

589
TANNER, R.
1972

Le problème des «deux tierces» (Pythagore ou Zarlino) La solution psycharithmétique et expérimentale I

par R. TANNER

Centre de Recherches Physiques, Marseille

Sommaire

Le débat sur la valeur «juste» de la tierce, $5/4$ ou $(9/8)^2$, date de l'Antiquité. La théorie psycharithmétique a apporté une solution à ce problème, essentiellement parce qu'elle admet une pluralité de rapports théoriques possibles pour une même note, selon la fonction harmonique. Cette solution est tirée de la notion de base de psycharithme (issue logique de la notion de «rapport simple») et des données de l'expérience musicale directe. Une suite d'expériences a été entreprise au sonomètre instrumental, pour en confronter les résultats avec les conclusions déjà déduites de l'expérience non provoquée.

*Das Problem der „zwei Terzen“ (Pythagoras oder Zarlino).
Die psycharithmetische und die experimentelle Lösung. I*

Zusammenfassung

Die Debatte um den „wahren“ Wert der Terz, $5/4$ oder $(9/8)^2$, begann bereits in der Antike. Die psycharithmetische Theorie hat zu einer Lösung dieses Problems geführt, besonders weil sie für ein und dasselbe Intervall eine Vielzahl von theoretisch möglichen Verhältnissen der Schwingungszahlen zulässt gemäß der harmonischen Funktion. Diese Lösung wurde gewonnen aus dem Grundprinzip des Psycharithmus (ist also eine logische Folge des Wissens um die „einfachen Zahlenverhältnisse“) und auf der Grundlage der direkten musikalischen Erfahrung. Es wurde eine Folge von Experimenten mit einem instrumentellen Schallmesser vorgenommen, um deren Ergebnisse den bereits vorliegenden Folgerungen aus der reinen Erfahrung gegenüberzustellen.

*The Problem of the „Two Thirds“ (Pythagoras or Zarlino).
The Psycharithmic and Experimental Solution. I*

Summary

The debate on the „true“ value of the third, $5/4$ or $(9/8)^2$, dates from antiquity. The psycharithmetical theory has brought a solution to this problem, essentially because it admits a plurality of possible theoretical ratios for the same note, according to the harmonic function. This solution is derived from the basic concepts of psycharithmetics (logical issue of the idea of „simple ratio“) and from the results of direct musical experience. A series of experiments have been undertaken on the instrumental sonometer in order to compare the results with the conclusions already deduced from casual experience.

1. Introduction: le rôle type de la tierce dans la conception de la gamme

$5/4$ ou $(9/8)^2$? Le débat, contrairement à ce qu'on croit généralement, ne date pas de ZARLINO, ou de la théorie selon laquelle les rapports numériques des intervalles musicaux auraient leur explication dans les harmoniques du son complexe. Il date de l'Antiquité («diatonique» de DIDYME et «diatonique» d'ERATOSTHÈNE); et il s'est poursuivi jusqu'à nos jours.

La tierce majeure n'est certes qu'un intervalle parmi les autres. Mais contrairement aux tout principaux intervalles (octave, quinte, quarte, auxquels tout le monde s'accorde à assigner les rapports 2 , $3/2$ et $4/3$), la tierce est le premier intervalle important dont la valeur théorique [1] diffère selon la conception générale qu'on se fait de la gamme.

C'est pourquoi le débat sur la «gamme juste» s'est pour ainsi dire toujours cristallisé sur cet intervalle type. C'est pourquoi également cet intervalle a été choisi, pour lui consacrer une longue suite d'expériences progressives et très diverses, faites au «sonomètre instrumental» [2]. Le résultat du premier groupe important de ces expériences fait l'objet du présent exposé.

Mais auparavant, deux préalables seront nécessaires.

D'une part, il sera indispensable de poser certaines notions d'analyse musicale, en principe indépendantes de toute théorie. Une partie de ces notions a déjà été exposée d'un point de vue très général dans un précédent article d'Acustica [1]. On pourra s'y référer pour plus de précision. Ici, nous ne les reprendrons que d'une façon à la fois plus brève, plus particulière pour ce qui va spéciale-

IN: ACUSTICA 27 (1972)

ment nous occuper, et en les complétant dans le même but.

D'autre part, il ne serait pas possible de comprendre le résultat de ces expériences, sans quelque notion sur la théorie psycharithmétique¹, et surtout sans connaître la solution que celle-ci avait déjà apporté au «problème des deux tierces», *avant toute expérience provoquée ou de laboratoire*. On verra que le résultat expérimental est bien conforme à cette théorie et à certaines idées générales qui en sont inséparables. Toutefois, dans le cadre de celles-ci, les expériences ont fait ressortir un enseignement imprévu. Cet enseignement constitue l'apport proprement positif des expériences. Loin d'infirmer la théorie, il consiste à apprendre que ce phénomène méconnu, l'«identification par tolérance», dont l'intervention avait été prise pour circonstancielle seulement, est en réalité d'intervention beaucoup plus générale.

1.1. Le préjugé de la «gamme juste»

Si le désaccord entre pythagoriciens et zarliniens a toujours offert un caractère catégorique et comme irrémédiable, il est un point, du moins, sur lequel les deux conceptions s'accordent. Cet accord réside dans l'idée, communément admise, qu'il existe une «gamme juste», c'est à dire l'idée qu'il existe, pour chaque note de la gamme, une valeur théorique précise et une seule².

Pour les pythagoriciens, cette valeur juste et unique est, pour la tierce, $3^4/2^6$, soit $81/64$ ou $(9/8)^2$ (somme de deux tons $9/8$), parce que, selon cette conception, tous les intervalles seraient formés exclusivement à partir de la quinte et de l'octave, autrement dit de puissances de 2 et de 3. Pour les zarliniens, cette valeur est $5/4$, parce que, selon cette autre conception (après MERSENNE et la découverte des harmoniques) cet intervalle proviendrait de l'harmonique 5 («réduit» de deux octaves).

Il est à remarquer que la conception pythagoricienne repose seulement sur le postulat (non expliqué) du rôle fondamental et exclusif des facteurs numériques 2 et 3. Au contraire, la conception basée sur les harmoniques du son complexe (sous ses diverses formes, théorie de la «fusion» notamment) se présente comme une théorie explicative. Mais, sans revenir sur l'examen exhaustif de tout ce qui converge à l'infirmer [5], il suffit de redire qu'une théorie qui ne tient pas compte de la nature

du phénomène dont elle traite, d'avance, est forcément impropre à l'expliquer.

Remarquons enfin — car ceci s'avèrera très significatif — que pythagoriciens comme zarliniens prétendent détenir les preuves expérimentales de la justesse de leur conception et de la fausseté de l'autre. Pour le classique observateur «extérieur et impartial», ces prétentions incompatibles peuvent à leur tour être considérées comme une donnée d'expérience intéressante, car elles ne peuvent pas s'expliquer simplement par des préjugés de théoriciens.

1.2. La notion de fréquence théorique variable, en fonction de la fonction harmonique — La notion de valeur préférée ou exécutée variable, en fonction des fonctions harmonique et mélodique

Le problème de la valeur théorique des intervalles est beaucoup plus compliqué qu'on ne croit généralement, et cette valeur théorique ne se confond même pas ou pas forcément — comme on le croit aussi — avec la valeur préférée en audition expérimentale (ou exécutée en moyenne par de bons musiciens sur des instruments à sons non fixes).

1.2.1. Pluralité de fonctions harmoniques et fréquences théoriques

En premier lieu, la diversité et la complexité harmonique de la pratique musicale commandent logiquement de considérer la fréquence théorique comme fonction de la fonction harmonique (par exemple, pour un *fa* en *ut*, fonction de sous-dominante, ou fonction septième de dominante), abstraction faite de la fonction mélodique³. Dans le cadre de la théorie psycharithmétique, la fonction harmonique est elle-même définie par un psycharithme⁴. Comme, en règle générale, une même note de la

³ Si les notes ou intervalles ne remplissaient qu'une fonction mélodique, leurs valeurs exactes entreraient tout simplement dans la formule générale et uniforme $1/2^n$. Le problème des valeurs théoriques n'a de sens qu'au regard des fonctions harmoniques, lesquelles, d'abord, font la spécificité de la musique, et qui seules sont et pouvaient être à l'origine des «rapports simples», de la gamme diatonique irrégulière, etc. (Rappelons que cette fonction harmonique n'a rien à voir: 1) avec la simultanéité ou succession des deux sons composant l'intervalle, dont elle est indépendante; 2) avec les harmoniques du son complexe. — Cf. [1], pp. 159 à 160.)

⁴ La fonction harmonique est définie par le psycharithme même, le degré de consonance ou de dissonance est lié à son degré de complexité (au sens de cette théorie). La fonction mélodique est liée à la propriété secondaire du psycharithme, sa propriété grandeur (produit effectué du psycharithme).

¹ V. principalement [3]; sur la propriété la plus fondamentale de l'intervalle, sa propriété qualitative, v. [4].

² Cette idée a été réfutée, d'un point de vue plus général, dans l'article d'Acustica déjà cité (cf. [1]).

gamme peut, selon le contexte musical, remplir des fonctions harmoniques différentes, comme il y a lieu de considérer ces fonctions différentes comme déterminées par des psycharithmes différents, donnant des rapports de fréquence soit égaux soit voisins dans la marge de tolérance, l'idée de la «gamme juste» apparaît comme un préjugé, dont on comprend qu'il ait été associé à l'idée abstraite et simplifiée de gamme, mais qui se trouve incompatible avec la réalité complète, et autrement complexe, de la pratique musicale.

1.2.2. Fonction mélodique

En second lieu intervient la fonction mélodique. Comme la fonction mélodique tend à l'égalisation des intervalles, la valeur préférée à l'exécution doit être considérée comme un compromis entre fonction harmonique et fonction mélodique, c'est à dire entre valeur théorique et valeurs égales.

Mais ce n'est pas tout.

1.2.3. Identification par tolérance

Outre la multiplicité des fonctions harmoniques, outre l'intervention du facteur mélodique, un phénomène vient souvent compliquer la détermination de la valeur théorique: le phénomène d'«identification par tolérance» ([1]; v. plus loin également).

1.2.4. Consonance acoustique et consonance musicale

Enfin, sur le plan de l'expérience provoquée ou de laboratoire, une dernière complication — qui sur ce plan constitue la difficulté majeure — vient s'ajouter aux précédentes: l'intervention de la «consonance acoustique» [5]. En effet, lorsqu'on fait une expérience sur les intervalles, celle-ci doit porter par définition sur la véritable consonance musicale. Or, il est souvent très difficile, parfois impossible, d'obtenir des sujets qu'ils répondent en fonction de la «consonance musicale», à l'exclusion de la «consonance acoustique». Lorsque leur réponse est telle qu'elle ne peut pas provenir de la seconde, cette réponse est nette, et elle correspond au but de l'expérience. Dans le cas contraire, il y a ambiguïté sur la cause de la réponse, et cette ambiguïté peut être difficile ou impossible à lever.

