

Chapitre 6

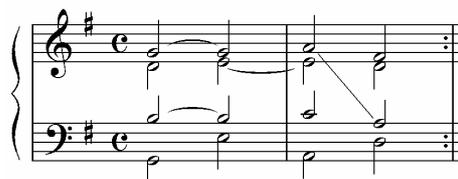
Tempéraments et systèmes d'accordage

1 Position du problème

Si le tempérament appartient par nature aux instruments à sons fixes (les instruments à clavier en particulier, mais aussi la harpe, les instruments à frettes, etc.), le problème qu'il tente de résoudre est plus général : c'est l'incompatibilité théorique entre les quintes et les tierces justes. On constate en effet que quatre quintes justes, comme *sol-ré-la-mi-si*, n'aboutissent pas à une tierce majeure juste (*sol-si*), mais bien à une tierce un peu plus grande. Ce problème peut être mis en lumière par l'expérience suivante : sur un violon bien accordé, on joue avec la meilleure justesse possible l'accord de *sol* majeur, *sol-ré-si*, avec *sol* et *ré* deux cordes à vide et *si* sur la corde de *la*. Ensuite, sans bouger le doigt qui fait le *si*, on joue le *mi* sur la chanterelle, comme dans l'exemple ci-contre. On constate alors que le *si*, juste par rapport au *sol* et au *ré*, est trop bas pour le *mi* ; la quarte *si-mi* est fausse. Et si le *si* s'ajuste à la quarte sous le *mi*, il devient faux par rapport à *sol* et *ré*. Le violoniste est contraint soit de modifier légèrement la position du doigt et l'intonation du *si* entre le premier et le deuxième accord, soit de jouer le *si* un peu plus haut, moins juste dans l'accord de *sol*, mais moins faux avec le *mi* — ce faisant, il tempère le *si*.



Un autre problème, lié au précédent, est qu'une trop grande justesse peut avoir pour conséquence une dérive du diapason. Considérons l'exemple ci-contre, qui pourrait être destiné à un quatuor à cordes. Le *si*, dans le premier accord, est à la tierce juste du *sol* ; ensuite, une chaîne continue de quintes, *si-mi-la-ré-sol*, ajustées



chaque fois par les notes communes, ramène au *sol* initial après la reprise. La situation est donc semblable à celle de l'exemple ci-dessus¹. On peut mesurer que ce deuxième *sol*, si tous les musiciens ont joué parfaitement juste, se situe un comma, c'est-à-dire presque le quart d'un demi-ton, plus bas que le premier ; si le passage est répété quatre fois, le dernier *sol* se situera presque un demi-ton plus bas que celui du début. De tels problèmes ne peuvent être résolus que par des compromis qui ont pour effet d'altérer la justesse.

Le problème de la justesse peut se résumer dans les quelques constatations qui suivent :

— douze quintes et quarts, comme *la^b-mi^b-si^b-fa[♯]-do[♯]-sol[♯]-ré-la-mi-si-fa[♯]-do[♯]-sol[♯]*, ne produisent pas un unisson ou une octave juste. La note la plus diésée (ici, *sol[♯]*) est un comma pythagoricien (0,24 demi-tons tempérés) plus haut que la note la plus bémolisée (ici, *la^b*).

— quatre quintes et quarts, comme *do-sol-ré-la-mi*, ne produisent pas une tierce majeure juste. La tierce *do-mi* obtenue par quintes et quarts est un comma syntonique (0,22 demi-tons tempérés)² plus grande que la tierce majeure juste (4,08 demi-tons tempérés pour la première, contre 3,86 pour la seconde).

¹ Plus précisément, le *si* est d'abord ajusté avec le *sol*, comme dans l'exemple précédent ; ensuite, le *mi* de la basse et de l'alto est ajusté avec le *si* et se trouve donc plus bas que la corde à vide correspondante du violon. Les notes suivantes, ajustées avec le *mi*, sont toutes plus basses que les cordes à vide.

² On notera que ce comma n'est pas le même que le précédent. Les énoncés ci-dessus peuvent être considérés aussi comme la définition des commas en question : le comma pythagoricien est la différence entre douze quintes et quarts et une octave ; le comma syntonique est la différence entre quatre quintes et quarts et une tierce majeure. Sur le calcul des valeurs en demi-tons tempérés, voir l'annexe 2).

