'accordage par quintes ascendantes et quartes descendantes ainsi que le raisonnement sur un cercle comprenant les 12 quintes.

Mais on peut aussi - et cette deuxième solution est totalement occultée par l'usage du cercle et des anciennes techniques d'accord - maintenir toutes les quintes justes et allonger toutes les octaves d' $1/7^e$  de comma (fig. 9c) : c'est cette solution que j'ai désignée sous le nom de "Tempérament égal à quintes justes".

Fig.9 – Le problème de l'égalisation correctement posé

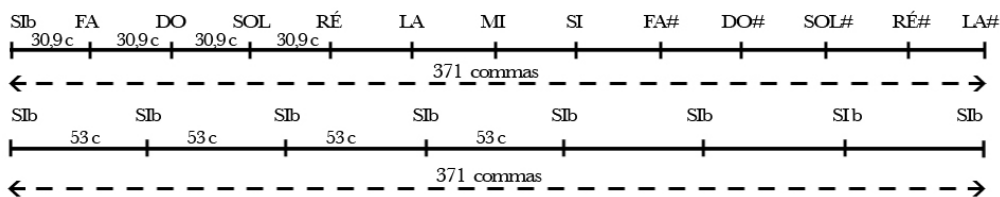
**a) Les données acoustiques**



Pour qu'un tempérament soit égal, il faut 12 quintes = 7 octaves

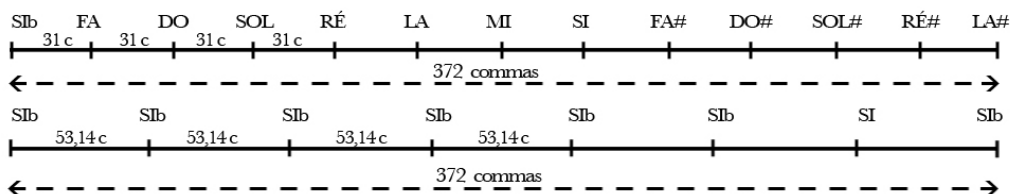
**b) 1<sup>ère</sup> solution : la gamme tempérée**

On raccourcit toutes les quintes d'1/12<sup>ème</sup> de comma



**c) 2<sup>ème</sup> solution : le tempérament égal à quintes justes**

On allonge toutes les octaves d'1/7<sup>ème</sup> de comma.



On voit que c'est la procédure d'accord utilisée (par quinte ascendante et quarte descendante) et le raisonnement à partir d'un cercle de quintes compris dans le cadre d'une octave qui est à l'origine de la cécité des chercheurs de tempéraments. En confondant la note de départ du cycle et la note d'arrivée, le cercle des quintes présuppose que l'octave ne peut être que "naturelle" et la rend donc intouchable. Dans cette conception, toutes les notes à distance d'octaves naturelles (les puissances de 2) apparaissent confondues et portent le même nom. Or cette conception est fautive et ne correspond pas à la perception que nous avons du phénomène sonore : on sait très bien depuis l'utilisation d'accordeurs électroniques, fondés sur l'octave naturelle (et donc sur la conception mise en cause ci-dessus), que des sons aigus placés à 2 ou 3 octaves naturelles des sons correspondants du médium paraissent nettement trop bas : ce qui justifie au moins qualitativement "l'échelle de Mels", qui montre qu'en se dirigeant vers l'aigu, notre oreille entend de plus en plus bas des sons considérés comme théoriquement justes.

En d'autres termes, la seconde solution - celle du TEQJ - paraît d'emblée plus conforme à la perception que la solution traditionnelle ! Mais avant d'examiner les choses dans le détail et d'essayer de trouver d'autres raisons de la supériorité de cette seconde solution, je dois tout de suite ajouter que si cette seconde approche est meilleure, elle est cependant encore INSUFFISANTE, au regard de la perception de l'oreille. Le TEQJ, s'il convient mieux, à mon avis, que la gamme tempérée pour les registres du grave et du médium, fournit cependant des sons encore trop bas dans le registre aigu : c'est patent pour les sons dépourvus d'harmoniques (comme ceux de la flûte, par exemple) et ce l'est aussi pour les sons aigus du piano (eux-mêmes assez pauvres en harmoniques d'ailleurs). La courbe de l'oreille dans cette zone critique se redresse de manière exponentielle sans doute d'ailleurs d'une façon quelque peu différente selon l'âge et les conformations individuelles (ce qui reste cependant à vérifier). Ainsi donc non seulement le TEQJ serait mieux adapté à la perception mais en ce qui concerne l'extrême-aigu, il resterait en deçà de ce que souhaite l'oreille. Faut-il alors allonger encore davantage les octaves et faire des quintes "tempérées à l'envers", c'est-à-dire plus grandes que justes? Je ne le pense pas mais je crois plutôt qu'il faut s'en tenir au TEQJ dans le grave et le médium et n'agrandir progressivement les octaves et les quintes elles-mêmes dans le cadre d'une sorte de "tempérament en expansion", qu'au-dessus du *mi4* correspondant à la chanterelle des violons. Pourquoi ?