(Pour être complet, il faut ajouter encore deux difficultés, deux facteurs psychologiques, non spécifiquement auditifs ni musicaux: l'«effet de contraste» bien connu des psychologues; un facteur «brillance» ou «corsé», qui tend à faire préférer les intervalles légèrement agrandis.)

Rien n'empêche de procéder à une expérience volontaire sans discerner tout ce qui précède. Mais dans ces conditions comment comprendre, d'abord, la manière dont se posent les données d'expérience directement offertes par la musique; et que dire, a fortiori, de la signification qu'on croira pouvoir attribuer aux résultats de l'expérience volontaire?

2. La solution théorique du problème de la tierce, dans le cadre de la théorie psycharithmétique

2.1. Généralités sur la théorie psycharithmétique

Contrairement à tous les systèmes qui veulent assigner aux intervalles et notes de la gamme des valeurs théoriques fixes, la théorie psycharithmétique admet, dès le principe, la possibilité de valeurs théoriques différentes pour une seule note. Ces valeurs multiples correspondent, sur le plan de l'expérience musicale, à la multiplicité des fonctions harmoniques, et, sur le plan de la théorie, à une multiplicité de psycharithmes.

Cette différence par rapport aux autres systèmes vient de ce que la théorie psycharithmétique repose, non sur un système mathématique préconçu, ni sur une hypothèse en réalité incompatible avec la nature foncière psychique ou cérébrale du phénomène musical, mais sur la donnée expérimentale générale et fondamentale fournie par la musique elle-même, à savoir la donnée très anciennement connue sous l'appellation de «rapports simples», et dont l'examen logique a conduit à la notion de psycharithme.

Cependant, il n'est pas toujours facile d'assigner un psycharithme à une fonction harmonique. Les raisons en sont, en partie, celles qui ont été exposées concernant la détermination des valeurs théoriques des intervalles. Mais les toutes principales en sont les suivantes.

La hiérarchie de complexité des psycharithmes est à une infinité de dimensions, et il existe par conséquent une infinité de psycharithmes (ou mieux une infinité puissance infinie). Il est évident que même si l'on imagine un cerveau très supérieur à celui de l'homme, les psycharithmes réellement possibles ou musicalement pratiqués sont en nombre limité, et qu'ils se bornent à un certain degré de complexité. Or la théorie psycharithmétique, en tant que générale, ne préjuge pas, et n'avait pas à préjuger, des capacités mentales d'un individu ou d'un groupe ethnique quelconque. Lorsqu'un psycharithme n'est ni outrancièrement complexe ni des plus simples, on ne peut donc pas dire, a priori, s'il se trouve inclus ou non dans la pratique musicale réelle. Comme, d'autre part, il s'agit d'automatismes

psychiques qui échappent à la conscience, comme il n'est pas question non plus d'une investigation physiologique et physique dans la matière cérébrale, toute réponse expérimentale *directe* est impossible. Par suite, si un psycharithme assez complexe se présente comme de pratique incertaine au départ, cette incertitude ne peut être levée qu'indirectement, soit, avant tout, par l'analyse des compositions musicales, soit, éventuellement, par des expériences d'acoustique susceptibles de fournir plus ou moins indirectement une réponse, soit par ces deux moyens réunis.

En ce qui concerne le problème de la tierce (et en ne faisant d'abord état que de l'expérience musicale non provoquée), les choses se présentent de la manière suivante.

2.2. La solution théorique du problème de la tierce, dans le cadre de la théorie psycharithmétique

La théorie psycharithmétique, disions-nous, admet dès le principe, pour une même note de la gamme, une pluralité de psycharithmes ou fonctions harmoniques possibles, et donc de valeurs théoriques possibles de l'intervalle. C'est ainsi que, pour l'intervalle qui nous occupe, elle admet à la fois comme possibles les fonctions harmoniques définies par les psycharithmes 5×2^n et $3^4 \times 2^n$ ⁵. Ces deux psycharithmes donnent, pour la même note, deux valeurs théoriques différentes, qui coïncident précisément avec les valeurs rivales — et qui prétendent s'exclure réciproquement — des conceptions zarlinienne et pythagoricienne.

Laissons maintenant ces conceptions.

Du point de vue de la théorie psycharithmétique, la question est celle-ci: *les deux psycharithmes ont-ils, dans la pratique ou la réalité musicale concrète, une existence réelle, ou seulement l'un des deux et lequel?*

Considérons d'abord une tierce isolée (de sons simultanés ou successifs peu importe). En vertu de la loi du «moindre effort», qui s'applique au phénomène psychologique musical comme aux autres, il faut admettre que le psycharithme qui (dans la perception musicale, ou dans le cerveau du compositeur) s'établit entre les deux notes est le moins com-

plexe des deux. Même si l'on s'interdit de poser a priori une formule donnant le degré de complexité d'un psycharithme, il semble évident que le psycharithme $3^4 \times 2^n$ est plus complexe que le psycharithme 5×2^n . On est ainsi conduit à attribuer, à la fonction de tierce, le psycharithme 5×2^n (exclusivement ou non pour l'instant).

Cela dit, un autre fait intervient.

Il existe des séquences musicales très classiques, caractérisées par la succession de fondamentales (notes de référence dans chaque accord, elles-mêmes référées consécutivement entre elles, et chacune à la tonique):

ut mi la ré sol ut.

Cette séquence classique consiste en un «mouvement harmonique» de tierce, suivi d'une «marche harmonique par quintes» descendante, opérant le retour à la tonique. Qu'on considère comme tranchée ou non la question du psycharithme de la tierce initiale *ut-mi*, ce qui est certain, c'est que les quatre intervalles qui lui succèdent ne posent aucun problème: indubitablement, on a une succession de quatre psycharithmes $3^{-1} \times 2^n$ ⁶. Comme, après l'écart initial de tierce, l'impression de retour à la tonique est parfaitement nette, comme l'*ut* initial et l'*ut* terminal (qu'ils soient ou non rigoureusement les mêmes dans l'exécution) sont *musicalement identifiés comme absolument les mêmes*, on se trouve cette fois enclin à attribuer à la tierce *ut-mi*, non le psycharithme 5×2^n , mais $3^4 \times 2^n$ (somme exacte inversée des quatre mouvements harmoniques $3^{-1} \times 2^n$ de la marche).

Cependant, l'argumentation initiale en faveur de 5×2^n demeure valable, car, le mouvement de tierce étant *antérieur* aux autres, donc indépendant, dans sa perception, de tout ce qui peut se produire ensuite, il est normal de vouloir lui appliquer l'argumentation valable pour la tierce considérée seule.

Le processus général du phénomène d'identification par tolérance a été expliqué par le détail dans l'exposé antérieur d'Acustica déjà cité [1]. Il y a même été donné quelques indications sur les différentes formes que pouvait revêtir le phénomène.

Dans le cas présent, nous en sommes à la contradiction apparente à laquelle on se heurte chaque fois en deuxième analyse [1]: d'après l'argumentation initiale, la fonction du *mi* formant tierce doit s'écrire 5×2^n ; d'après l'argumentation relative à la fin de la séquence, il semble que ce soit (pour la même tierce initiale) $3^4 \times 2^n$ (ou alors, l'*ut* terminal

⁵ Lorsqu'on ne s'occupe que de fonction harmonique (indépendante de la situation d'octave ou de la fonction mélodique), il est à la fois plus simple et préférable de faire abstraction de la puissance du facteur 2 (ou «facteur d'octave», placé en dehors du trait d'orientation du psycharithme), en la laissant indéterminée. Par suite, une convention d'écriture commode, lorsqu'il est question de plusieurs psycharithmes, est d'écrire chaque fois 2^n , étant entendu que d'un psycharithme à un autre, n a des valeurs généralement différentes.

⁶ Sous la forme la plus classique, successivement $3^{-1} \times 2$ (quinte vers le grave), $3^{-1} \times 2^2$ (quarte vers l'aigu), encore $3^{-1} \times 2$ et $3^{-1} \times 2^2$.

ne devrait pas être identifié au premier, ce qui est inadmissible puisque cette identification est un fait d'expérience indiscutable).

La solution (troisième analyse) est également du type général qui a été exposé. Nous l'énoncerons donc sans explication ni démonstration de détail.

Ce qui est confondu en une seule note pensée — à savoir un seul *mi* musical — ce sont les deux fréquences théoriques $5/4$ et $81/64$ (dont la fréquence objective d'exécution est voisine). Cette confusion des fréquences théoriques en une seule (qu'on pourrait écrire $[5/4 \equiv 81/64]$) n'implique pas une confusion parallèle dans les psycharithmes (produits non effectués), ni conséquemment dans les fonctions harmoniques.

Désignons par 1 la fréquence théorique (relative) de l'*ut* initial (tonique). Admettons de plus — puisque c'est l'*ut* initial — que cette fréquence théorique se confond exactement avec la fréquence objective (qu'il en soit ou non de même pour l'*ut* terminal). Employons le symbole $=_t$ pour signifier «égale à la marge de tolérance près», le symbole $\times_t$ pour signifier «multiplié par à la marge de tolérance près».

En respectant le raisonnement initial conduisant à attribuer à la tierce *ut-mi* le psycharithme 5×2^n et non $3^4 \times 2^n$, en donnant à chaque note sa situation d'octave la plus classique pour fixer les idées, la séquence, *objectivement* (fréquences réelles) et *subjectivement* (fonctions harmoniques ou psycharith-

$$\begin{aligned} \text{ut} &= 1 \times_t 5/4 \rightarrow \text{mi} =_t 5/4 \times_t 2/3 \rightarrow \text{la} =_t (5/4)(2/3) \times_t 4/3 \rightarrow \\ &\quad \frac{5 \times 2^{-2}}{3^{-1} \times 2} \quad \frac{5 \times 2^{-2}}{3^{-1} \times 2} \quad \frac{5 \times 2^{-2}}{3^{-1} \times 2} \\ \text{ré} &= (5/4)(2/3)(4/3) \times_t 2/3 \rightarrow \text{sol} =_t (5/4)(2/3)(4/3)(2/3) \times_t 4/3 \rightarrow \\ &\quad \frac{5 \times 2^{-2}}{3^{-1} \times 2} \quad \frac{5 \times 2^{-2}}{3^{-1} \times 2} \\ \text{ut} &\begin{cases} =_t (5/4)(2/3)(4/3)(2/3)(4/3) = 80/81 =_t 1 \text{ (instruments à sons non fixes)} \\ \text{ou} \\ = 1 (= (5/4)(2/3)(4/3)(2/3)(4/3) = 80/81) \text{ (instruments à sons fixes)} \end{cases} \end{aligned}$$

Fig. 1. Identification par tolérance affectant la tierce, dans une «marche harmonique» classique par quintes. (Il n'y a pas incompatibilité entre le psycharithme 5×2^n et les quatre psycharithmes $3^{-1} \times 2^n$.)