— trois quintes et quarts, comme *do–sol–ré–la*, ne produisent pas une tierce mineure juste. La tierce mineure *la–do* obtenue par quintes et quarts est un comma syntonique plus petite que la tierce mineure juste (2,94 demi tons tempérés au lieu de 3,16).

Le mot « tempérament » se réfère à l’altération d’un intervalle juste, normalement la quinte, rendue légèrement fausse dans le but de résoudre, tant que faire se peut, le problème qui vient d’être décrit. Les instruments à sons fixes sont contraints d’établir le tempérament une fois pour toute, au moment où on les accorde. Les autres instruments peuvent tempérer les intervalles aux seuls moments où cela s’avère nécessaire. Les paragraphes ci-dessous ne prétendent pas faire une histoire détaillée des tempéraments, sujet complexe et spécialisé. Ils visent seulement à proposer une terminologie et à décrire des catégories générales de systèmes d’accord.

2 Systèmes et tempéraments réguliers

On appelle *tempérament régulier* un tempérament dont toutes les quintes sont les mêmes — justes ou fausses. Il faut noter cependant que, dans la plupart des cas (la seule exception étant le tempérament égal, voir 2.2), une « quinte » unique reste fausse ou, plus précisément, forme en réalité une sixte diminuée. Si on accorde par exemple les douze touches d’un clavier sur les notes *mi_b–si_b–fa–do–sol–ré–la–mi–si–fa_#–do_#–sol_#*, en quintes justes, il en résulte une « quinte » apparente, *sol_#–mi_b*, (prise pour *sol_#–ré_#* ou *la_b–mi_b*), qui ne sera pas juste. Cette « quinte » (plus exactement cette sixte diminuée) est appelée « quinte du loup ».

2.1 Système pythagorien

Le système pythagorien a été décrit dans l’Antiquité grecque³ et constitue le seul système théorique discuté dans les traités médiévaux ; c’est l’accord en quintes justes. Ce n’est donc pas un tempérament, puisque les quintes n’y sont pas tempérées. Il s’agit probablement d’un système essentiellement théorique et il est difficile de mesurer dans quelle mesure il a véritablement été utilisé en pratique. Ses principales caractéristiques ont déjà été indiquées ci-dessus :

— l’enharmoine, après douze quintes (comme de *do* à *si_#*), est un intervalle d’un comma pythagorien, où la note la plus diésée est un comma plus haut que l’autre.

— la quinte du loup est trop petite d’un comma : elle mesure 6,78 demi-tons, au lieu de 7,02 pour la quinte juste. Par exemple, dans *sol_#–mi_b*, le *mi_b* est un comma plus bas que son enharmonie le *ré_#* (ou bien le *sol_#* est un comma plus haut que son enharmonie le *la_b*).

— les tierces majeures mesurent un comma syntonique de plus que les tierces majeures justes (4,04 demi-tons au lieu de 3,86), les tierces mineures un comma de moins que les tierces mineures justes (2,96 au lieu de 3,16).

Le tableau 1 donne la hauteur des douze notes de la gamme chromatique pythagoricienne, en demi-tons tempérés, à compter du *do* pris pour origine.

<i>do</i>	<i>do_#</i>	<i>ré</i>	<i>mi_b</i>	<i>mi</i>	<i>fa</i>	<i>fa_#</i>	<i>sol</i>	<i>sol_#</i>	<i>la</i>	<i>si_b</i>	<i>si</i>	<i>do</i>
0	1,14	2,04	2,94	4,08	4,98	6,12	7,02	8,16	9,06	9,96	11,10	12

Tableau 1 : Système pythagorien

On voit que le demi-ton chromatique (*do–do_#*) est plus grand que le demi-ton diatonique (*do_#–ré*) : le premier vaut 1,14 demi-tons tempérés, contre 0,9 pour le second. Si certains professeurs de solfège enseignent encore aujourd’hui que le demi-ton chromatique est plus grand que le demi-ton diatonique, c’est par référence implicite (et inconsciente, chez la plupart d’entre eux) au système pythagori-