Parce que je pense que l'accord correspondant à notre sens actuel de la justesse est né de l'accoutumance à l'échelle orchestrale telle qu'elle se présente depuis longtemps à nos oreilles. Or, cette justesse ne peut que correspondre au TEQJ jusqu'au *mi4* du violon. On peut en effet déjà affirmer qu'elle s'inscrit forcément du grave au *mi4* aigu dans les mailles des quintes justes correspondant à l'accord des instruments à cordes (contrebasses exceptées). Il n'est donc pas question d'agrandir les quintes avant cette limite aiguë : jusqu'au *mi4* de la chanterelle des violons, l'accoutumance à l'accord des instruments à cordes a fixé une sorte de garde-fou à la justesse orchestrale : le cycle des quintes justes (et non des quintes tempérées !!). Au-delà du *mi4* des chanterelles, il n'y a plus de garde-fou et des mécanismes perceptifs en rapport avec la physiologie de l'oreille reprennent sans doute le dessus dans le sens d'une dilatation progressive de tous les intervalles.

Il reste à prouver qu'en deçà du *mi4* de la chanterelle, c'est le TEQJ qui prévaut - au piano comme à l'orchestre - et non la gamme tempérée ou encore la gamme de Pythagore qui, quant à elle, s'inscrit également dans un cycle de quintes justes. C'est très facile pour ce qui est de l'orchestre et par suite le piano ne peut... que suivre ! Les musicologues actuels admettent, presque sans exception, que la généralisation du tempérament égal à partir du XVIII<sup>e</sup> siècle ne s'est pas faite que sur les claviers et n'a pas touché la seule écriture pianistique, mais l'écriture musicale, en général, qu'elle soit orchestrale ou pianistique. C'est dire que le phénomène d'égalisation a fait que, pour les compositeurs, un *ré#* a désormais été considéré comme un *mib* et susceptible donc d'être traité comme tel. L'ambiguïté tonale enharmonique, qui va renouveler complètement l'harmonie et, à terme, désagréger la tonalité, est constante au piano comme à l'orchestre dès le XVIII<sup>e</sup> siècle. Elle présuppose donc une seule conception dans l'acte compositionnel, qu'il soit dirigé vers le piano ou l'orchestre, conception fondée sur l'accoutumance et l'usage devenu exclusif du tempérament égal. Mais attention ! Qu'on ne me fasse pas dire ce que je n'ai pas dit, comme cela a été parfois le cas ! je n'ai pas déclaré que le musicien d'orchestre JOUAIT STRICTEMENT EN TEMPÉRAMENT ÉGAL : dans la pratique, le jeu des attractions et des répulsions tant tonales qu'harmoniques ou "de voisinage" existent et donne même de la vie et de l'expression aux exécutions instrumentales. J'ai simplement dit que, désormais, toute oeuvre orchestrale était conçue en tempérament égal en raison de l'accoutumance de l'oreille à l'accord du piano. S'il n'en était pas ainsi, une oeuvre orchestrale jouée sur un piano devrait sonner faux ! Or ce n'est pas le cas si le piano est bien accordé, c'est-à-dire accordé en tempérament égal certes mais à quintes justes (à l'exception du suraigu). Cette hypothèse, confirmée par mon oreille, que l'orchestre joue bien lui-aussi en tempérament égal, je la trouve confirmée dans des déclarations aussi diverses que celles :

- d'Alain DANIELOU qui écrit dans "l'Encyclopédie de la Musique" (Ed. Fesquelle) parue en 1959, sous la direction d'Igor STRAVINSKY : "La gamme utilisée actuellement en musique est la gamme chromatique bien tempérée"

- de Serge GUT, qui professe le même credo dans "Sciences de la Musique", ouvrage paru en 1976 sous la direction de Marc HONEGGER, tout en signalant par ailleurs que les chanteurs et les violonistes "tendent toujours instinctivement vers des valeurs pythagoriciennes" (mais le TEQJ présente effectivement de nombreuses valeurs pythagoriciennes en raison de l'utilisation de quintes justes, ce qui justifie pleinement la remarque de S. GUT et ma propre thèse !)

- 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 "Clavier bien tempéré" à la "Tétralogie".... On peut dire que les deux grands siècles de musique tonale, le XVIII<sup>e</sup> et le XIX<sup>e</sup> siècle, ont pu s'épanouir à partir du moment où le tempérament égal de WERCKMEISTER leur ouvrait la liberté totale de circulation. Le "Clavier bien tempéré" prend donc valeur de manifeste..."