⁷ Les fonctions absolues (ou fonction de chaque fondamentale relativement à la tonique) ne sont pas indiquées, car ce n'est pas nécessaire pour comprendre comment la séquence est possible. Seules sont indiquées les fonctions relatives (ou fonction de chaque fondamentale relativement à la précédente, ou psycharithmes définissant chacun des «mouvements harmoniques» successifs de la marche).

Les fréquences dont les fréquences objectives sont voisines (par exemple $(5/4)$ $(2/3)$ $(4/3)$ pour le *ré*) devraient en principe être indiquées plutôt en valeurs effectuées; elles ont été laissées sous forme de produits non effectués afin qu'apparaisse leur provenance.

mes) se comprend et s'explique entièrement de la façon suivante⁷ (Fig. 1).

On voit:

— que rien n'oblige à croire à l'intervention d'un psycharithme $3^4 \times 2^n$ (malgré les quatre psycharithmes $3^{-1} \times 2^n$)

— que cependant la fréquence théorique du *mi* n'est pas plus $5/4$ que $81/64$ (c'est à dire que la «gamme juste» n'est pas plus la gamme de ZARLIN que celle de PYTHAGORE), car au total tout se passe comme si l'on avait $(5/4)/(81/64) = 1$, ce qui revient à dire que cette fréquence théorique est un nombre «double» $[5/4 \equiv 81/64]$ (c'est à dire un nombre qui musicalement est à la fois *unique* et à la fois $5/4$ et $81/64$, de la même manière que 2 et $6/3$ sont un seul et même nombre).

Passons maintenant aux expériences au sonomètre instrumental, et pour y passer, oublions un instant la tierce, afin d'en parler d'abord dans une optique tout à fait générale.

3. Le premier groupe d'expériences sur la tierce au sonomètre instrumental

3.1. Idées directrices et but des expériences

De ce qui a été exposé dans la première partie, ou expliqué dans le précédent article d'Acustica, ou d'autres publications en référence, il ressort en tout premier lieu ceci.

Mis à part la simple mesure des rapports de fréquences (ou de longueurs de cordes dans l'Antiquité), les expériences d'«acoustique musicale», telles qu'on les a généralement conçues et surtout interprétées, ont été entachées de deux défauts, qui ont prêté à illusion sur la signification réelle de leurs résultats. Pour que des expériences sur le phénomène musical et les conclusions qu'on en tire offrent un caractère de rigueur scientifique authentique, il faut en effet:

1) Qu'elles ne soient pas dominées par des idées incompatibles avec l'expérience musicale directe, ou déjà inacceptables par définition du phénomène, telles que: l'idée que celui-ci peut s'expliquer par des phénomènes localisés dans l'oreille (alors que, s'agissant d'un phénomène mental bien que matérialisé en données acoustiques, il se localise essentiellement et nécessairement dans les neurones cérébraux)⁸; l'idée qu'il faut subdiviser les intervalles en «intervalles harmoniques» ou de sons simultanés, et «intervalles mélodiques» ou de sons successifs (alors que l'harmonie musicale englobe des structures de fréquences successives, autant ou plus que de fré-

⁸ Outre réf. déjà cit. (notamment [3] et [5]), v. également [6].

quences simultanées); l'idée parallèle, mais adoptée par une minorité seulement, selon laquelle il faudrait distinguer deux gammes: une gamme «harmonique» et une gamme «mélodique»⁹; l'idée qu'il existe une «gamme juste», définie par des rapports théoriques invariables pour chaque note¹⁰; l'idée que les intervalles musicaux, avec leurs «rapports simples», s'expliquent par les harmoniques du son complexe.

2) Que soient comprises les données essentielles directement issues de l'analyse des compositions musicales, et qu'il en soit tenu compte. A cette condition seulement, la multiplicité et l'interpénétration complexe des facteurs qui interviennent dans une expérience d'acoustique musicale ne seront pas considérablement sous-estimées. Cela signifie notamment: ne pas confondre «consonance acoustique» et «consonance musicale» en un concept unique; comprendre qu'un rapport théorique ne peut se définir que par la fonction harmonique (indépendante de la simultanéité ou succession, et indépendante des harmoniques), simultanément ne pas oublier qu'une même note de la gamme peut remplir plusieurs fonctions harmoniques différentes; comprendre que la fonction mélodique — grâce à la tolérance harmonique — peut «noyer» les rapports théoriques au profit de la régularité mélodique; avoir connaissance du phénomène d'«identification par tolérance».

⁹ Considérons le canon «Frère Jacques», et supposons d'abord la mélodie exécutée à une seule voix:

ut ré mi ut | ut ré mi ut | mi fa sol ...

Si l'on croit qu'il faut distinguer une «gamme harmonique» (avec tierce 5/4) et une «gamme mélodique» (avec tierce (9/8)²), on attribuera aux *mi* successifs, et notamment au troisième, la valeur «mélodique» (9/8)².

Supposons maintenant le canon exécuté à plusieurs voix:

ut ré mi ut | ut ré mi ut | mi fa sol ...
| ut ré mi ...

A l'entrée de la deuxième voix, l'*ut* initial forme tierce de sons simultanés avec le troisième *mi* de la première voix. En vertu de la même hypothèse, on devra donc attribuer, à ce même *mi* de la première voix, la valeur «harmonique» 5/4.

On voit que cette conception est: 1) inapplicable (c'est à dire d'emblée encore moins défendable que la conception zarlinienne ou la conception pythagoricienne); 2) musicalement irrecevable pour cette raison plus précise que tous les *mi* successifs sont musicalement identiques, de même que tous les *ut* (tonique), particulièrement les deux *ut* initiaux à chaque voix, et que conséquemment toutes les tierces *ut-mi* sont un seul et même intervalle musical, que le *mi* succède à l'*ut* ou qu'il lui soit simultané.

¹⁰ La réfutation de cette idée n'entre pas en contradiction avec la réfutation de la précédente: les rapports théoriques sont variables, mais selon la fonction harmonique, non selon que l'intervalle est de sons simultanés ou de sons successifs.

(Sur les expériences antérieures faites sur les intervalles, ainsi que les idées qui leur ont été associées, v. par exemple [7] et [8]: récapitulatifs détaillés; [9] v. d'autre part [10]: expérience peu connue mais exceptionnellement significative.)

Cela posé, le but des expériences entreprises au sonomètre instrumental a été essentiellement la *détermination des rapports théoriques en fonction de la fonction harmonique*, et plus généralement la détermination des valeurs théoriques et préférées, en fonction des fonctions harmoniques et mélodiques ou du contexte musical. Parallèlement, ces expériences peuvent permettre une vérification de la conception générale de ces rapports dans la théorie psycharithmétique, ou plus spécialement la détermination ou vérification, pour notre système musical, de rapports théoriques qui a priori se présentent comme douteux ou indéterminés, du fait de la généralité de cette théorie.

Etant donné la multiplicité des facteurs à démêler (cf. plus haut) de telles expériences ne se conçoivent qu'à la condition de comporter un *assez grand nombre de variantes très diverses*, cela, pour chaque fonction harmonique ou pour un seul et même intervalle musical.

La première fonction à étudier, la plus intéressante, comme nous l'avons vu, était celle de tierce majeure (soit tierce majeure de tonique dans un accord, soit enchaînement de tierce majeure dans une succession de fondamentales). C'est ainsi qu'une longue suite d'expériences (une trentaine) portant toutes sur l'intervalle de tierce majeure et son renversement, ont été prévues. (Chacune de ces «expériences» se subdivise elle-même en un certain nombre de «sous-expériences», dont nous ferons pour l'instant abstraction.)

Dans cette suite sont prévus des contextes musicaux dans l'ensemble de moins en moins simples. A la limite initiale, on a évidemment le «contexte nul», c'est à dire l'intervalle seul. Les quatre premières expériences sont ainsi: expérience n° 1: intervalle *ut-mi* de sons simultanés; exp. n° 2: renversement *mi-ut* de sons simultanés; exp. n°s 3 et 4: idem en sons successifs.

3.2. Remarque sur les expériences sans contexte

Considérons l'expérience n° 1 (tierce de sons simultanés sans contexte).

Elle soulève deux remarques préliminaires:

1) Elle tombe sous le coup de la critique du caractère artificiel des expériences de laboratoire trop éloignées des conditions de la pratique musicale réelle.

2) Elle n'est pas nouvelle, et il semble établi depuis longtemps que le rapport exact de tierce majeure, en sons simultanés du moins, est le rapport $5/4$. En effet, des affirmations ou interprétations contradictoires des expérimentateurs antérieurs — pythagoriciens et zarliniens principalement — il semblait du moins ressortir que le rapport théorique exact, établi pour les sons simultanés, de l'intervalle de tierce majeure, était le rapport $5/4$, au point qu'on pouvait estimer superflu de le vérifier.

Pour ces deux raisons, il y avait d'abord lieu d'hésiter à faire cette première expérience: elle pouvait paraître à la fois «mauvaise», et une répétition inutile.

Cependant, trois considérations autres incitaient à la faire tout de même:

1) Dans des expériences voulues systématiques, il ne convenait pas, par principe, d'exclure le cas limite.

2) Un grand flou règne dans l'ensemble des conclusions expérimentales des zarliniens et pythagoriciens, lequel flou n'était peut-être pas entièrement imputable aux interprétations, mais aussi à la complexité du phénomène perceptif et à la difficulté de démêler les facteurs à l'origine des résultats d'expérience bruts. Il restait donc intéressant d'y regarder de près.

3) Le cas limite (absence de contexte) peut être considéré comme celui où la détermination par le contexte est remplacée par la détermination par l'attitude mentale du sujet. L'expérience dès lors n'est pas dépourvue de signification; il importe seulement (ce qui ne veut pas dire que ce soit facile) de bien chercher chaque fois la signification musicale (il peut y en avoir plusieurs, à dépouiller au surplus de significations psychologiques non musicales) de la réponse...

Il n'y a pas lieu de regretter d'avoir entrepris l'expérience n° 1.

Comme on le verra, son résultat, notamment, est incompatible avec les affirmations zarlinienne aussi bien que pythagoricienne, et, plus généralement, d'interprétation impossible avec les conceptions habituelles.