³ On ne discutera pas ici de savoir si Pythagore a vraiment existé — ce n’est pas certain. Il existe dans l’Antiquité une « école pythagoricienne » qui se réclame de ce personnage plus ou moins mythique. C’est donc à tout le moins à cette école que le système doit son nom. Quand au mot « système », il est utilisé ici pour désigner l’organisation des hauteurs utilisables pour la musique. C’est dans le même sens qu’on parle du « système diatonique ».

cien. En réalité, comme on le verra plus loin, le demi-ton chromatique est plus petit que le demi-ton diatonique dans la plupart des tempéraments dont l'usage est historiquement attesté.

La différence entre le demi-ton chromatique et le demi-ton diatonique est un comma pythagoricien. Le ton⁴, en outre, qui mesure 2,04 demi-tons tempérés, vaut approximativement neuf commas ($2,04 / 9 = 0,23$), ce que les théoriciens de l'Antiquité avaient déjà observé. On peut soutenir alors que le demi-ton diatonique vaut quatre commas, le demi-ton chromatique cinq commas, et que l'octave entière se subdivise en 53 commas (5 tons de 9 commas et 2 demi-tons diatoniques de 4 comma). C'est un système théorique, connu sous le nom de « système de Holder »⁵ ou « système solfégique » qui remonte à la fin du XVI^e siècle et qui a été enseigné dans nos cours de solfège jusque vers le milieu du XX^e siècle.

Les tierces produites par le système pythagoricien paraissent trop fausses pour être utilisées comme consonances verticales⁶. Les théoriciens de la fin du Moyen Âge ont découvert un moyen de contourner cette difficulté sans déroger à une tradition vénérable. Ils ont constaté en effet que la quarte diminuée, correspondant par enharmonie à la tierce majeure, était en réalité considérablement plus juste : l'intervalle *ré-sol*_b, par exemple, est plus petit d'un comma que *ré-fa*_# (3,84 demi-tons au lieu de 4,08, qu'il faut comparer à la valeur de la tierce majeure juste, 3,86 demi-tons). On trouve donc, dès le XV^e siècle, la description d'accordages où *ré-fa*_# est remplacé par *ré-sol*_b, *mi-sol*_# par *mi-la*_b, *la-do*_# par *la-ré*_b. Il semble que cet artifice ait été décrit dans la théorie arabe dès le XIII^e siècle. Mais il paraît vraisemblable que les chantres n'avaient pas attendu les théoriciens pour chanter des tierces justes.

2.2 Tempérament égal

On vient de voir que deux notes enharmoniques dans le système pythagoricien, comme *do* et *si*_# obtenu après douze quintes et quarts, sont distantes d'un comma (0,24 cents). On comprend aisément que si chacune des douze quintes était diminuée (« tempérée ») de la douzième partie d'un comma⁷, le *si*_# se situerait un comma plus bas, à l'unisson du *do*. C'est le tempérament égal, qui est un tempérament « au douzième de comma ». La quinte juste vaut 7,02 demi-tons tempérés ; la douzième partie du comma pythagoricien vaut $0,24/12 = 0,02$ demi-tons tempérés. La quinte tempérée au douzième de comma vaut donc $7,02 - 0,02 = 7$ demi-tons tempérés. Le demi-ton tempéré est lui-même le résultat de la division de l'octave en douze parties égales.

Ce système est simple à concevoir, mais très difficile à calculer mathématiquement et plus encore à réaliser pratiquement. On en a parlé depuis l'Antiquité, on en a produit des calculs à peu près exacts à partir du XVI^e siècle, l'invention des logarithmes au XVII^e siècle a permis des calculs plus précis (voir l'annexe 2), mais les accordeurs ne sont parvenus à en faire vraiment usage qu'à partir du XIX^e siècle⁸. L'idée répandue selon laquelle les deux volumes du *Clavier bien tempéré* de Jean-Sébastien Bach étaient destinés au tempérament égal est donc absolument erronée. Bach visait l'un des « Bons tempéraments » qui seront décrits au paragraphe 3.2 ci-dessous.