Il est tout à fait évident que pour ces musicologues, « gamme tempérée » (ou « bien tempérée ») et tempérament égal étaient une seule et même chose puisque « tempérament égal » était synonyme de « gamme tempérée » et donc supposait le tempérament des quintes. L'hypothèse qu'il puisse exister un tempérament égal à quintes justes n'avait même pas été envisagée puisqu'elle semblait du domaine de l'utopie, étant parfaitement inconciliable avec le "cercle des quintes". Pourtant si l'orchestre joue bien, aux attractions près, en tempérament égal, ce ne peut être de toute évidence que le tempérament égal à quintes justes puisque le tempérament égal s'y insère dans des quintes justes et non tempérées comme le voulait la théorie. C'est donc à cette échelle, celle du TEQJ et non à celle de la gamme tempérée que, en définitive, tous les musiciens vont être conditionnés, à l'exception... des pianistes, si du moins, leur accordeur reste étroitement soumis - comme c'est encore assez souvent le cas - à la théorie traditionnelle du tempérament égal qui veut que les quintes du piano soient tempérées. La persistance de cette conception n'est d'ailleurs pas tellement gênante pour un pianiste qui joue seul dans son coin : il s'accoutume à la justesse tempérée... Elle l'est bien davantage lorsque le piano est mêlé aux voix, à d'autres instruments ou joue avec orchestre. L'instrument paraît alors jouer faux car trop bas,... même pour le pianiste. Il est donc normal que, pour éviter des reproches justifiés, les accordeurs aient tendu à rétablir sur le piano la justesse orchestrale : juste revanche d'ailleurs puisque le piano avait, quant à lui, imposé son tempérament égal à l'orchestre...

Pour terminer, je voudrais en revenir à certains arguments utilisés contre le TEQJ et qui m'ont amené à préciser mon credo et à accentuer ma prise de conscience d'autres retards importants pris par la théorie musicale sur la pratique.

Vous rétablissez la justesse des quintes - m'a-t-on plusieurs fois fait remarquer - mais en revanche, vous faussez les octaves en les allongeant d' $1/7^e$  de comma. Ce que vous gagnez sur un plan, vous le perdez donc sur un autre : de toute manière la justesse ne peut être qu'un compromis... C'est exact mais seulement si on ne se place que sur le plan de la justesse "naturelle" appelée quelquefois justesse "mathématique" ou "acoustique" (ou encore "physique") et ce n'est pas être grand clerc que d'affirmer que cette justesse là n'est pas celle à laquelle se réfère le musicien pour juger de la justesse d'une exécution musicale ou de l'accord d'un piano. En d'autres termes, la justesse musicale ne peut être confondue avec la justesse "naturelle". Or en affirmant que la théorie traditionnelle de la gamme tempérée fausse les quintes mais maintient les octaves justes et, qu'au contraire, le tempérament égal à quintes justes maintient les quintes justes mais fausse les octaves, on continue à prendre pour unique référence la justesse naturelle et non la justesse musicale ou, plus exactement, on continue à présupposer que la justesse musicale est confondue avec la justesse "naturelle". Cette grave confusion est, hélas, entretenue par de nombreux manuels de théorie musicale, toujours en vigueur dans nos conservatoires ! Cette théorie, élaborée avec ZARLIN et la découverte de la tierce "naturelle" (fin XVI<sup>e</sup>), bien que contredite dès la fin du XVII<sup>e</sup> siècle dans la pratique (avec le début des tempéraments de transition qui mettent en service des tierces encore plus outrées que celles du tempérament égal...) continue à sévir encore actuellement. Car si l'octave du TEQJ, faussée par rapport à l'octave naturelle d' $1/7^e$  de comma était considérée comme fausse musicalement, que dire alors des tierces du tempérament égal qui sont presque faussées d'un comma entier (très exactement  $2/3$  de commas).

Or, que nous dit HARNONCOURT lui-même, au sujet des tierces actuelles qui sont bien loin d'être "naturelles" : " Pour les musiciens d'aujourd'hui, il est très difficile dans un premier temps de jouer ou de chanter des tierces naturelles (sans battements), car, habitués qu'ils sont aux tierces tempérées du piano, ils ont l'impression que les tierces naturelles sont fausses et trop petites...." (HARNONCOURT : "Le Discours Musical" Ed. Gallimard 1982, p. 87).