3.3. Expérience n° 1: Tierce de sons simultanés sans contexte

Les «sous-expériences» dont l'ensemble compose une «expérience» se caractérisent chacune par des conditions particulières telles que: valeurs d'intervalles offertes à l'audition (par exemple, de $5/4 - 6\sigma$ à $(9/8)^2 + 2\sigma$, de savart en savart), durée de l'intervalle, répétition, forme rythmique pour chaque

valeur, etc. Le choix des «sous-expériences» est souvent déterminé par les résultats des sous-expériences antérieures. Elles sont répétées lorsque les réponses des sujets manquent de netteté.

L'expérience n° 1 se subdivise en six «sous-expériences», numérotées 1a à 1f. (Pour alléger et sauf ambiguïté, dans ce qui suit, le mot expérience sera fréquemment employé pour désigner des «sous-expériences».)

3.3.1. Premières expériences sur la tierce de sons simultanés sans contexte (1a à 1c)

La principale difficulté, au début surtout, a été d'obtenir des sujets, dans ce type inhabituel d'expériences, des réponses suffisamment nettes et significatives. Nous avons vu les multiples facteurs d'ordre acoustique, musicologique et psychologique, qui font que le sujet se comporte, non comme une simple variable dépendante des valeurs d'intervalles offertes à l'audition, mais comme une variable d'elle-même partiellement indépendante (intervention par exemple de l'une ou l'autre consonance). Il s'y ajoute que même les sujets très musiciens et sélectionnés se comportent comme un appareil à précision limitée. Au total, la cohérence de leurs réponses est toujours imparfaite, parfois médiocre.

Cette difficulté n'a été que peu à peu surmontée, principalement par le choix des sous-expériences.

Les deux méthodes utilisées dans les premières expériences ont été pour l'essentiel les suivantes:

1^{re} méthode:

- interrogation de «préférence» par paires de tierces (dont la première répétée après la deuxième), doublée d'une interrogation de limite de tolérance
- écart de valeur entre intervalles dans chaque paire: 4 ou 2 savarts (selon l'expérience)
- marge totale de variation dans une expérience: $5/4 \pm 8\sigma$, ou $5/4 \pm 6\sigma$.

2^{de} méthode:

- interrogation directe de justesse ou fausseté, sur des tierces jugées séparément
- valeur des tierces improvisées en cours d'expérience, en fonction des réponses
- sujet soit averti, soit non averti des valeurs données à juger; commande des valeurs ordinairement menée par l'expérimentateur, ou confiée aussi au sujet lui-même.

Résultats:

- Dans l'ensemble, le rapport $5/4$ l'emporte sensiblement dans ces premières expériences.
- Cependant:
 - le rapport pythagoricien $(9/8)^2$ est quelquefois ¹¹ préféré au rapport $5/4$,
 - toutes les valeurs comprises entre $5/4$ et $(9/8)^2$ (environ 97 à 102 σ) sont, d'une façon générale, jugées acceptables ou justes,
 - par contre, la chute de justesse, en dessous de $5/4$ et au dessus de $(9/8)^2$, est brutale.

Détails secondaires mais non négligeables: Parfois (selon le sujet, le moment, etc.), le sentiment de justesse, entre $5/4$ et $(9/8)^2$, diminue lentement. Parfois, il diminue d'abord puis croît ensuite. Dans ce second cas, le maximum correspondant à $5/4$ est généralement supérieur au maximum correspondant à $(9/8)^2$; mais il arrive que ce soit le contraire (cf. plus haut).

L'ensemble de tous ces résultats peut se résumer schématiquement par les trois graphiques qui suivent (Fig. 2).

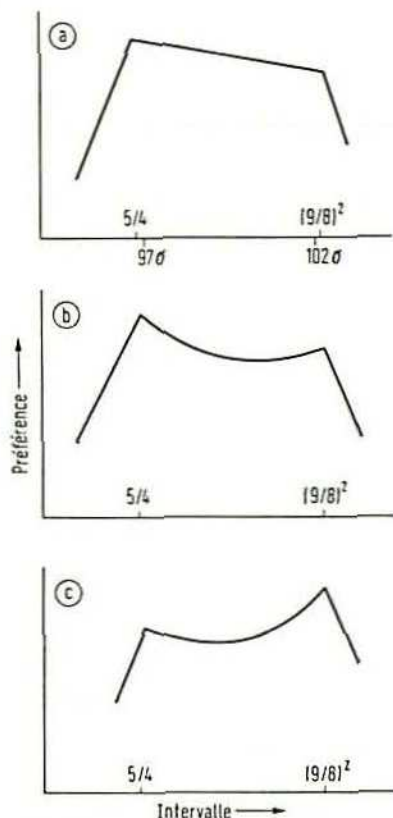


Fig. 2. Premières expériences sur la tierce de sons simultanés sans contexte.

(a) ou (b): cas général

(c): moins fréquent

ensemble des trois cas: $5/4$ l'emporte, mais $(9/8)^2$ intervient dans les trois cas.

C'est par ces tout premiers résultats que s'est révélé l'intérêt inattendu des expériences sans contexte.

Premières conclusions

En premier lieu, on pouvait en tirer deux conclusions essentielles négatives (du moins en première approximation, c'est à dire sous réserve de les confirmer par d'autres expériences, ou éventuellement de les nuancer ou préciser):

1) Si l'on dit que la valeur exacte de la tierce majeure est la tierce dite pythagoricienne $(9/8)^2$, on énonce une proposition manifestement contredite par l'expérience ¹².

2) Si l'on dit que la valeur exacte de la tierce est la tierce dite zarlinienne $(5/4)$, on énonce une proposition qui, sans doute, peut être considérée comme vraie en considération du résultat prédominant. Mais par omission d'une réalité secondaire qui reste extrêmement importante (intervention manifeste du rapport pythagoricien), on fausse, au total la réalité (et bénéficie de la suppression d'un problème embarrassant).

Remarques:

a) Ces conclusions s'appliquent, non pas seulement aux expériences précédentes, mais à l'ensemble de celles-ci et des expériences antérieures. En effet, sans doute le résultat des expériences précédentes contredit-il à la fois (fût-ce à un inégal degré) l'affirmation zarlinienne et l'affirmation pythagoricienne, prises séparément. Cependant, ce résultat s'accorde avec l'ensemble des affirmations d'ordre ex-

¹¹ D'une part selon les sujets; d'autre part pour un même sujet, selon les circonstances: d'un moment à un autre, selon l'état d'esprit, selon les intervalles entendus dans les instants immédiatement antérieurs.

¹² A moins de supposer que le rapport $5/4$ ne l'a emporté qu'en raison de la consonance acoustique, c'est à dire: que dans l'ensemble les sujets ont mal répondu à l'interrogation voulue (visant la consonance musicale), et que, par conséquent, l'expérience n'est qu'à moitié significative: valable pour les réponses $(9/8)^2$, non valable pour les réponses $5/4$. Mais cette supposition n'est pas possible. Des sujets musiciens, même sensibles à la consonance acoustique et perturbés par elle, n'auraient pu choisir ni accepter $5/4$, si $5/4$ était musicalement faux. Ce qu'on peut admettre au plus, c'est une influence secondaire et contingente de la consonance acoustique (c'est à dire, pour certaines réponses, la coïncidence des deux facteurs et le renforcement de l'un par l'autre), non que la consonance acoustique ait été déterminante, uniquement ni principalement. (Ceci est nettement confirmé par la reprise de l'expérience [10], qui montre que sauf exception les sujets non musiciens répondent en fonction de la consonance acoustique, les musiciens en fonction de la consonance musicale.)

périmental, et contradictoires, sur lesquelles ces conceptions prétendaient se fonder. Même sans considérer les nouvelles expériences, on est bien obligé de conclure, soit que zarliniens comme pythagoriciens n'avaient fait que des expériences fragmentaires, soit qu'ils ne retenaient, des données de fait, que la part conforme à leurs conceptions.

b) Le résultat confirme — si besoin était — que la conception selon laquelle il existerait deux tierces, l'une dite «harmonique» ou de sons simultanés, à savoir la tierce $5/4$, l'autre dite «mélodique» ou de sons successifs, la tierce pythagoricienne, n'est pas soutenable. S'il en était ainsi, la valeur pythagoricienne ne serait pas intervenue dans des expériences qui portaient toutes sur des tierces de sons *simultanés*.

Discussion: Bien que n'infirment en rien les conceptions initialement exposées, le résultat de ces premières expériences était surprenant à plus d'un titre.

Comme il a été expliqué, elles n'avaient guère été entreprises que par esprit de méthode préalablement aux suivantes, et il n'en était attendu rien de plus qu'une confirmation du rapport $5/4$, qu'on pouvait croire depuis longtemps établi par les expérimentateurs antérieurs, tout au moins pour la tierce de sons simultanés.

Cela mis à part, certes, en désaccord avec les conceptions traditionnelles, la théorie psycharithmétique admet l'existence, non pas de deux tierces majeures (le fait est que, musicalement, il n'en existe qu'une), mais de deux fonctions en principe possibles de la tierce, pouvant se définir par les psycharithmes 5×2^n et $3^1 \times 2^n$ (ou un enchaînement de quatre psycharithmes $3^{\pm 1} \times 2^n$), et correspondant aux rapports zarlinien et pythagoricien. Mais en l'absence de tout contexte déterminant, on pouvait penser que le premier psycharithme (moins «complexe» au sens de la théorie psycharithmétique) l'emporterait, et que par conséquent le rapport pythagoricien ne se manifesterait pas.

Devant le résultat expérimental contraire, une première idée, évidemment, était de penser que la différence de complexité n'empêchait pas l'attitude mentale correspondant au deuxième psycharithme, et qu'on trouvait déjà là, dans le simple intervalle de tierce sans contexte, une confirmation des conceptions exposées. Mais à la réflexion, il est vite apparu que cette explication n'était qu'à moitié satisfaisante. En effet, si elle avait été suffisante, on aurait dû trouver une petite zone de fausseté plus franche entre $5/4$ et $(9/8)^2$ ¹³. Par exemple, la valeur $5/4$ plus 2σ (distante de 2σ de $5/4$ et de 3σ de $(9/8)^2$) eût dû apparaître à peu près aussi

fausse que $5/4 - 2\sigma$. Or, comme on l'a vu dans l'énoncé des résultats, ce ne fut nullement le cas.

Problème. Oublions un instant les conceptions exposées au début, pour nous replacer dans le seul cadre des conceptions généralement admises.

Les bases scientifiques de l'esthétique musicale résident dans les données numériques acoustiques des rapports de fréquences des intervalles, éléments *fondamentaux* sur quoi se bâtissent toute l'harmonie et mélodie musicales. Ces rapports, peut-on dire en un sens, sont bien connus, et même familiers depuis longtemps. Mais que signifie cette connaissance scientifique, n'est-elle pas embryonnaire seulement et bien décevante — voire irritante — si, en présence de toutes les données en cause et en n'en omettant aucune, on se trouve devant un problème apparemment insoluble?