Le tempérament égal est le seul tempérament régulier qui ne comporte pas de « quinte du loup » : puisque les enharmonies y correspondent à des unissons, les intervalles par enharmonie (comme la sixte diminuée décrite plus haut comme « quinte du loup ») sont évidemment identiques à ceux auxquels ils correspondent. Ceci vaut non seulement pour la quinte, mais aussi pour les autres

⁴ Comme tous les systèmes réguliers, le système pythagoricien n'a qu'une seule valeur pour le ton : il équivaut à deux quintes moins une octave. Puisque les quintes sont toutes de même grandeur, le ton l'est aussi.

⁵ Du nom d'un pédagogue anglais du XVIII^e siècle qui en a été l'ardent défenseur.

⁶ Par « consonance verticale », on entend ici la consonance entre deux notes sonnantes ensemble, à l'intérieur d'un accord par exemple. Toutes les valeurs de consonance utilisées dans ce cours concernent les consonances verticales. Le cas de la consonance entre deux notes successives est plus complexe et ne pourra être discuté ici. Il faut signaler seulement que les tierces pythagoriciennes sont probablement plus acceptables comme dissonances de succession que comme dissonances entre notes simultanées.

⁷ Dans tous les tempéraments utilisés en musique occidentale, l'octave est respectée : si la quinte est rendue plus petite, il faut évidemment que la quarte soit rendue plus grande, pour que l'octave reste juste. Les quarts seront donc ici augmentés d'un douzième de comma.

⁸ Ce retard ne provient pas seulement des difficultés de calcul, mais aussi du fait que le tempérament égal sonnait relativement mal sur les clavecins. C'est l'évolution de la facture des pianos qui l'a rendu utilisable.

intervalles par enharmonie, quarts diminués et tierces majeures, par exemple. Le tempérament égal a donc rendu possible un usage plus systématique des modulations par enharmonie, caractéristiques de l'harmonie romantique. Par contre, il a le défaut de donner le même timbre à toutes les tonalités, puisque les intervalles de même dimension y sont tous semblables. Plusieurs théoriciens du XVIII^e siècle ont rejeté le tempérament égal en faisant remarquer qu'il n'y servirait à rien d'écrire dans des tonalités très diésées ou très bémolisées si leur sonorité n'était pas différente de celle des tonalités plus simples. Dans ce contexte, le but du *Clavier bien tempéré* apparaît sous un jour nouveau : il ne s'agissait pas seulement de montrer qu'il était possible de jouer dans tous les tons, mais aussi d'illustrer la sonorité particulière à chacune des vingt-quatre tonalités⁹.

2.3 Tempéraments mésotoniques

Les systèmes et tempéraments réguliers, parce qu'ils n'ont par définition qu'une seule valeur pour la quinte, n'ont aussi qu'une seule valeur pour la seconde majeure — qui vaut deux quintes moins une octave. Le ton divise la tierce majeure en deux parties égales. Tous les systèmes réguliers sont donc « mésotoniques » — ce mot, qui signifie « ton moyen », indique que le ton vaut la moitié de la tierce majeure. Le terme « mésotonique » n'est apparu qu'au XVI^e siècle, au moment où ont été développés des systèmes irréguliers (décrits au paragraphe 3 ci-dessous) qui proposent plusieurs valeurs différentes pour la seconde majeure. Les tempéraments mésotoniques sont donc les tempéraments réguliers décrits à partir du XVI^e siècle, à la fois postérieurs au système pythagoricien et antérieurs au tempérament égal ; ces deux derniers qui, à strictement parler, sont aussi mésotoniques, ne sont cependant généralement pas compris dans cette catégorie.