Cette déclaration, simple en apparence, est très riche d'enseignement car elle montre clairement :

1) que la sensation de justesse, la seule qui importe pour le musicien, n'est pas seulement affaire de physique acoustique ou de mathématique, mais qu'elle résulte aussi pour une bonne part d'un processus d'accoutumance ou d'acculturation ;

2) que l'accord des instruments à clavier a joué et joue toujours un rôle de premier plan dans l'éducation de l'oreille et donc dans l'appréciation de la justesse et que ceci est valable pour TOUS les musiciens puisque HARNONCOURT, lorsqu'il aborde le problème de l'appréciation de la justesse des tierces, parle "des musiciens d'aujourd'hui" et non des seuls pianistes.

La justesse est-elle pour autant un phénomène uniquement culturel comme je l'ai cru moi-même un moment ? Je ne le pense plus car on ne peut s'accoutumer à n'importe quelle échelle et l'examen des divers échelles et langages musicaux existants ou ayant existé, montre que tous ont été influencés à divers titres par la justesse naturelle ou, ce qui revient au même, par "la génération harmonique" pour reprendre le titre d'un très intéressant ouvrage de RAMEAU (celui dans lequel il prend définitivement parti pour le tempérament égal). Mais ce qui fait que la justesse musicale ne peut être la justesse "naturelle", c'est qu'il est impossible en utilisant uniquement des intervalles "naturels" de créer une échelle musicale stable et donc un langage conciliable avec la pratique musicale occidentale. En effet les intervalles naturels ne sont pas mathématiquement compatibles entre eux : ainsi la somme de 12 octaves "naturelles" n'est pas égale à celle de 7 quintes "naturelles" : il faut donc modifier la quinte ou l'octave et choisir entre le maintien de la justesse naturelle de la quinte ou celle de l'octave (gamme tempérée ou TEQJ ?). Par ailleurs, 4 quintes naturelles fournissent une tierce pythagoricienne trop grande par rapport à la tierce naturelle d'un comma entier et là encore, il faut choisir : Pythagore avait choisi de sacrifier la tierce à la quinte et, au contraire, les premiers baroques ont, avec l'invention du tempérament "mésotonique", sacrifié la quinte à la tierce naturelle, à la suite de la découverte de cet intervalle sur le monocorde.

On voit donc que, tout en partant bien de matériaux sonores "naturels", on a dû les modifier pour construire des gammes viables et rendre ainsi possible et cohérente la composition musicale, à la manière du maçon qui taille (tempère) ses briques pour pouvoir - et le mot est très révélateur - les AJUSTER. Seuls sont finalement "justes" les matériaux "ajustés" puisqu'il ne saurait y avoir de gamme naturelle ne comportant que des intervalles naturels. En ce sens la gamme dite "naturelle" de ZARLINO, présentée encore dans nos solfèges et nos encyclopédies comme le modèle de la gamme occidentale est une véritable imposture puisque, mathématiquement et musicalement, elle est impossible : elle comporte entre autres choses sur son second degré une véritable "quinte du loup", amputée d'un comma et n'est donc MÊME PAS PRATICABLE EN *do* MAJEUR ! Mais il paraît que c'est un degré faible ! Allez donc faire entendre cela à un musicien et demander à un violoniste d'accorder sa quinte *ré/ la* de cette manière !! Seul un mathématicien impénitent et qui n'entend pas un intervalle d'un comma, peut s'accommoder d'un tel intervalle ! Il convient donc bien d'« ajuster » les intervalles, d'où les tempéraments. Mais cet ajustement a naturellement varié en fonction de la pratique instrumentale et de l'écriture musicale propre à une époque ou à une civilisation déterminée. D'où les différentes gammes et systèmes existants de par le monde. Depuis deux siècles environ, le seul tempérament qui réponde complètement aux conditions de la pratique musicale (d'une part accord des instruments d'orchestre, par quintes justes, et d'autre part, usage généralisé du tempérament égal) ne saurait être que le tempérament égal à quintes justes (TEQJ). C'est pourquoi les musiciens et accordeurs le pratiquent depuis longtemps, et pourquoi, pour nos oreilles, qui y sont depuis longtemps accoutumées, les intervalles qu'il présente sonnent particulièrement juste même lorsque, comme les tierces ou les octaves, ils ne sont pas naturels. Si, à la suite d'HARNONCOURT, je puis donc affirmer que - POUR NOS OREILLES ACTUELLES - les tierces naturelles semblent fausses car trop courtes, j'ajoute que c'est aussi le cas, quoique dans une bien moindre mesure, pour les octaves naturelles, comme le prouve un accord de piano fait strictement selon la gamme tempérée et donc fondé sur le partage de l'octave naturelle en 12 demi- tons strictement égaux.