Donnons-en en effet, maintenant, l'énoncé *progressif*, à partir des conceptions traditionnelles des musicologues (ce qui sera la meilleure manière de récapituler).

Le zarlinien dit: la tierce exacte est la tierce $5/4$. Le pythagoricien dit qu'elle vaut $(9/8)^2$. Le musicologue plus prudent dira: il semble que les deux tierces interviennent. Mais on lui demandera aussitôt: où et comment?

Théorie psycharithmétique mise à part, la seule réponse qui ait été proposée, tierce dite «harmonique» et tierce dite «mélodique», n'est pas soutenable, ni devant l'expérience musicale directe (identité musicale absolue, à la seule simultanéité près, entre une tierce de sons simultanés et la même tierce en sons successifs), ni, peut-on maintenant ajouter, après l'expérience sus-décrite.

De l'ensemble des expériences antérieures, dont les conclusions sans doute pouvaient paraître assez confuses, complétées et précisées par celle qui vient d'être décrite — car son résultat, en dépit du caractère éminemment variable et nuancé des réponses, est net et il a été donné *complet* — il ressort que les deux valeurs interviennent dans l'intervalle de sons simultanés. Ce résultat, sans doute, confirme la théorie psycharithmétique, qui précisément prévoyait deux fonctions harmoniques numériquement correspondantes.

A ce moment, on pourrait s'estimer satisfait, si, d'une part, on pouvait se croire dispensé d'expliquer le détail des courbes relevées, et si, d'autre

¹³ La proximité des deux valeurs ne peut pas être invoquée en réponse, car, en règle générale, les intervalles musicaux voisins diffèrent autant ou plus que les intervalles éloignés. Lorsqu'on va, par exemple, de la quinte juste à la sixte mineure, on passe par des valeurs jugées carrément fausses, et inacceptables aussi bien comme quinte que comme sixte.

part, l'on oubliait qu'avant toute donnée d'expérience provoquée, il existe des données d'observation directe, fournies par la musique elle-même, et qui en tant que telles *restent par définition absolument essentielles*.

Les deux valeurs, disions-nous, interviennent, et ceci paraît bien conforme à la théorie psycharithmétique. Mais cela ne résoud pas tout, car un musicien pourrait répondre: je ne me soucie de tierce zarlinienne ni pythagoricienne, non plus que de ce que prévoit n'importe quelle théorie, car je sais bien que, *musicalement*, il n'existe qu'une seule et unique tierce majeure¹⁴, et aucune expérience ni conception ne saurait changer cette réalité musicale première.

On voit maintenant assez clairement le problème, et aussi son caractère rigoureusement insoluble avec les conceptions ordinaires.

S'il n'existe qu'une tierce, comment se fait-il que, en expérience provoquée, on discerne si bien les deux? Au surplus, si on les discerne, comment se fait-il que la variation de justesse, de l'une à l'autre, soit relativement faible et continue; pourquoi ne trouve-t-on pas de séparation franche de fausseté? Et l'on pourrait encore demander: pourquoi au juste la tierce 5/4 l'emporte-t-elle, et si elle l'emporte, pourquoi n'est-ce pas de façon absolue¹⁵?

Quant à la théorie psycharithmétique, elle peut d'abord sembler, *en expérience non provoquée*, infirmée plutôt — sinon contredite — par l'existence d'une tierce musicalement unique, confirmée par le fait qu'on peut cependant discerner, en analyse musicale, deux fonctions du même intervalle selon le contexte; *en expérience provoquée*, elle peut sembler confirmée par le résultat principal (intervention des deux rapports), infirmée par les détails (allure des courbes de justesse).

En un mot, *comment concilier toutes ces données d'expérience musicale directe et d'expérience provoquée*, que ce soit avec ou sans la théorie psycharithmétique?

¹⁴ Dans des systèmes plus subdivisés que le nôtre, les deux tierces pourraient être *musicalement* distinctes. Mais le problème, tout en se posant autrement, ne serait que déplacé.

¹⁵ Comme il a été dit déjà, on ne saurait invoquer ici la consonance acoustique ou le phénomène de fusion. Mais même sur cette seule question de préférence, ce phénomène ne constitue pas une explication valable, ne serait-ce que parce que la fusion de la tierce pythagoricienne est pratiquement nulle, alors que celle de la tierce 5/4 est l'une des plus grandes. Dans ces conditions, si la fusion était la cause cherchée, la tierce 5/4 ne devrait pas seulement être *préférée*, mais la seule *acceptée*, car l'autre exclue comme très franchement fausse.

On conçoit difficilement que la réponse puisse se trouver ailleurs que dans la conjonction: théorie psycharithmétique, notion d'identification par tolérance, et bien entendu discernement entre consonance acoustique et consonance musicale. On voit aussi que cette réponse, tout en devant être très voisine de ce qui a été exposé en deuxième partie (Section 2.2), ne peut pas lui être simplement et absolument conforme (puisqu'on pouvait penser que sauf contexte particulier, il n'y avait aucune raison pour que le rapport $(9/8)^2$ intervienne).

Mais il serait prématuré de vouloir dès maintenant donner cette réponse; il convient d'exposer d'abord la suite des expériences. C'est ce qui sera fait dans un prochain article d'Acustica. Celui-ci comprendra donc: fin expérience n° 1 (tierce sons sim. sans contexte), conclusion expérience n° 1; expériences n° 2, 3 et 4 (renversement sixte mineure sons sim., tierce et sixte sons succ.); conclusion générale sur le groupe des expériences n° 1 à 4.

(Reçu le 7 avril 1972.)

Bibliographie

- [1] TANNER, R., Le phénomène d'identification par tolérance; le préjugé de la gamme juste. *Acustica* 25 [1971], 158.
- [2] TANNER, R., Le sonomètre instrumental. *Acustica* 21 [1969], 246.
- [3] TANNER, R., Le problème des rapports simples — Notion de psycharithme, in colloque intern. CNRS n° LXXXIV: «Acoustique Musicale». Edt. CNRS, Paris 1959, p. 83.
- [4] TANNER, R., La différenciation qualitative des psycharithmes et des intervalles musicaux, n° spéc. *Revue Musicale*. Richard-Masse, Paris 1972.
- [5] TANNER, R., Critique de la théorie de «la résonance», in colloque intern. CNRS «La Résonance dans les Echelles Musicales». Edt. CNRS, Paris 1963, p. 63.
- [6] TANNER, R., Le rôle de la fusion dans l'appréciation de justesse des accords, in coll. [3], p. 49.
- [7] FRANCÈS, R., La perception de la musique. Vrin, Paris 1958, p. 53.
- [8] VAN ESBROECK, G., et MONTFORT, F., Qu'est-ce que jouer juste? *Lumière*, Bruxelles 1946, p. 97.
- [9] BARKECHLI, M., L'évolution de la gamme dans la musique orientale, in coll. [3], p. 39; Les échelles régulières du cycle des quintes et leurs déformations occasionnelles dans les cadres non pentatoniques, in coll. [5], p. 173.
- [10] Expérience DUSSAUT, R.: v. intervention R. DUSSAUT in coll. [3], p. 74; v. même expérience reprise in coll. [5], p. 91.

Le problème des «deux tierces» (Pythagore ou Zarlino) La solution psycharithmétique et expérimentale

II

par R. TANNER

Centre de Recherches Physique, Marseille

Sommaire

Le débat sur la valeur «juste» de la tierce, $5/4$ ou $(9/8)^2$, date de l'Antiquité. La théorie psycharithmétique lui a apporté une solution, déduite des données de l'expérience musicale directe. Des expériences ont été entreprises au sonomètre instrumental, pour en confronter les résultats avec les conclusions déjà tirées de l'expérience non provoquée. Les premiers de ces résultats ont été communiqués dans un article précédent [1]; dans la deuxième section qui suit du même exposé, on trouvera la suite des expériences, leurs résultats et les conclusions qui s'en dégagent. Tout en confirmant les idées initialement exposées, elles ont apporté un enseignement nouveau sur la généralité du phénomène d'identification par tolérance.

*Das Problem der „zwei Terzen“ (Pythagoras oder Zarlino)
Die psycharithmetische und die experimentelle Lösung. II.*

Zusammenfassung

Die Debatte um den „wahren“ Wert der Terz, $5/4$ oder $(9/8)^2$, begann bereits in der Antike. Die psycharithmetische Theorie hat zu einer Lösung geführt, die auf der Grundlage der direkten musikalischen Erfahrung beruht. Es wurden Experimente mit einem instrumentellen Schallmesser durchgeführt, um die Ergebnisse den Schlüssen gegenüberzustellen, die schon aus der reinen Erfahrung gezogen werden. Der erste Teil dieser Resultate wurde bereits in einem früheren Artikel veröffentlicht [1]; im zweiten Abschnitt, der daran anknüpft, findet man die Folge von Experimenten, deren Resultate und die Schlüsse, die sich daraus herleiten. Obwohl insgesamt die anfänglichen Vorstellungen bestätigt wurden, ergeben sich daraus neue Aufschlüsse über grundsätzliche Fragen der Erscheinung der Identifizierung über Toleranz.

*The Problem of the „Two Thirds“ (Pythagoras or Zarlino).
The Psycharithmetic and Experimental Solution. II*

Summary

The debate on the „true“ value of the third, $5/4$ or $(9/8)^2$, dates from antiquity. Psycharithmetical theory has brought a solution for it deduced from data of direct musical experiments. These have been undertaken with an instrumental sonometer in order to compare the results with the conclusions already drawn from casual observations. The first of these results have been communicated in the preceding article [1]. In this second paper which follows the same theme, a succession of experiments, their results and the conclusions are discussed. In confirming the ideas initially set forth they have brought a new viewpoint on a generality of the phenomenon of identification by tolerance.

3.3.1. Nouveau type d'expérience sans contexte (1d)

Après le résultat des premières expériences (1 a à 1 c, [1]), l'intérêt s'est évidemment fixé sur et autour des valeurs $5/4$ et $(9/8)^2$. L'expérience suivante a alors été montée:

- enregistrement sur bande magnétique d'une suite arbitraire et irrégulière de 40 tierces, de valeurs comprises entre $5/4 - 5\sigma$ et $(9/8)^2 + 5\sigma$,
- chaque valeur donnée sous forme de trois tierces consécutives, assez brèves,

- petites variations (de 1 à 2 σ), fréquentes dans l'expérience, autour des valeurs $5/4$ et $(9/8)^2$; autres valeurs données plus rarement,
- question posée: pour chaque valeur, répondre simplement par «bon», «mauvais», plus, éventuellement, les jugements atténués «assez bon», «peu mauvais». (Cotation arbitraire: «mauvais»: 0; «peu mauvais»: 1; «assez bon»: 2; «bon»: 3.)