Un des enjeux importants, au XVI^e siècle, au moment où se développait une écriture de plus en plus verticale, a été de produire des tierces verticales aussi consonantes que possible. On a vu plus haut que quatre quintes et quarts (comme *do-sol-ré-la-mi*) produisent une tierce majeure trop grande d'un comma syntonique (0,22 demi-tons). Pour produire une tierce majeure juste, il faut donc faire quatre quintes diminuées chacune d'un quart de comma (0,055 demi-tons) : c'est le tempérament « au quart de comma ». La quinte tempérée y vaut 6,965 demi-tons, contre 7,02 pour la quinte juste. Le tableau 2 donne les valeurs de chacun des degrés de la gamme chromatique tempérée au quart de comma¹⁰. On constate immédiatement que le demi-ton chromatique est plus petit que le demi-ton diatonique (0,75 contre 1,18 demi-tons). Cela signifie aussi que, dans une enharmonie, la note la plus diésée est plus basse que la note la plus bémolisée, contrairement à ce qui s'obtenait dans le système pythagoricien¹¹. La quinte du loup, *sol#-mi♭*, est plus grande que la quinte tempérée, 7,38 demi-tons au lieu de 6,96.

<i>do</i>	<i>do#</i>	<i>ré</i>	<i>mi♭</i>	<i>mi</i>	<i>fa</i>	<i>fa#</i>	<i>sol</i>	<i>sol#</i>	<i>la</i>	<i>si♭</i>	<i>si</i>	<i>do</i>
0	0,75	1,93	3,10	3,86	5,04	6,12	6,96	7,72	8,89	9,96	10,83	12

Tableau 2 : Tempérament au quart de comma

Dans le tempérament mésotonique au quart de comma, la tierce majeure est juste et la quinte assez fausse. On peut imaginer des tempéraments intermédiaires, où la tierce est un peu moins juste et la quinte un peu moins fausse. De nombreux systèmes de ce type ont été proposés, où la quinte est tempérée d'une valeur plus petite que le quart de comma¹². Ces tempéraments ne permettent

⁹ Il est d'ailleurs assez surprenant de constater que même aujourd'hui, où le tempérament égal paraît régner en maître, les tonalités conservent leur couleur propre : tel *Impromptu* de Schubert, écrit à l'origine en *sol* bémol, n'a pas la même sonorité s'il est joué en *sol*. Cette différence ne tient certainement pas seulement à la différence de hauteur d'un demi-ton, qui n'est de toute manière probablement pas la hauteur à laquelle Schubert a pensé l'œuvre (voir le chapitre 7), mais aussi à nombre d'autres facteurs, parmi lesquels par exemple les doigtés différents du pianiste.

¹⁰ Les valeurs sont arrondies à deux décimales : une différence d'un centième de demi-ton est de toute manière inaudible.

¹¹ La distance entre notes enharmoniques est ici de deux commas. On avait vu, au paragraphe consacré au tempérament égal (§ 2.2) que l'octave devait être diminuée d'un comma pour que l'enharmone devienne un unisson. Le tempérament au quart de comma diminue l'octave de trois comma ($12 \times \frac{1}{4}$), deux commas de plus qu'au tempérament égal.

¹² La plus petite valeur du tempérament est le douzième de comma, qui donne le tempérament égal (voir § 2.2).

normalement pas l'enharmoine, ce qui veut dire que les touches noires du clavier peuvent être utilisées pour jouer $do\sharp$, $mi\flat$, $fa\sharp$, $sol\sharp$ et $si\flat$, mais qu'on ne peut pas jouer $ré\flat$, $ré\sharp$, $sol\flat$, $la\flat$ ou $la\sharp$. Pour la même raison, on ne peut jouer les tierces majeures $si-ré\sharp$, $ré\flat-fa$, $fa\sharp-la\sharp$ ou $la\flat-do$, ni les tonalités qui utiliseraient ces notes et ces intervalles, mi majeur, $ré\flat$ ou $la\flat$ majeur, $si\flat$ mineur, si (majeur ou mineur), etc.

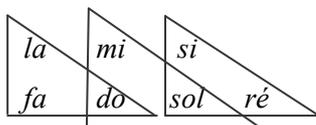
3 Systèmes irréguliers

Un système irrégulier est un système où les quintes n'ont pas toutes la même valeur : certaines sont tempérées alors que d'autres sont justes, ou encore certaines sont plus tempérées que d'autres. Deux cas très différents seront envisagés ici : celui des systèmes « justes », essentiellement théoriques et qui, contrairement à ce que semble indiquer leur nom, sont peu utilisables, et celui des « bons » tempéraments qui, au contraire, ont en général une bonne utilité pratique.