Une autre objection faite à l'emploi du TEQJ me paraît plus intéressante : elle reconnaît le fait que, sur un piano bien accordé, l'octave juste n'est pas l'octave naturelle mais une octave agrandie d'une fraction de comma. Cependant elle attribue cet agrandissement, non à un facteur culturel, comme je le fais avec la théorie du TEQJ, mais à un phénomène physique : l'inharmonicité des cordes du piano. Qu'est-ce donc que l'inharmonicité, phénomène qui effectivement joue un grand rôle dans l'accord du piano ?

On sait que, par définition, l'octave juste correspond à un rapport de fréquences de 2/1. La sensation de justesse viendrait, comme pour la quinte 3/2, de l'absence de battement, qui caractérise un intervalle naturel. En effet, si une octave correspond au rapport 2/1, le 2<sup>e</sup> harmonique de la note de basse qui présente une fréquence double de celle de la note fondamentale, va se trouver en principe à la même hauteur et donc confondu avec la note aiguë de l'octave : il n'y aura pas de battement et l'octave sera dite "pure" ou "naturelle". Or dans la réalité, ce n'est pas ce qui se passe : les cordes du piano ne présentent pas de véritables harmoniques \* note 5, mais des partiels qui sont toujours plus hauts que les harmoniques. Par conséquent, si, sur un piano, on accorde une note à l'octave aiguë d'une autre note en lui donnant une fréquence double de celle de cette note, l'octave ne va pas sonner "naturelle" mais émettre des battements parce que, dans un tel cas, le 2<sup>e</sup> partiel de la note de basse présente une fréquence supérieure à celle de la note aiguë au lieu de se trouver exactement à sa hauteur comme ce serait le cas pour un véritable harmonique de la note grave. Pour éviter ce phénomène qui ferait paraître la note aiguë trop basse, l'accordeur agrandirait donc instinctivement l'octave afin de replacer la note aiguë exactement à la hauteur du second partiel de la note de basse, rétablissant ainsi la justesse "naturelle" de l'octave. J'étudie actuellement les conséquences de l'inharmonicité sur l'accord du piano et cette étude me conduit à penser qu'elles sont importantes dans l'aigu et dans l'extrême aigu ainsi que, pour certains instruments aux cordes trop courtes, dans le registre grave. Mais les distorsions dues à l'inharmonicité restent en général assez limitées dans le médium. Dans ce registre l'agrandissement de l'octave visant à corriger l'inharmonicité reste trop faible pour rétablir entièrement la justesse des quintes. Celle-ci ne se trouve rétablie que dans l'aigu où l'inharmonicité est au contraire très forte et dilate de plus en plus les octaves et donc tous les autres intervalles tempérés, dont la quinte qui redevient effectivement juste. Un tel système, s'il se rapproche bien plus du TEQJ que de la gamme tempérée, fournit malgré tout une échelle qui, pour un diapason donné, présente dans l'aigu des notes plus basses que celles de l'échelle orchestrale enserrée du grave à l'aigu dans des quintes justes puis très probablement dans des quintes dilatées au-dessus du *mi4* des chanterelles (voir ci-dessus). Des expériences restent à faire, pour savoir si l'agrandissement de l'octave, présent dans les deux thèses (et constatée par tous les laboratoires d'acoustique) s'explique par l'inharmonicité des cordes du piano ou bien par la théorie du TEQJ qui rétablit entièrement la justesse des rapports de quinte comme c'est le cas pour les instruments d'orchestre et les chanteurs. Ce qui est heureux, c'est que les deux thèses aillent dans le même sens, à savoir une dilatation des octaves et un retour des quintes vers leur valeur orchestrale (avec rétablissement total pour ce qui est du TEQJ). Certes l'explication est différente : l'un des deux accords se présente comme une gamme tempérée "corrigée" en fonction de l'inharmonicité, l'autre comme une nouvelle théorie de la justesse, qu'elle soit orchestrale ou pianistique. Les deux présentent cependant des fréquences assez voisines mais également éloignées de celles de la gamme tempérée théorique. On distingue donc aisément l'un de ces deux accords de la gamme tempérée théorique (fournie automatiquement par les accordeurs électroniques), mais il n'est pas certain que tout le monde distingue la "gamme tempérée avec correction d'inharmonicité" du TEQJ. Et si la distinction s'avère possible, quel accord s'avérera alors le plus juste, ou plutôt le plus musical ? Y-aura-t-il des préférences nettes selon les individus ou le répertoire ? Seules les expériences que je vais entreprendre avec le concours de pianistes, de musicologues et de musiciens permettront de trancher dans un sens ou dans l'autre. En tout cas, c'est là que se situe désormais le véritable choix et non entre le TEQJ et la gamme tempérée toujours décrite dans les encyclopédies et les méthodes d'accord, gamme dont l'inadéquation à notre perception actuelle de la justesse a pourtant été mise en évidence par l'utilisation d'accordeurs électroniques. Dans les recherches sur le tempérament et la justesse, il convient sans doute d'avancer en bousculant les idées reçues : on ne peut en effet qu'être atterré par le retard invraisemblable (près de deux siècles) pris par la théorie qui continue à prôner la "justesse naturelle", sur la pratique réelle des musiciens, retard aussi préjudiciable à cette pratique qu'à la compréhension de l'écriture musicale et de son évolution.