Le résultat de cette expérience a été décevant. D'une part, il est apparu que la finesse de l'expé-

rience, autour des valeurs $5/4$ et $(9/8)^2$, dépassait la précision des sujets. D'autre part, la négligence relative, au profit de ces valeurs, des valeurs plus écartées, avait été excessive: malgré des réponses plus nettes pour ces valeurs, il s'avérait que celles-ci avaient été produites un trop petit nombre de fois dans l'expérience.

Toutefois, en interpolant beaucoup, cette expérience a donné une courbe moyenne de «préférence» légèrement ascendante de $5/4$ à $(9/8)^2 + 1\sigma$, avec chute de justesse avant et après. L'écart de 1σ pouvant s'interpréter comme une erreur d'expérience, on peut estimer que cette expérience confirmait, de façon floue, le résultat général des toutes premières (Fig. 3).

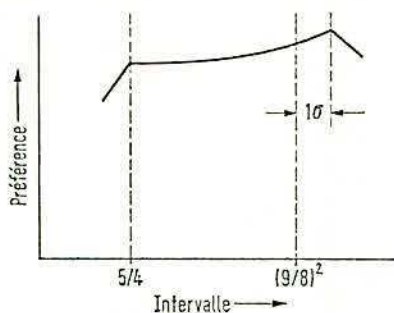


Fig. 3. Nouveau type d'expérience (essai).

La légère préséance de $(9/8)^2$ sur $5/4$ ne pouvait guère être considérée comme significative. Cependant, elle était intéressante à relever en ce qu'elle laissait supposer que la préséance contraire, relevée dans les expériences 1a à 1c, ne l'était probablement pas davantage, d'autant moins que, dans ces expériences mêmes, ce n'était qu'un résultat d'ensemble, avec aussi préséance de $(9/8)^2$ dans certains cas. On pouvait même se demander si, dans les premières expériences, la préséance de $5/4$ ne venait pas de conditions particulières qui les auraient un peu faussées, à savoir: parce que le résultat attendu était $5/4$, la marge des valeurs offertes à l'audition avait été également répartie de part et d'autre de $5/4$, et cela pouvait avoir un peu favorisé $5/4$ au détriment de $(9/8)^2$.

L'expérience 1d a surtout servi à apprendre comment concevoir et réaliser les expériences, pour pouvoir tirer des sujets des réponses plus nettes.

3.3.2. Expérience 1e

Une expérience similaire à la précédente a été montée, avec modifications suivantes:

- 50 valeurs d'intervalles en succession irrégulière (durée de l'expérience: 20 minutes; ceci constitue un maximum pour l'attention des sujets)

- valeurs produites dans l'expérience: toutes les valeurs comprises, de 2 en 2σ , entre $(5/4) - 6\sigma$ et $(5/4) + 2\sigma$, et $(9/8)^2 - 2\sigma$ et $(9/8)^2 + 6\sigma$ (entre $(5/4) + 2\sigma$ et $(9/8)^2 - 2\sigma$, l'écart est de $1,14\sigma$)
- chaque valeur apparaissant cinq fois dans l'expérience
- chaque valeur donnée sous la forme (Fig. 4):



Fig. 4. Forme de l'expérience.

- expérience faite deux fois par la plupart des sujets.

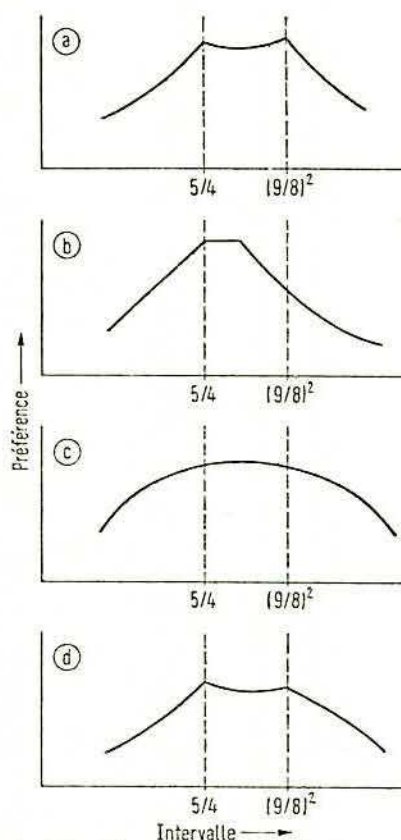


Fig. 5. (a), (b), (c) exemples de résultats individuels, (d) résultat brut moyen d'un groupe.

- (a) Réponse sans particularité marquée, d'un bon sujet musicien.
- (b) Sujet très musicien, doué d'une oreille très fine, acousticien et mathématicien de profession, que l'expérimentateur savait porté à juger, consciemment, en fonction de la «consonance acoustique» (fusion, battements).
- (c) Sujet très musicien, ignorant tout de l'acoustique, et s'étant toujours présenté comme indifférent à tout ce qui peut être auditif sans être spécifiquement musical.
- (d) Résultat moyen d'un groupe de sujets ayant fait deux fois l'expérience.

Les réponses ont été incomparablement plus nettes. Elles l'ont même été suffisamment pour faire ressortir des différences personnelles entre les sujets, nettement discernables d'une loi générale commune (Fig. 5).

3.3.3. Dernier type d'expérience (1f)

Audition alternée des tierces $5/4$ et $(9/8)^2$, sous des formes diverses (brèves ou longues, répétées ou non, répétées en rythmes divers). A chaque changement, la tierce $5/4$ est annoncée «x»; la tierce $(9/8)^2$ «y», de façon à ce que les sujets puissent les distinguer tout en ignorant la valeur. Question posée: préférence entre x et y.

Résultat: préférences de $(9/8)^2$ légèrement plus nombreuses.

(Remarque très intéressante: le sujet de la deuxième des quatre courbes ci-dessus a jugé les deux tierces également bonnes.)

3.4. Conclusions sur l'expérience n° 1

(Tierce de sons simultanés sans contexte)

3.4.1. Résultat général des expériences et conclusions principales (en partie sous réserve des expériences ultérieures: sons successifs, renversement de sixte)

Il est net que la conclusion générale de l'ensemble de toutes ces expériences doit s'exprimer par le graphique suivant, à la fois très simple, mais d'une signification — ou disons plutôt implication — assez complexe¹.

Cette implication, avec les précisions qui s'y annexent, est la suivante:

- tierces $5/4$ et $(9/8)^2$ également justes musicalement, ainsi que valeurs intermédiaires;
- tierces $5/4$ et $(9/8)^2$ parfaitement discernées auditivement;
- tierces $5/4$ et $(9/8)^2$ non discernées musicalement.

(Il n'existe pas, en musique, deux tierces majeures, l'une zarlinienne et l'autre pythagoricienne, mais une seule. Tout se passe, musicalement, comme si la bande objective comprise entre $5/4$ et $(9/8)^2$ était réduite à zéro, soit comme si on avait: $5/4 = (9/8)^2$ — ce qui est vrai dans la marge de tolérance du *mi* quelle que soit sa fonction harmonique.)

¹ Les deux parties en pente, dans la courbe de justesse, au lieu d'être droites, pourraient être plus ou moins concaves ou convexes — détail d'ailleurs de peu d'intérêt, et qui dépend de la cotation arbitraire des réponses; par contre, la partie médiane s'entend bien: droite et parallèle à l'axe des abscisses.

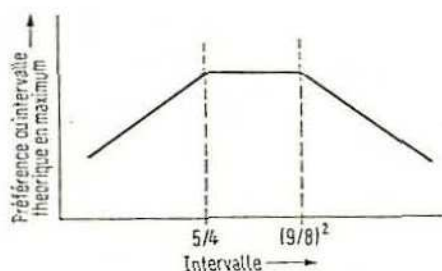


Fig. 6. Résultat général de l'expérience n° 1 (tierce de sons sim. sans contexte).

Contrairement aux conceptions habituelles, il n'est pas expérimentalement ressorti, en fait de rapport théorique, une valeur précise et unique, mais toute une bande de fréquences. (Au point de vue acuité auditive, des valeurs comprises entre $5/4$ et $(9/8)^2$ sont parfaitement discernées; mais musicalement, tout se passe comme si ces valeurs se confondaient en une seule.)

- L'identification par tolérance des rapports théoriques $5/4$ et $(9/8)^2$ n'est pas un phénomène circonstanciel seulement, déterminé par un contexte particulier; il s'agit d'un phénomène général, se produisant même sans contexte.
- Les fonctions psycharithmétiques correspondant aux rapports théoriques musicalement confondus ($5/4$ et $(9/8)^2$), soit les fonctions 5×2^n et $3^4 \times 2^n$ (ou enchaînement de quatre fonctions $3^{\pm 1} \times 2^n$), restent cependant ou peuvent a priori rester distinctes.

(Elles le peuvent suivant le processus général décrit du phénomène d'identification par tolérance: en étant remplies par un intervalle musicalement conçu ou perçu comme unique (conformément à ce qui précède), de la même manière que les fonctions octave de tonique (1×2) et quinte de sous-dominante ($3^{-1} \times 3 \times 2$), quoique distinctes, sont remplies par le même intervalle d'octave — sans intervention cette fois de la tolérance, ni, par celle-ci, identification de deux intervalles théoriques différents en un seul.)

Toutefois, l'existence réelle d'un psycharithme $3^4 \times 2^n$, dans notre pratique musicale, reste douteuse. C'est, en effet, ce qui ressortira de la discussion qui suit.

3.4.2. Interprétation de l'enseignement nouveau apporté par les expériences: la généralité du phénomène d'identification par tolérance

Par rapport aux conceptions exposées dans les première et deuxième parties [1] l'intervention

même sans contexte du phénomène d'identification par tolérance — soit l'intervention généralisée du phénomène — constitue l'apport proprement positif des expériences, signalé tout au début. (Pour le reste de ces conceptions, elles n'ont fait que les vérifier entièrement; nous y reviendrons en dernier lieu.) Ce résultat émergeant sollicite donc tout spécialement d'être discuté, et si possible expliqué.

Deux hypothèses — face à ce résultat — sont possibles en ce qui concerne le ou les psycharithmes intervenant dans la perception musicale de l'intervalle sans contexte:

1) Entre l'*ut* et le *mi* (dont la fréquence théorique est à la fois $5/4$ et $(9/8)^2$ par identification par tolérance), les deux relations psycharithmétiques (5×2^n et $3^4 \times 2^n$) s'établissent à la fois.

2) Entre les mêmes notes (et malgré cette même fréquence théorique double du *mi*) seule s'établit la relation psycharithmétique la moins complexe, c'est à dire 5×2^n .