3.1 Systèmes « justes »

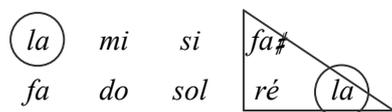
On aimerait évidemment réussir à accorder justes les tierces majeures et les quintes. Diverses propositions ont été faites dans ce sens, qui aboutissent rapidement à une impasse. Ces systèmes ont été appelés « justes » bien qu'en réalité, comme on le verra, ils ne permettent pas une justesse complète, loin s'en faut. Une des premières grandes descriptions modernes d'un système juste est due à Giuseppe Zarlino, au milieu du XVI^e siècle : c'est la raison pour laquelle le système juste est parfois appelé système zarlinien.

Considérons d'abord la gamme chromatique. On peut accorder successivement le la et le do comme tierce juste et quinte juste du fa , puis le mi et le sol comme tierce et quinte du do , puis le si et le $ré$ comme tierce et quinte du sol . Cet accord peut se représenter par un tableau où les notes alignées verticalement sont à distance de tierce juste, les notes alignées horizontalement à distance de quinte juste, comme ceci :



La gamme diatonique se compose ainsi de trois accords parfaits majeurs, de fa , de do et de sol , accordés parfaitement justes¹³. Comme on l'a vu plus haut, la tierce majeure juste est plus petite d'un comma que celle que l'on obtient en quatre quintes. Les notes de la ligne supérieure du tableau se situent donc un comma plus bas que celles qu'on obtiendrait en poursuivant la série des quintes de la ligne inférieure.

Si, pour progresser vers la gamme chromatique, on voulait ajouter au tableau ci-dessus un accord juste de $ré$ majeur, comme ceci,



on constaterait la présence de deux la (cerclés dans le tableau) dont l'un, à la tierce du fa , est plus bas d'un comma que l'autre, à la quinte du $ré$. Ceci signifie qu'il n'est pas possible, sur un clavier à douze notes par octave, de disposer en système juste à la fois d'un accord juste de fa et d'un accord juste de $ré$ (quel que soit le mode de ce dernier).

¹³ Il est remarquable, cela va sans dire, que ces trois accords forment les trois degrés principaux de la tonalité correspondant à la gamme diatonique : sous-dominante, tonique et dominante. Ce fait est à l'origine du prestige considérable du système juste — qui n'en est pas moins un système inutilisable pour l'accord des instruments.

Ici comme ailleurs, les chantres et les instrumentistes à archet ou à vent peuvent corriger les intonations en fonction du contexte. Les instruments à sons fixes, par contre, n'ont pas cette liberté. Il est alors très difficile de faire le choix entre les harmonies qui seront justes et celles qui seront fausses. Si l'accord de *ré*, dans l'exemple ci-dessus, est construit avec le *la* qui fait la tierce majeure du *fa*, alors la quinte *ré-la* est fausse de tout un comma, donc quatre fois plus fausse que celle du tempérament au quart de comma¹⁴. Le système juste est donc pratiquement inutilisable : il n'est pas possible d'accorder « justes » les six ou sept accords parfaits qui constituent une tonalité ; le problème devient plus crucial encore dès que la musique module.

Le système juste a joui cependant d'un grand prestige pour des raisons théoriques, notamment parce qu'il semble expliquer certains aspects de la tonalité. C'est l'Académie française des Sciences qui lui a donné son nom au XVIII^e siècle. Diverses suggestions ont été faites pour le compléter jusqu'à la gamme chromatique, par exemple¹⁵ :

$$\begin{array}{cccc}
 do\sharp^{-2} & sol\sharp^{-2} & & \\
 la^{-1} & mi^{-1} & si^{-1} & fa\sharp^{-1} \\
 fa^{\circ} & do^{\circ} & sol^{\circ} & ré^{\circ} \\
 & & mi\flat^{+1} & si\flat^{+1}
 \end{array}$$

Aujourd'hui, des programmes informatiques permettent aux synthétiseurs de jouer en système juste « en temps réel », à la manière des instruments à sons mobiles, le programme ajustant les intonations en fonction du contexte : le *la*, par exemple, sera différent suivant qu'il apparaît dans un accord de *fa* majeur ou de *ré* majeur, comme indiqué par le diagramme ci-dessus. Mais ces logiciels ne règlent pas le problème de la dérive du diapason, telle qu'elle a été décrite plus haut au § 1.