## NOTES

(1) Parmi lesquelles, celles de Yehudi MENUHIN, Paul BADURA-SKODA, Alfred BRENDEL, Dalton BALDWIN, Nicole AFRIAT, Pierre-Laurent AIMARD, Roland de CANDÉ, Jacques CHAILLEY, Pi-hsien CHEN, Gérard CONDÉ, François-René DUCHÂBLE, Pascal DUSAPIN, Thérèse DUSSAUT, Peter EÖTVÖS, Maurice FLEURET, Henri FOURÈS, Kazuoki FUJII, André GOROG, Jean-Marie GOUELOU, Jean GUILLOU, Eric et Tania HEIDSIECK, Yves HENRY, Cyril HUVÉ, Christian IVALDI, Pierre JANSEN, Irène JARSKY, Martine JOSTE, Claude LAVOIS, Yvonne LEFÉBURE, Denis LEVAILLANT, Emile LEIPP, Alain LOUVIER, François-Bernard MÂCHE, Bernard MAUPIN, Roland MEILLER, Dominique MERLET, Alain MOTARD, Alain NEVEU, Jean-Claude PENNETIER, Yves POTREL, Pierre RÉACH, Jean-Claude RISSET, Patrice SCIORTINO, Catherine SILIÉ, Fernand VANDENBOGAERDE, René VIGNOLLES, Colette ZERAH.

(2) Pour mémoire, rappelons que la quinte juste se définit acoustiquement par le rapport 3/2, ce rapport correspondant à celui des fréquences des deux notes constituant une telle quinte. Ce sont ces quintes qui sont utilisées à l'orchestre, tout particulièrement pour l'accord des instruments à cordes, mais les autres instruments et les chanteurs utilisent également des quintes justes et non les quintes dites "tempérées" du piano.

(3) Rappelons ici également les deux manières de mesurer les intervalles. Lorsqu'on joue une première quinte juste ascendante comme *do/ sol*, par exemple, suivie d'une seconde comme *sol/ ré*, l'oreille perçoit une succession ou addition de 2 intervalles égaux : par 2 fois, l'oreille perçoit le franchissement d'une même différence de hauteur : celle caractérisant la quinte juste. Si l'on sait qu'une quinte juste vaut 31 commas (voir note 4 plus bas) l'oreille franchit, en passant d'un *do* à un *ré* situé à la 9<sup>e</sup> supérieure, une différence de hauteur égale à 31+31 = 62 commas. Ceci, c'est ce que nous percevons. Dans la réalité, il se produit en fait deux multiplications successives de la fréquence de la note de départ (ici *do*) par un même rapport, 3/2 qui caractérise l'intervalle de quinte juste. Lorsque nous percevons entre deux notes, un intervalle de quinte juste, c'est en effet que la fréquence (nombre de vibrations à la seconde) de la note aiguë de la quinte est 1,5 fois plus élevée que la fréquence de la note grave. On pourrait exprimer également ce fait en disant que lorsque l'oreille perçoit entre 2 notes un intervalle de quinte juste, c'est que le rapport de la fréquence de la note aiguë sur celle de la note grave est égale à 3/2 ou 1,5. Dans l'exemple que nous avons pris ici, la fréquence du *do* étant de 260 vibrations /seconde, celle du *sol* à la quinte juste supérieure sera donc de 260 x 1,5 = 390 *hz* et celle du *ré* situé une quinte plus haut, c'est-à-dire à la 9<sup>e</sup> du *do* initial, sera de 390 x 1,5 = 585 *hz*. On voit donc que le rapport de 9<sup>e</sup> majeure est de 585/260, c'est-à-dire 260 x 1,5 x 1,5/260 = 1,5 x 1,5 soit 2,25. Là où l'oreille perçoit une addition d'intervalles semblables (ici 2 quintes justes soit 31 commas + 31 commas = 62 commas), il se produit en réalité une multiplication de la fréquence initiale 2 fois par le même rapport de fréquences caractérisant cette quinte :

$$1,5 \times 1,5 = 2,25.$$

Réciproquement, connaissant le rapport de 9<sup>e</sup> majeure soit 2,25, il est possible de connaître celui de la quinte juste puisque une 9<sup>e</sup> majeure est le résultat de 2 quintes justes successives : ce sera le rapport qui multiplié 2 fois par lui-même donne le rapport de 9<sup>e</sup>, soit 2,25 : si nous appelons *y* ce rapport de quinte juste, il devra être tel que :