La première hypothèse, par son allure plus simple ou plus homogène, peut paraître d'abord la plus séduisante. Elle bénéficie aussi de cette objection qu'on pourrait faire à la seconde: pourquoi — dans cette seconde hypothèse — aurait-on trouvé expérimentalement, comme fréquence théorique du *mi*, la bande de fréquence $5/4$ à $(9/8)^2$, et non pas tout simplement $5/4$? Cependant, la première hypothèse n'est guère plausible pour les raisons suivantes:

a) Du moment qu'un psycharithme suffit pour qu'il y ait perception musicale, on ne voit pas pourquoi — sans cause vraiment déterminante — il s'en produirait deux simultanément.

b) Tout intervalle se prête en principe à plusieurs psycharithmes. Mais lorsqu'on fait entendre par exemple une octave sans contexte, il serait manifestement fantaisiste de soutenir que se produisent alors les deux psycharithmes 1×2 et $3^{-1} \times 3 \times 2$. Le psycharithme $3^{-1} \times 3 \times 2^n$ n'intervient qu'en présence d'une sous-dominante dans le contexte.

c) Ceci répond ou répond en partie à l'objection à la deuxième hypothèse: celle-ci suppose que les choses se passent de la même manière pour la tierce, à l'intervention près de l'identification par tolérance des fréquences théoriques.

Ainsi, la première hypothèse (deux psycharithmes) fournit automatiquement une explication du résultat expérimental de l'intervention des deux fréquences théoriques; mais elle est difficilement admissible. La deuxième hypothèse (un seul psycharithme: 5×2^n) est en soi nettement plus plausible (considérations a et b), et d'abord admissible (considération c). Mais, par elle-même, elle laisse sans explication l'intervention, sans contexte déterminant,

de la deuxième fréquence théorique $(9/8)^2$. Que conclure et d'abord comment poursuivre?

Ici se place une remarque essentielle.

Le dilemme des deux hypothèses (par lequel on aboutit finalement à pencher plutôt pour la seconde) est imposé par le résultat expérimental; les conclusions évidemment eussent pu être autres si le résultat avait été autre. A première vue, cette supposition peut paraître dénuée de sens, car un résultat expérimental est ce qu'il est. Cependant, si l'on tient compte de la généralité d'application de la théorie psycharithmétique (suffisante, par exemple, pour avoir permis l'explication d'un système musical datant de vingt siècles, celui de l'Antiquité Grecque [2]), et, face à cette généralité, de la particularité des sujets utilisés pour les expériences, la supposition acquiert une signification et même une signification importante. Les sujets, en effet, étaient particuliers en ce sens que c'étaient tous des musiciens, et appartenant à une longue culture musicale, la nôtre². A partir de cette remarque, on peut penser que des sujets musicalement vierges — mais déjà capables de perception musicale³ — n'auraient peut-être pas fait apparaître le rapport $(9/8)^2$ dans le résultat expérimental⁴. Les expériences, certes, ne comportaient aucun contexte rendant nécessaire l'identification par tolérance des deux rapports théoriques; mais en s'y prêtant, les sujets cultivés apportaient avec eux toute leur expérience musicale passée. Celle-ci leur avait longuement appris cette identification (probablement, à l'origine, par des séquences du type de celle analysée dans la deuxième partie ([1], 2.2)). Cette identification assimilée et définitivement assimilée, on conçoit qu'elle ait continué à se produire même là où elle n'était pas nécessaire (c'est à dire dans les expériences sur l'intervalle isolé). En un mot, on pourrait presque dire que ces expériences, soi-disant sans contexte, en comportaient un, ou du moins un contexte général:

² Du point de vue expérimental, il y a là un dilemme dont on ne peut pas sortir: ou l'on emploie des sujets non musiciens, mais alors, ou ils sont incapables de répondre, ou l'on en tire des réponses qui ne sont pas celles qu'on leur demande (consonance acoustique), ou des réponses d'une incohérence telle qu'on ne peut rien en tirer; ou l'on emploie des sujets musiciens, mais alors on est bien obligé de les accepter tels qu'ils sont: avec leur culture acquise.

³ Cf. note précédente: Il faut remarquer que des sujets musicalement vierges mais capables de perception musicale sont pratiquement déjà une fiction, car précisément, la capacité de perception musicale ne s'acquiert et ne se développe qu'avec la culture musicale.

⁴ Peut-être eût-ce été le cas de sujets de l'époque préclassique (celle qui a précédé le tempérament égal).

celui de toute la musique antérieurement entendue par les sujets, et enregistré dans leur mémoire.

Peut-être n'est-ce qu'avec les considérations précédentes que l'objection à la deuxième hypothèse peut être considérée comme parfaitement réfutée: pour expliquer l'intervention des deux rapports dans le résultat expérimental, il n'est pas nécessaire d'invoquer l'intervention de deux psycharithmes; la provenance du deuxième rapport réside quasi-certainement dans le «contexte» culturel.

Si, d'après ce qui précède, l'existence effective d'un psycharithme $3^{\pm 1} \times 2^n$, dans le réel de notre pratique musicale, semble plutôt à rejeter⁵, ce qui reste certain, rappelons-le, c'est l'existence de sommations de psycharithmes $3^{\pm 1} \times 2^n$ au nombre de quatre (par mouvements harmoniques successifs de fondamentale à fondamentale, comme exposé dans la deuxième partie), assimilés par identification par tolérance, dans leur aboutissement, à un psycharithme $5^{\pm 1} \times 2^n$.

Il faut noter que les conclusions exposées jusqu'ici sur l'expérience n° 1, ou une partie d'entre elles, ne peuvent s'entendre d'une validité et portée tout à fait générale que sous réserve d'être confirmées par des expériences analogues, portant sur l'intervalle de sons successifs et le renversement de sixte. (C'est ce qui sera vérifié plus loin.)

3.4.3. Conclusions générales annexes

Bien qu'elles n'aient pas constitué le but proprement dit des expériences, d'autres conclusions s'en dégagent. Elles sont importantes parce qu'elles sont d'ordre très général et concernent la question capitale de la consonance. (Cette seconde sorte de conclusions peut, cette fois, s'énoncer sans aucune réserve.)

⁵ On trouve dans la musique moderne, depuis l'époque de DEBUSSY, des accords de quintes superposées (ou renversements) du type *ut-sol-ré-la-mi*, qui pourraient être par ailleurs invoqués à l'appui de son existence. En discuter à fond nous entraînerait trop loin. Bornons-nous à une série de remarques. Un accord est fait de notes, chaque note ou son est décomposable en harmoniques ou en partiels. En jouant avec les notes, on compose des accords différents; en jouant avec les harmoniques on joue sur le timbre. Il n'est pas impossible de faire interpénétrer les deux jeux, c'est à dire qu'on peut obtenir, par certains assemblages de notes, des effets de timbre. Dans ce cas, on peut soutenir que certaines notes, dans un accord, jouent le rôle non de notes, mais d'harmoniques ou de partiels (comme dans une cloche, ou comme dans un instrument à timbre riche). Les modernes ont de plus en plus recherché les effets de timbre. Sous sa forme la plus pure (classiques), la musique a toujours négligé le timbre.

3.4.3.1. Justification expérimentale directe de la distinction des deux sortes de «consonance»

On a vu, par différents exposés déjà cités, la nécessité d'une distinction et d'une distinction *fondamentale*, entre ce qui a été appelé — à défaut de meilleures étiquettes — la «consonance acoustique» (fusion, battements, perception de timbres à valeur esthétique) et la «consonance musicale» (consonance liée aux rapports de fréquence, mais indépendante des critères de la première). Cette démonstration, peut-on estimer, se suffisait à elle-même. Cependant, elle se fondait sur des raisonnements dans l'ensemble assez abstraits et indirects.

Le résultat qui vient d'être exposé apporte la justification peut-être la plus directe — bien qu'au fond superflue — de la distinction entre les deux «consonances». En effet, la «consonance acoustique», pour le rapport 5/4, est incomparablement supérieure à celle du rapport (9/8)². Si la «consonance musicale» s'identifiait simplement à la «consonance acoustique», on n'aurait pu trouver expérimentalement, pour le rapport (9/8)¹, une «préférence» égale — ni même à peu près égale — à celle relevée pour le rapport 5/4.

La nécessité de distinguer deux sortes de «consonances» est donc expérimentalement indiscutable.

3.4.3.2. Démonstration expérimentale la plus directe de ce que la «consonance acoustique» n'est pas à la base des intervalles, des accords, de leur «consonance» véritablement musicale ni de l'harmonie en général

Cette seconde conclusion n'est qu'un corollaire de la précédente.

En effet, dans les conceptions exposées, la «consonance acoustique» se définit suivant les conceptions physiques traditionnelles (erronées) de la consonance tout court, c'est à dire: comme essentiellement liée aux rapports entre harmoniques ou entre partiels, et indirectement liée — par voie de conséquence — aux rapports entre fréquences (ceux-ci déterminant automatiquement et mathématiquement des rapports entre harmoniques); la «consonance musicale», elle, est définie comme *seulement* liée aux rapports de fréquence des intervalles. Si (comme l'expérience le prouve) la «consonance acoustique» se rencontre *ailleurs* qu'en musique, s'il existe en musique une autre «consonance», *toujours présente et indépendante* de la première, c'est que la véritable consonance, en musique, n'est pas la première, et qu'elle est la seconde (d'où la justification de son appellation plus restrictive: «consonance musicale»).

Ce qui précède — c'est à dire le résultat des expériences à cet égard — peut être considéré

comme une justification supplémentaire⁶ de la théorie psycharithmétique. En effet, d'une façon générale quoique sous des aspects plus ou moins différents, toutes les théories antérieures ont tenté d'expliquer la musique par la consonance acoustique. Ce faisant, elles passaient à côté du problème et ne présentaient donc qu'une apparence scientifique. (Car l'emploi de notions scientifiques ne constitue nullement le critère de la science. Celui-ci ne réside véritablement que dans la rigueur des raisonnements et l'adéquation aux données de l'expérience.) La théorie psycharithmétique, en s'attachant à expliquer les propriétés de l'intervalle ou du rapport de fréquence *abstraction faite* du timbre, de la fusion, etc. («explications» séduisantes mais au départ et par définition de la musique forcément fausses), a bien pris pour objet la véritable consonance musicale, telle qu'elle se pose expérimentalement; et c'est bien de cette consonance, ainsi que des formes et lois musicales qui se bâtissent sur l'élément de base intervalle, qu'elle rend compte dans ses développements.

Passons maintenant aux expériences sur le renversement de sixte et les intervalles de sons successifs, c'est à dire au complément nécessaire pour pouvoir confirmer et généraliser — ou au contraire infirmer — ce qui pouvait rester de provisoire dans les conclusions exposées pour la tierce de sons simultanés.