3.2 « Bons » tempéraments

Les « bons » tempéraments, formés de combinaisons de quintes justes et de quintes tempérées, visent à rendre possible le jeu dans n'importe quelle tonalité — même si certaines tonalités y sont plus justes que d'autres. C'est à un tempérament de ce type qu'était destiné le *Clavier bien tempéré* de Jean-Sébastien Bach. Les dispositions possibles sont nombreuses : elles ne seront pas détaillées ici.

Un exemple suffira à en indiquer le principe. On a vu que le système pythagoricien (quintes justes) produit une octave trop large d'un comma. Le tempérament égal ajuste l'octave en tempérant chaque quinte d'un douzième de comma. Le même résultat pourrait être obtenu en conservant huit quintes justes et en tempérant les quatre dernières d'un quart de comma chacune. On peut imaginer par exemple que les quintes *mi-b-si-b-fa-do-sol-ré-la-mi-si* soient justes, puis *si-fa#-do#-sol#* tempérées ; la quinte résultante, *sol#-mi*, a alors elle aussi la valeur d'une quinte tempérée. Le tableau 3 ci-dessous rappelle les valeurs des tableaux 1 et 2 ci-dessus et y ajoute celles du bon tempérament qui vient d'être décrit. On constate que celui-ci corrige plusieurs valeurs du système pythagoricien en les ramenant plus près du tempérament égal.

¹⁴ Cette situation, en outre, est à l'origine d'une étrange doctrine que l'on rencontre dans plusieurs traités d'harmonie du XIX^e siècle, selon laquelle l'accord du II^e degré de la tonalité est faux. Cela n'est vrai, bien entendu, qu'en *do* majeur, si l'accordage est fait comme indiqué ci-dessus.

¹⁵ Dans ce diagramme comme dans les précédents, les notes superposées verticalement sont à distance de tierce majeure juste ; les notes de la même ligne horizontale sont à distance de quinte ou de quarte juste ; les tierces mineures en oblique descendant de gauche à droite (comme *do#-mi*) sont elles aussi justes. Des indices ont été ajoutés pour montrer de combien de commas les notes sont plus hautes ou plus basses que celles de la ligne de base *fa-do-sol-ré* : *la*⁻¹, par exemple, est un comma plus bas que le *la*^o qui pourrait s'inscrire comme quinte juste de *ré*^o. Cette disposition, imaginée au XVIII^e siècle par le mathématicien Leonard Euler, joue un rôle important dans certaines théories modernes de l'harmonie et de la tonalité.

	<i>do</i>	<i>do</i> ♯	<i>ré</i>	<i>mi</i> ♭	<i>mi</i>	<i>fa</i>	<i>fa</i> ♯	<i>sol</i>	<i>sol</i> ♯	<i>la</i>	<i>si</i> ♭	<i>si</i>	<i>do</i>
Système pythagoricien	0	1,14	2,04	2,94	4,08	4,98	6,12	7,02	8,16	9,06	9,96	11,10	12
Tempérament mésotonique (1/4 c.)	0	0,75	1,93	3,10	3,86	5,04	5,79	6,96	7,72	8,89	9,96	10,83	12
« Bon » tempérament	0	1,02	2,04	2,94	4,08	4,98	6,06	7,02	7,98	9,06	9,96	11,10	12

Tableau 3 : Comparaison entre le système pythagoricien, le tempérament mésotonique au quart de comma et un « bon » tempérament.

Les bons tempéraments rendent possibles, ou du moins acceptables, tous les intervalles et toutes les tonalités, mais laissent à chacune une couleur particulière. On peut penser qu'au XVIII^e siècle, le choix d'écrire dans telle ou telle tonalité visait autant la couleur tonale de l'œuvre que la hauteur à laquelle elle devait être jouée ou chantée ; les tempéraments irréguliers ont probablement joué un rôle important dans la détermination de l'éthos des tonalités, c'est-à-dire des significations particulières associées à chacune d'entre elles.