$$y \times y = 2,25 \text{ ou } y^2 = 2,25$$

On voit donc que le rapport, *y*, correspondant à la quinte juste sera la racine carrée de 2,25, c'est-à-dire le nombre qui multiplié 2 fois par lui-même redonne 2,25, ce qui s'écrit :

$$y = 2,25^{1/2}$$

Chaque intervalle peut donc être considéré comme une différence de hauteur (ici exprimée en commas) mais aussi comme le rapport des fréquences des 2 notes le composant. A chaque intervalle correspond donc un nombre de commas mais également un rapport de fréquences. Les différences de hauteur exprimées en commas (ou dans d'autres unités de hauteur dites "logarithmiques" comme le savart ou le cent) s'ajoutent ou se retranchent là où les rapports de fréquences se multiplient ou se divisent l'un par l'autre.

Ainsi la différence de hauteur caractérisant l'octave juste peut être considérée comme la somme d'une quinte qui vaut 31 commas et d'une quarte qui en vaut 22 :

$$1 \text{ octave} = 1 \text{ quinte} + 1 \text{ quarte} = 31 \text{ com.} + 22 \text{ com.} = 53 \text{ commas.}$$

Mais le rapport de fréquence caractérisant l'octave est égal au rapport de quinte 3/2 MULTIPLIÉ par celui de quarte 4/3 :

$$\text{rapport d'octave} = 3/2 \times 4/3 = 2/1 \text{ ou } 2.$$



Le partage de l'octave en 12 demi- tons égaux qui nous intéresse ici peut lui-même être envisagé de deux manières selon qu'on s'intéresse aux différences de hauteurs ou aux fréquences et à leurs rapports. Que vaut, dans les deux cas, un demi-ton du tempérament égal classique ?

Exprimé en commas, il vaut tout simplement la valeur de l'octave divisée par 12 :

$$1/2 \text{ ton tempéré} = 53 \text{ commas} : 12 = 4,41666\dots \text{commas.}$$

Exprimé en rapport de fréquences, ce demi- ton doit avoir une valeur, **d**, telle que multipliée 12 fois par elle- même, elle donne 2, c'est- à- dire le rapport d'octave. Il faut donc que :

$$d \times d \times d \times d \times d \times d \times d \times d \times d \times d \times d \times d = 2 \quad \text{soit : } d^{12} = 2$$

$$d = 2^{1/12}$$

C'est- à- dire la racine 12<sup>e</sup> de 2 qu'il est facile d'obtenir avec une calculette de poche :

$$\text{d'où } d = 2^{1/12} = 1,05946\dots$$

Connaissant ce chiffre et sachant que le *la*3 (le *la* du diapason) est fixé à un diapason quelconque (par exemple 442), il est alors facile d'obtenir toutes les fréquences des notes de la gamme tempérée : il suffit de diviser 442 par **d**, le rapport de demi- ton, pour obtenir la fréquence de *sol*#3 :

$$F_{\text{sol}\#3} = 442 : 1,05946\dots = 417,192\dots$$

puis la fréquence de *sol*# à nouveau par **d**, pour avoir celle de *sol*/3 :

$$F_{\text{sol}/3} = 417,192\dots : 1,05946$$

et ainsi de suite pour avoir toutes les fréquences des notes plus graves que *la*3. Pour les notes plus aiguës, il suffit de multiplier 442 par **d** pour avoir la fréquence de *la*#3, et ainsi de suite pour les notes plus aiguës.

(4) Par souci de simplicité, j'utilise ici comme unité le "comma de Holder" qui vaut par définition 1/53<sup>e</sup> d'octave naturelle. Dans ces conditions la quinte juste (la quinte des violonistes ou du TEQJ) vaut avec une excellente approximation 31 commas (très exactement 31,003 commas de Holder) et la quarte en vaut donc : 53 - 31 = 22. Il est alors très facile de retrouver par un simple calcul arithmétique la composition en commas de la gamme de Pythagore.