3.5. Expérience n° 2: Sixte mineure de sons simultanés sans contexte

La fonction harmonique — telle du moins qu'elle se conçoit dans la théorie psycharithmétique — est indépendante, non seulement de la simultanéité ou succession des deux notes composant l'intervalle (v. plus loin expériences n°s 3 et 4 complétant 1 et 2), ainsi que de la fusion des harmoniques au sens de STUMPF-HELMHOLTZ, mais aussi et avant tout de la situation d'octave de la note référée relativement à la note de référence (fondamentale dans l'accord, tonique dans le morceau). Une première chose à vérifier, après l'expérience n° 1 (intervalle *ut-mi* de sons simultanés), était qu'en faisant des expériences similaires sur le renversement de sixte mineure (intervalle *mi-ut* de sons simultanés), on aboutissait à des résultats analogues.

⁶ «Supplémentaire» en ce sens qu'il ne s'agit que d'une justification accessoire par l'absurde, et dont la théorie psycharithmétique eût pu fort bien se passer: celle-ci se fonde avant tout sur des considérations expérimentales musicalement positives en même temps que générales, et elle se vérifie par la confrontation de ses conséquences a priori avec les données musicales de fait.

L'équivalent des expériences n° 1 a donc été repris pour le renversement de sixte (sauf que les enseignements des premières ont permis de supprimer certains tâtonnements ou variantes inutiles, et ainsi progresser plus vite).

3.5.1. Expérience 2e

- Une suite arbitraire de cinquante sixtes, de valeurs comprises entre $8/5 + 6\sigma$ et $27/3^4 - 6\sigma$, est offerte à l'audition des sujets. Les variations de la suite sont exactement parallèles à celles de la suite de tierces de l'expérience 1e. Les valeurs utilisées s'écartent donc de deux en deux savarts (sauf entre $8/5 - 2\sigma$ et $27/3^4 + 2\sigma$), chaque valeur apparaît cinq fois dans l'expérience.
- Forme pour chaque valeur (Fig. 7): la même,



Fig. 7. Forme de l'expérience.

en sixtes, que celle de l'expérience 1e.

- Même question posée: répondre chaque fois par «bon» (notation 3), «mauvais» (0), éventuellement «assez bon» (2), «peu mauvais» (1). (L'expérience a été faite deux fois, avec les mêmes sujets sélectionnés. Ceux-ci étaient aussi en majeure partie les mêmes que ceux de l'expérience analogue 1e pour la tierce.)

Résultat général de l'expérience 2e (Fig. 8):

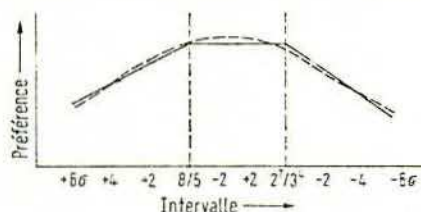


Fig. 8. Sixte mineure sons simultanés (sans contexte).
Pointillé: résultat brut,
trait plein: résultat significatif⁷.

⁷ Tenu compte des conditions d'expériences et du détail des réponses, la légère supériorité, dans le résultat brut, du rapport dit zarlinien ($8/5$), sur le rapport dit pythagoricien ($27/3^4$), ne peut pas être considérée comme significative (comme le confirme d'ailleurs le résultat de l'expérience suivante 2f, faite avec les mêmes sujets). Le léger renflement de la courbe, vers la valeur $8/5 - 2\sigma$, n'est pas significatif non plus, ni la légère concavité ou convexité de la courbe à l'extérieur des valeurs $8/5$ et $27/3^4$. (Cette concavité ou convexité, liée à la notation des appréciations subjectives, n'intervient de toute façon pas dans l'interprétation du résultat.)

3.5.2. Expérience 2f

- Audition alternée de sixtes $8/5$ et $27/34$, à l'insu de leurs valeurs par les sujets, sous diverses formes (sixtes brèves ou longues, répétées ou non, etc.). A chaque changement, la sixte $8/5$ est annoncée «x»; la sixte $27/34$ «y». Question posée: préférence entre x et y.

Résultat de l'expérience 2f:

Brut: le nombre des préférences pour $27/34$ est légèrement supérieur à celui des préférences pour $8/5$.

Significatif: les deux sixtes sont également acceptées⁸.

3.5.3. Résultat général de l'Expérience n° 2

C'est celui de la courbe «en trapèze» ci-dessus, qui déjà constituait le résultat significatif de l'expérience 2e.

Ce résultat général pour le renversement de sixte (de sons simultanés) est donc le même que celui de l'expérience n° 1 pour la tierce (de sons simultanés également).

3.6. Expérience n° 3: Tierce majeure de sons successifs (sans contexte)

Les expériences nos 1, et 2 infirmaient: la conception zarlinienne, la conception pythagoricienne, et aussi la conception «mixte», selon laquelle le rapport zarlinien serait le rapport juste en sons simultanés, et le rapport pythagoricien le rapport juste en sons successifs.

Plus précisément, elles infirmaient cette conception mixte dans sa première moitié. Il restait donc à prouver que le rapport $(9/8)^2$ (ou $27/34$ pour la sixte) n'était pas plus spécifique des sons successifs que le rapport $5/4$ (ou $8/5$) ne l'était des sons simultanés. En termes plus généraux, si — suivant les conceptions exposées plus haut — la fonction harmonique et par suite les rapports théoriques sont indépendants de la simultanéité ou succession, on devait vérifier que, en faisant sur les intervalles de sons successifs des expériences analogues aux expériences 1 et 2, on obtient le même résultat, et non un résultat différent. (Ces expériences ont été limitées aux analogues des variantes 1e, 1f, 2e, 2f, les plus significatives et estimées suffisantes.)

⁸ Dans l'expérience 2f, la légère supériorité des préférences pour $27/34$ est manifestement due au hasard. Si on lui rapproche le résultat de l'expérience 2e (où l'on constate le contraire), le caractère non significatif de cette supériorité est confirmé.

3.6.1. Expérience 3e — Résultat (Fig. 9)

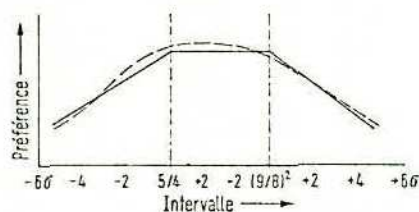


Fig. 9. Tierce majeure sons successifs (sans contexte). Pointillé: résultat brut, trait plein: résultat significatif.

3.6.2. Expérience 3f — Résultat

Brut: nombre de préférences pour $5/4$ légèrement supérieur à celui des préférences pour $(9/8)$.

Significatif: les deux tierces également bonnes.

Les résultats de l'expérience n° 3 sont donc bien conformes à ce qui avait été prévu.

3.7. Expérience n° 4: Sixte mineure de sons successifs (sans contexte)

Variantes analogues (4e et 4f)

Résultats: similaires (Fig. 10).

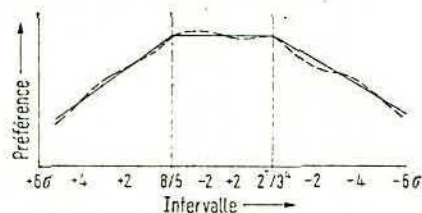


Fig. 10. Expérience 4e: sixte mineure sons successifs (sans contexte).

3.8. Conclusions générales sur l'ensemble des expériences nos 1 à 4 (tierce et renversement de sixte, de sons simultanés ou successifs, sans contexte)

Les résultats des expériences nos 2, 3 et 4 sont exactement ceux qui avaient été prévus à partir des conceptions initialement exposées, à savoir tout simplement: aucune différence lorsqu'on passe des sons simultanés aux sons successifs, ou lorsqu'on passe de l'intervalle de tierce à son renversement. En conséquence, les conclusions générales pour l'ensemble des quatre expériences restent exactement les mêmes que celles qui avaient été déjà tirées pour la première, à ceci près qu'elles prennent un caractère absolu et généralisé, et que les réserves qui avaient été faites peuvent être levées.

En particulier, soulignons que beaucoup de musicologues — et non pas seulement pythagoriciens — auraient pu s'attendre à ce que, dans les expériences avec sons successifs (nos 3 et 4), ce soient les rap-

ports $(9/8)^2$ et $27/3^4$ qui l'emportent. Nous avons bien vérifié que les rapports pythagoriciens n'étaient pas plus spécifiques des intervalles de sons successifs, que les rapports zarliniens ne l'étaient des sons simultanés.

Enfin rappelons et soulignons, pour terminer, l'apport proprement positif de toutes ces expériences (le seul qui n'ait pas été prévu): l'identification par tolérance n'est pas seulement un phénomène occasionnel, déterminé par des conditions de contexte musical particulier; c'est un phénomène général, constant pour l'intervalle ou la note de la gamme considérée.

Tel est donc, à proprement parler, le véritable enseignement apporté par ces expériences. Elles ont montré que les idées qui les ont précédées — issues de la théorie psycharithmétique et de la notion d'identification par tolérance — étaient plus généralement vraies qu'il n'avait été cru.

On trouvera, dans le Tableau suivant, l'essentiel de toutes ces conclusions. Elles sont énoncées, non du point de vue de la théorie psycharithmétique, mais du point de vue très général des conceptions admises en musicologie, dont il importe en premier lieu de faire ressortir le caractère erroné. Quant aux psycharithmes qui interviennent, on pourra se reporter à la discussion et aux conclusions déjà exposées pour la tierce de sons simultanés, et qui bien entendu sont généralisables au renversement de sixte et aux intervalles de sons successifs.

Bibliographie

- [1] TANNER, R., *Acustica* 27 [1972], 335.
- [2] TANNER, R., *La Musique Antique Grecque*, expliquée par une conséquence de la théorie psycharithmétique. Richard-Masse, Paris 1961.

Tableau.

Groupe d'expériences sans contexte sur la tierce majeure, renversement sixte mineure, sons simultanés et successifs.

Résultats:

- 1) Infirmités: — de la conception pythagoricienne,
— de la conception zarlinienne,
— de la conception mixte,
— de l'idée selon laquelle il existe une „gamme juste“, définie par un rapport théorique fixe et unique pour chaque note.
Fin controverse „pythagoriciens-zarliniens“, par démonstration expérimentale directe: le débat reposait sur un problème mal posé, issu de l'idée commune précédente.
- 2) Vérifications: — de l'existence des deux rapports théoriques pour le même intervalle (conformément à la théorie psycharithmétique),
— de leur indépendance de la simultanéité ou succession,
— de la dualité consonance acoustique — consonance musicale,
— du phénomène d'identification par tolérance,
— de l'invalidité de la théorie de la fusion (vérif. complémentaire directe).
- 3) Enseignement imprévu: Caractère général, et non pas seulement circonstanciel, de l'intervention du phénomène d'identification par tolérance, dans la détermination de la fréquence théorique d'une note de la gamme.
(Sur la relation entre psycharithmes et fréquences théoriques, v. texte principal)

(Reçu le 7 avril 1972.)