4 Le problème particulier des instruments à frettes

À l'exception du tempérament égal, tous les systèmes décrits ci-dessus ont la particularité de donner des valeurs différentes au demi-ton diatonique et au demi-ton chromatique ; c'est la raison pour laquelle deux notes enharmoniques n'y sont pas à l'unisson : *do–do*♯ et *do–ré*♭, par exemple, y sont deux intervalles différents¹⁶. Ceci fait problème dans le cas des instruments à frettes, où les demi-tons déterminés par des frettes rectilignes doivent évidemment être identiques sur toutes les cordes, alors que la répartition des demi-tons diatoniques et chromatiques dans la gamme chromatique est irrégulière. Considérons un luth dont les cordes seraient accordées, de la plus aiguë à la plus grave, *ré–la–mi–do–sol–ré*. Les notes obtenues sur chaque frette seraient théoriquement les suivantes :

	1	2	3	4	5
<i>ré</i>	<i>mi</i> ♭	<i>mi</i>	<i>fa</i>	<i>fa</i> ♯	<i>sol</i>
<i>la</i>	<i>si</i> ♭	<i>si</i>	<i>do</i>	<i>do</i> ♯	<i>ré</i>
<i>mi</i>	<i>fa</i>	<i>fa</i> ♯	<i>sol</i>	<i>sol</i> ♯	<i>la</i>
<i>do</i>	<i>do</i> ♯	<i>ré</i>	<i>mi</i> ♭	<i>mi</i>	<i>fa</i>
<i>sol</i>	<i>sol</i> ♯	<i>la</i>	<i>si</i> ♭	<i>si</i>	<i>do</i>
<i>ré</i>	<i>mi</i> ♭	<i>mi</i>	<i>fa</i>	<i>fa</i> ♯	<i>sol</i>

La distance entre la corde à vide et le frette 1 est un demi-ton diatonique sur les cordes de *ré*, *la* et *mi*, mais un demi-ton chromatique sur celles de *do* et de *sol*, ce qui n'est évidemment pas possible. Si le frette 1 est à un demi-ton diatonique du sillet, alors les notes produites sur les cordes de *do* et de *sol* sont plutôt *ré*♭ et *la*♭. Mais alors les octaves sont fausses avec le *do*♯ et le *sol*♯ du frette 4 sur les cordes de *la* et de *mi* ; etc.

On a vu par contre, au paragraphe consacré aux tempéraments mésotoniques (§ 2.3) que ceux-ci se caractérisent par une valeur unique du ton, valant la moitié de la tierce majeure¹⁷. Dans l'exemple ci-dessus, les distances du sillet au frette 2 et du frette 2 au frette 4 sont chaque fois d'un ton ; du frette 4 au frette 5, elle est d'un demi-ton diatonique. Le problème des demi-tons se réduit alors au placement correct des frettes 1 et 3 : la solution est de les placer de telle sorte qu'ils produisent un « demi-ton moyen », valant exactement la moitié du ton, c'est-à-dire la moyenne entre le demi-ton diatonique et le demi-ton chromatique. Ici encore, les réalisations pratiques ont été nombreuses et diverses. On retiendra seulement que les tempéraments mésotoniques constituent un meilleur point de départ que les systèmes irréguliers pour l'accord des instruments à frettes.

¹⁶ On se souviendra que le demi-ton chromatique, plus grand que le demi-ton diatonique en système pythagoricien, est plus petit dans les autres cas.

¹⁷ Les systèmes irréguliers, par contre, ont en général plusieurs valeurs du ton : on distingue alors un « ton majeur » et un « ton mineur ».

Il faut signaler en outre un procédé pratique qui a permis une bonne approximation du tempérament égal, consistant à diviser la longueur des cordes en 18 parties et à placer un premier frette à $17/18^{\text{es}}$, puis à diviser la longueur résiduelle à nouveau en 18 parties et à recommencer l'opération autant de fois que nécessaire. Le rapport $18/17$ correspond à 0,99 demi ton tempéré, ce qui constitue une approximation très satisfaisante du tempérament égal.