(5) Lorsqu'on perçoit un son musical, le *do* grave d'un violoncelle, par exemple, on croit entendre un seul son ayant pour hauteur le son perçu, ici un *do* grave. En réalité ce son est la plupart du temps un son complexe qui résulte de la synthèse de plusieurs autres sons plus aigus que le son perçu et qui portent le nom de sons harmoniques ou "harmoniques", le son perçu s'appelant, quant à lui, son fondamental. Les "harmoniques" se présentent toujours dans un ordre immuable du grave à l'aigu à partir du son fondamental : une octave au-dessus du son fondamental se trouve l'harmonique de rang 2 ou 2<sup>e</sup> harmonique (le rang 1, le plus grave, étant celui du son fondamental qui est donc considéré comme le 1<sup>er</sup> harmonique...). Dans l'exemple choisi, c'est donc encore un *do*. Appelons-le *do*2 pour le distinguer du *do* fondamental que nous appellerons *do*1. Le 3<sup>e</sup> harmonique est l'harmonique dit "de quinte" parce qu'il se trouve toujours une quinte au-dessus du 2<sup>e</sup> ; c'est donc ici un *sol*. Le 4<sup>e</sup> harmonique est une quarte au-dessus du 3<sup>e</sup> : c'est à nouveau un *do* que nous appellerons *do*3 et qui se trouve donc toujours à 2 octaves du son fondamental. Le 5<sup>e</sup> harmonique appelé "harmonique de tierce" se trouve une tierce majeure au-dessus du 4<sup>e</sup> : c'est ici un *mi*. Le 6<sup>e</sup> se trouve une tierce mineure au-dessus du 5<sup>e</sup> et est donc à une octave au-dessus du 3<sup>e</sup> : c'est ici un *sol*. Le 7<sup>e</sup> appelé "7<sup>e</sup> naturelle" est une tierce mineure au-dessus du 6<sup>e</sup>, c'est ici un *si*b. Le 8<sup>e</sup> est un *do*4, le 9<sup>e</sup> un *ré*, c'est la "9<sup>e</sup> naturelle" etc. Les sons graves des instruments émettent de 20 à 30 harmoniques audibles mais dont l'intensité est d'autant plus faible que l'harmonique est éloigné.

Sur le tableau ci-dessous, j'ai représenté les 20 premiers harmoniques d'un *do* et aussi, pour donner un autre exemple, les 20 premiers harmoniques d'un *sol*.

Les fréquences des sons harmoniques sont toutes des fréquences multiples de la fréquence du son fondamental. si la fréquence du *do* fondamental est de 260 *hz* (vibrations/seconde), celle du 2<sup>e</sup> harmonique *do2* sera de  $260 \times 2 = 520$  *hz*, celle du 3<sup>e</sup> harmonique *sol* sera de  $260 \times 3 = 780$  *hz*, celle du 4<sup>e</sup>, *do3*, sera de  $260 \times 4 = 1040$  *hz* etc... Les harmoniques d'un *sol* fondamental de fréquence 100 *hz* présenteront donc des fréquences successives de 200 *hz*, 300 *hz*, 400 *hz*, 500 *hz*, 600 *hz*, 700 *hz* etc... conformément au tableau ci-dessous :

TABLEAU DES HARMONIQUES DE DEUX SONS COMPLEXES				
RANG	NOTE	FRÉQUENCE	NOTE	FRÉQUENCE
20	mi	5200	si	2000
19	ré#	4960	la#	1900
18	ré	4680	la	1800
17	do#	4420	sol#	1700
16	do5	4160	sol5	1600
15	si	3900	fa#	1500
14	si $\flat$	3640	fa	1400
13	la	3380	mi	1300
12	sol	3120	ré $\flat$	1200
11	fa#	2860	do#	1100
10	mi	2600	si	1000
9	ré	2340	la	900
8	do4	2080	sol4	800
7	si $\flat$	1820	fa	700
6	sol	1560	ré	600
5	mi	1300	si	500
4	do3	1040	sol3	400
3	sol	780	ré	300
2	do2	520	sol2	200
1	DO	260	SOL	100

En principe, seuls les sons fondamentaux entretenus (tels ceux des instruments à archet ou encore les instruments à vent présentent de vrais harmoniques, c'est-à-dire des sons dont les fréquences sont EXACTEMENT des multiples de la fréquence du son fondamental. Ce n'est pas le cas des sons non entretenus, comme les sons du piano, de la harpe, de la guitare ou encore des sons "pizzicati" des cordes. Dans ce cas les sons qui accompagnent le son fondamental, sont toujours plus hauts que les véritables harmoniques : on les appelle alors des partiels. Voici à titre d'exemple les 10 premiers harmoniques d'un *la3* de violon et, à côté, les 10 premiers partiels du même *la3* joué au piano :

	VIOLON	PIANO	ÉCARTS
	Fréquences		
	Harmoniques	Partiels	
10 Do#	4400	4556	2,7 commas : proche d'un demi ton !!
9 Si	3960	4073	2,2
8 La 6	3520	3600	1,7
7 Sol	3080	3133	1,3
6 Mi	2640	2672	1
5 Do#	2200	2219	3/4
4 La	1760	1769	1/2
3 Mi	1320	1324	1/4
La 4	880	881	1/10
LA 3	440	440	0 comma